

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



Análisis de vulnerabilidad física para la prevención del riesgo
sísmico en el AH Lomo de Corvina, Villa El Salvador

Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Ingeniería Civil
con mención en Gestión de Riesgos Naturales que presenta:

Marco Aurelio Fasabi Ruiz

Asesor:

Ramzy Francis Kahhat Abedrabbo

Co-asesor:

Carlos Augusto Mesta Cornetero

Lima, 2021

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Joaquín Fasabi del Águila y Dora Luz Ruiz Angulo que me contagiaron su esfuerzo y perseverancia para salir adelante. A mi asesor de tesis el profesor Ramzy Kahhat Abedrabbo por su paciencia y sus consejos que me ayudaron a terminar este trabajo.



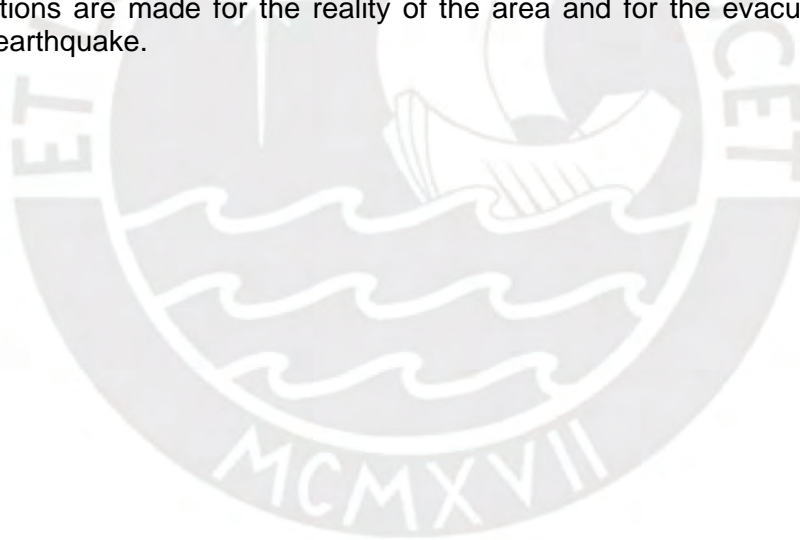
RESUMEN

El Perú es un país ubicado en la zona conocida como el Cinturón de Fuego del Pacífico, una zona propensa a la ocurrencia de movimientos sísmicos. Esto lo convierte en un territorio susceptible a eventos sísmicos. Dentro del territorio peruano existen zonas con mayor grado de vulnerabilidad física que otras ya sea por el tipo de suelo, condiciones geográficas entre otros, siendo una de las que tienen un alto grado de vulnerabilidad física como lo es Lomo de Corvina, distrito de Villa El Salvador. A fin de evaluar el grado de vulnerabilidad en el que se encuentra, este estudio emplea una metodología debidamente secuenciada para medir la vulnerabilidad física en base a la cantidad de escombros generados después de un evento sísmico. Esta metodología implica una etapa de caracterización, una etapa de estimación probabilística de daños en base a funciones de escombros usando la herramienta CAPRA – GIS y una etapa de análisis de flujo de materiales. Con esta última etapa se caracterizan y cuantifican los escombros asociados a un evento sísmico y la cantidad de nuevos materiales para la etapa de reconstrucción. Los resultados obtenidos demuestran que realmente esta zona es de alta vulnerabilidad física, susceptible a eventos sísmicos de gran magnitud. Se obtuvieron 202 mil toneladas de escombros para el escenario leve, 635 mil toneladas de escombros para el escenario moderado y 1.11 millones de toneladas de escombros para el escenario severo. En base al porcentaje de daños con respecto al stock de materiales es posible estimar que el asentamiento humano de Lomo de Corvina tiene un alto nivel de riesgo sísmico. Finalmente, se realiza un análisis de flujo de materiales para las viviendas de albañilería con el que se estima que se necesitarán 271 mil toneladas de concreto y 517 mil toneladas de ladrillo para reconstruir la zona. Se concluye que la zona es altamente vulnerable. Con esta conclusión se hacen recomendaciones para la realidad de la zona y para la evacuación de escombros tras un sismo de gran magnitud.

Palabras clave: Vulnerabilidad física, caracterización, stock de materiales, análisis de flujo de materiales, riesgo sísmico

ABSTRACT

Peru is a country located in the area known as the Pacific Ring of Fire, an area prone to the occurrence of seismic movements. This makes it a territory susceptible to seismic events. Within the Peruvian territory there are areas with a higher degree of physical vulnerability than others, either due to the type of soil, geographical conditions, among others, being one of those with a high degree of physical vulnerability such as Lomo de Corvina, district of Villa El Savior. In order to assess the degree of vulnerability in which it is located, this study uses a properly sequenced methodology to measure physical vulnerability based on the amount of debris generated after a seismic event. This methodology involves a characterization stage, a probabilistic damage estimation stage based on debris functions using the CAPRA – GIS tool, and a material flow analysis stage. With this last stage, the debris associated with a seismic event and the amount of new materials for the reconstruction stage are characterized and quantified. The results obtained show that this area is really highly vulnerable, susceptible to large-scale seismic events. 202 thousand tons of debris were obtained for the mild scenario, 635 thousand tons of debris for the moderate scenario and 1.11 million tons of debris for the severe scenario. Based on the percentage of damage with respect to the stock of materials, it is possible to estimate that the human settlement of Lomo de Corvina has a high level of seismic risk. Finally, a material flow analysis is performed for the masonry dwellings. It is estimated that 271,000 tons of concrete and 517,000 tons of brick will be needed to rebuild the area. It is concluded that the area is highly vulnerable. With this conclusion, recommendations are made for the reality of the area and for the evacuation of debris after a large earthquake.



Key words: physical vulnerability, characterization, material stock, material flow analysis, seismic risk

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Sismos y vulnerabilidad	1
1.1.1 Historia de los sismos en el Perú.....	4
1.2 Justificación de la presente investigación	7
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
2.1 Vulnerabilidad física	8
2.2 La zona de Lomo de Corvina	11
3. HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y ALCANCES	14
3.1 Hipótesis	14
3.2 Objetivo principal	14
3.3 Objetivos específicos	15
3.4 Alcances.....	15
4. ESTADO DEL ARTE.....	15
5. METODOLOGÍA	18
5.1 Secuencia empleada	20
5.2 Caracterización.....	22
5.3 Stock de materiales.....	35
5.4 Análisis mediante el programa CAPRA GIS	39
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
6.1 RESULTADOS.....	49
6.2 ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES	56
6.3 DISCUSIÓN	59
7. CONCLUSIONES.....	61
8. REFERENCIAS.....	63

Índice de figuras

Figura 1. Terremoto del año 2007 de la ciudad de Pisco, Ica en el cual se aprecia los daños causados (Fuente Exitosa Noticias 2020)	3
Figura 2. Mapa de microzonificación sísmica de Lima en la cual se observa que el distrito de Villa El Salvador presenta el mayor peligro sísmico con respecto a otras zonas de la capital (Fuente CISMID 2018)	13
Figura 3. Edificio colapsado debido a licuefacción del suelo tras un terremoto (Fuente GeoQuantics 2020).....	18
Figura 4. Metodología empleada en el presente estudio (Fuente: García et al 2017)	19
Figura 5. Mapa de microzonificación sísmica para Villa El Salvador (Fuente Municipalidad de Villa el Salvador 2016).....	25

Figura 6. Caracterización del tipo de suelos encontrados en Villa el Salvador, generalmente arenas (Fuente Municipalidad de Villa el Salvador 2011)	26
Figura 7. Plano de sectorización del distrito de Villa El Salvador, la zona de Lomo de Corvina se encuentra en la parte inferior (Fuente: Municipalidad de Villa El Salvador 2015)	27
Figura 8. Zona de Lomo de Corvina separada del plano de sectorización de la Municipalidad de Villa el Salvador en Google Earth (Fuente Elaboración propia)	28
Figura 9. Imagen generada de la zona de evaluación en Arc GIS la cual esta georreferenciada para su posterior análisis en CAPRA GIS (Fuente elaboración propia) .	29
Figura 10. Tipos de vivienda por material predominante de adobe, en verde, y albañilería, en beige (Fuente: Elaboración propia)	30
Figura 11. Perfil longitudinal del distrito de Villa el Salvador donde se aprecia que solo la zona detrás de la duna Lomo de Corvina es apta para viviendas (Fuente: INDECI 2018) 31	
Figura 12. Viviendas de albañilería en la zona de Lomo de Corvina donde se nota que algunas pueden tener hasta 4 pisos (Fuente Google Earth)	34
Figura 13. Viviendas de albañilería, adobe, madera y estera en la zona de Lomo de Corvina (Fuente: Google Earth).....	34
Figura 14. Viviendas de albañilería, adobe, madera y estera en la zona de Lomo de Corvina, no existen viviendas de departamentos de concreto reforzado (Fuente Google Earth)	35
Figura 15. Mapa de intensidad de materiales de lotes de albañilería	38
Figura 16. Mapa de intensidad de materiales de lotes de adobe	39
Figura 17. Mapa de las fuentes empleadas en el archivo AME, para el presente estudio se uso la fuente 4 (Fuente: Tavera et al. 2014).....	40
Figura 18. Mapa de la fuente 4 dentro del cual se ubica la zona de estudio (Fuente: Santa Cruz 2013)	41
Figura 19. Isolíneas en PGA para el escenario de sismo leve (Fuente: Santa Cruz 2013)42	
Figura 20. Isolíneas en PGA para el escenario de sismo moderado (Fuente: Santa Cruz 2013).....	43
Figura 21. Isolíneas en PGA para el escenario de sismo severo (Fuente: Santa Cruz 2013).....	43
Figura 22. Vista del archivo de microzonificación sísmica, las zonas con mayor amplificación están en color naranja oscuro(Fuente Aguilar et al. 2012)	44
Figura 23. Curva de escombros para adobe (Fuente: elaboración propia)	47
Figura 24. Curva de escombros para albañilería de 1 piso (Fuente: elaboración propia) ..	47
Figura 25. Curva de escombros para albañilería de 2 pisos (Fuente: elaboración propia) 47	
Figura 26. Curva de escombros para albañilería de 3 pisos (Fuente: elaboración propia) 48	
Figura 27. Curva de escombros para albañilería de 4 pisos (Fuente: elaboración propia) 48	
Figura 28. Daños generados en viviendas para un sismo de intensidad moderada 6.26 Mw para la zona de estudio, la leyenda muestra el porcentaje de escombros con respecto al stock de materiales (Fuente: Elaboración propia)	51
Figura 29. Daños generados en viviendas para un sismo de intensidad moderada 7.34 Mw para la zona de estudio, la leyenda muestra el porcentaje de escombros con respecto al stock de materiales (Fuente: Elaboración propia)	52
Figura 30. Daños generados en viviendas para un sismo de intensidad moderada 8.42 Mw para la zona de estudio, , la leyenda muestra el porcentaje de escombros con respecto al stock de materiales (Fuente: Elaboración propia)	53
Figura 31. Perdidas por tipo de vivienda y escenario sísmico en porcentaje de daños con respecto al stock de materiales	55
Figura 32. Perdidas en el stock de materiales en base al tipo de material y escenario de sismo	56

Figura 33. Análisis de flujo de materiales para el escenario de 8.42 Mw para las viviendas de albañilería, caso de concreto(Fuente: elaboración propia).....58

Figura 34. Análisis de flujo de materiales para el escenario de 8.42 Mw para las viviendas de albañilería, caso de ladrillos de albañilería (Fuente: elaboración propia).....59

Figura 35. Ruta recomendada para evacuación de escombros (Fuente: Google Earth) ...61

Índice de tablas

Tabla 1. Escala de Mercalli modificada (Fuente: elaboración propia)2

Tabla 2. Información del área de Lomo de Corvina para análisis posterior (Fuente: Elaboración propia).....31

Tabla 3. Caracterización de los materiales de las viviendas en base a la cantidad de lotes (Fuente: Elaboración propia)32

Tabla 4. Cuadro de las cantidades de viviendas en base a los números de pisos (Fuente: Elaboración propia).....32

Tabla 5. Áreas de terrenos destinados para usos comunitarios (Fuente: Elaboración propia)33

Tabla 6. Promedio de pisos para el tipo de material y área promedio en metros cuadrados de los lotes (Fuente: Elaboración propia)37

Tabla 7. Intensidad de materiales para diferentes tipos de edificios en kg/m² (Fuente Kahhat et al. 2017)37

Tabla 8. Stock de materiales obtenido para el área de estudio en toneladas (Fuente: Elaboración propia).....37

Tabla 9. Tabla del modelo de Poisson para los parámetros de la fuente 4 (Fuente: Santa Cruz 2013)40

Tabla 10. Coordenadas y profundidad de la fuente 4 (Fuente: Santa Cruz 2013)41

Tabla 11. Escenarios seleccionados para el presente estudio (Fuente: Santa Cruz 2013)42

Tabla 12. Escalas de daño evaluadas para elaborar las funciones de escombros (Fuente: Whitman 1988, ATC 1985, HAZUS 1999, Blong 2003, Timchenko 2002)45

Tabla 13. Valores típicos de fracción de escombros para edificios de adobe y de albañilería (Fuente: HAZUS 2014)46

Tabla 14. Pérdida de materiales por escenario de sismo leve, moderado y severo54

1. INTRODUCCIÓN

Como ya se ha demostrado a lo largo de la historia, el Perú ha sufrido eventos sísmicos de diversas magnitudes que han afectado en mayor medida a las poblaciones vulnerables debido a que al ser personas de bajos recursos, sus viviendas son hechas de manera empírica o sin el conocimiento del profesional apropiado para dicha actividad (Lovon 2017). Mayormente el material empleado para viviendas son el ladrillo para muros de albañilería y concreto para columnas y vigas (Flores 2002). Siendo las viviendas de adobe el material que sigue en cuanto a uso y que tiene una menor resistencia que aquellas de material noble (Romero 2019). En cuanto a la zona de estudio, se sabe que aquellos lugares cuyos suelos están compuestos de arena son de alto riesgo para la construcción de viviendas debido al aumento de la aceleración durante un evento sísmico (IGP 2021).

1.1 Sismos y vulnerabilidad

El Perú es un país propenso a constante actividad sísmica, esto se pudo constatar gracias a que en la década de 1970 se realizó el Mapa de Sismicidad Mundial en la cual se identificó que la mayor parte de su costa se ubica en la región conocida como Cinturón de Fuego del Pacífico, en la cual la tierra libera más del 80% de la energía acumulada en su interior en forma de actividad volcánica y sismos (Tavera 2014).

La ubicación del Perú en el Cinturón de Fuego del Pacífico ha sido la razón de la ocurrencia de sismos en su historia. El último sismo más severo ocurrió en el año 2007 (Tavera 2008) que afectó la ciudad de Pisco, Ica. Este sismo tuvo una intensidad entre VII a VIII en la escala de Mercalli Modificada (Tavera 2008). En la tabla I, se muestra las distintas intensidades de la escala de Mercalli Modificada.

Actualmente, la escala de Magnitud Momento es la más aceptada y sucedió a la escala de Richter. La escala de Magnitud Momento es una escala logarítmica que mide la energía liberada en un sismo. En el caso del terremoto de Pisco del 2007, la magnitud fue de 8 en la escala de Magnitud Momento (Tavera 2008).

Tabla 1. Escala de Mercalli modificada (Fuente: elaboración propia)

ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA		
I.	Imperceptible	Microsismo, detectado por instrumentos
II.	Muy leve	Sentido por algunas personas (generalmente en reposo)
III.	Leve	Sentido por algunas personas dentro de edificios
IV.	Moderado	Sentido por algunas personas fuera de edificios
V.	Poco fuerte	Sentido por casi todos
VI.	Fuerte	Sentido por todos
VII.	Muy fuerte	Las construcciones sufren daño moderado
VIII.	Destructivo	Daños considerables en estructuras
IX.	Muy destructivo	Daños graves y pánico en general
X.	Desastroso	Destrucción en edificios bien construidos
XI.	Muy desastroso	Casi nada queda en pie
XII.	Catastrófico	Destrucción total

A esto se debe sumar el hecho que Perú es un país de desarrollo medio y lo cual amerita que se tomen decisiones oportunas a fin de mitigar las consecuencias de un evento sísmico, con las cuales se asegure la prevención (Vega 2011) puesto

que cada desastre afecta la economía debido a los limitados recursos con los que cuenta el Perú y por el atraso que cada desastre en si genera al desarrollo (Salmon 2008). En la figura 1, se observan los daños causados a las edificaciones por el terremoto de Pisco del 2007. La reparación de estas edificaciones tendrá un impacto en el presupuesto nacional debido a la restauración de la ciudad.

Para poder mitigar los efectos devastadores de los sismos, es que se debe aplicar políticas de prevención de desastres (Salmon 2008). En Japón se demostró que tratar de predecir los sismos no era una solución óptima. Los esfuerzos se deben enfocar en prevenir los efectos causados por los sismos. Las políticas de prevención de riesgos se deben incluir como parte de la gestión de riesgos naturales (Tavera 2014).



Figura 1. Terremoto del año 2007 de la ciudad de Pisco, Ica en el cual se aprecia los daños causados (Fuente Exitosa Noticias 2020)

En la presente investigación, se busca analizar la vulnerabilidad física a fin de

poderse visualizar que áreas del AH de Lomo de Corvina serían las más afectadas frente a un evento sísmico, pues ayudaría a ubicar rutas de evacuación entre otras respuestas post desastre. Este distrito se ubica en la periferia de Lima Metropolitana y ya se vienen realizando estudios que demuestran que en cualquier momento un sismo de gran magnitud ocurrirá frente al litoral de Lima Metropolitana debido a los antecedentes históricos sísmicos de la capital peruana (Morales y Zavala 2008).

Esto para el AH Lomo de Corvina tendría consecuencias severas en vista que muchas de los predios que lo comprenden se encuentran en una zona que es prácticamente una duna de arena de origen eólico que se ha ido acumulando durante siglos (Medina et al. 2013) pues los suelos granulares son los más inestables y con la presencia de las edificaciones existentes en caso de un evento sísmico se producirían derrumbes al tratar la arena de encontrar su talud natural, flujos secos debido a que la arena no tiene cohesión y el rompimiento de tuberías de agua provocara licuefacción (Núñez 2010).

1.1.1 Historia de los sismos en el Perú

En un país como el Perú, los sismos son una realidad constante dado que se encuentra dentro de una zona sísmica. A lo largo de los años éstos han provocado pérdidas de vidas humanas y materiales principalmente por las fallas que se han provocado en las edificaciones existentes a nivel nacional a lo largo del litoral peruano. La realidad sísmica del Perú, implica que se debe tener a la población preparada para los eventos sísmicos. Es importante mejorar los diseños constructivos de las viviendas. Se debe también generar conciencia en la población de la importancia del conocimiento de los sismos. Con estos factores

se mejorará la capacidad de escape de la población con mejores edificaciones (Ramirez 2019).

Otro motivo, aunque secundario, de la ocurrencia de eventos sísmicos en el Perú está asociado a las deformaciones corticales presentes a lo largo de la cordillera de los Andes. Los sismos producidos por este proceso natural tienden a ser de menor magnitud que aquellos que causan los movimientos de las placas oceánicas. En vista de estos eventos es que ha sido importante que se desarrollen estudios para comprender la distribución sísmica en el Perú. Con la mejora en los estudios de sismos, se podrá ubicar las zonas de subducción. También será posible conocer cuáles son las zonas de mayor deformación superficial en el interior de América del Sur (Tavera y Buforn 1998).

La historia nos ha permitido constatar que los sismos en el Perú se extienden a periodos tan antiguos como 500 años atrás. Se tienen registros de sismos gracias a referencias históricas de la época de la dominación española. El primer evento sísmico destructivo fue el del año 1541. Lo interesante es que este sismo ocurrió en territorio ecuatoriano pero su magnitud fue tan grande que se sintió incluso en territorio peruano bajo dominio español.

Los sismos han tenido efectos en la sociedad sobre todo que han dado a las autoridades de antes y ahora la oportunidad de darse cuenta de lo vulnerables que son sus edificaciones. En el siglo XVIII, el terremoto más devastador en Lima fue el del 28 de octubre de 1746. Este sismo tuvo un profundo impacto en la sociedad limeña de entonces tanto en el ámbito social y religioso (Seiner 2017). Desde el siglo XVIII en adelante se procedió con la reconstrucción de Lima en

vista que era la ciudad más importante de la dominación española Sudamérica. Posteriormente no se sintió sismos de gran magnitud en la capital peruana hasta 1940. A partir de este año, los sismos importantes han ocurrido en otras regiones fuera de la capital (Silgado Ferro 1978).

En el presente siglo el más destructor fue el del 15 de agosto del 2007 con una magnitud de 8.1 Mw el cual afectó varias regiones del país pues se sintió en Ica, Lima, Huancavelica, Ayacucho y Junín. Se contabilizaron 596 muertos y 1292, que a comparación de los sismos anteriormente mencionados son cifras pequeñas dado que entre los factores que permitieron esto fue la hora del evento dado que no agarró a la población desprevenida, las réplicas no fueron muy fuertes y sus principales sacudidas tuvieron intervalos de 60 segundos que permitió a la población abandonar sus hogares a tiempo (Cavagnoud et al. 2009).

A pesar de todo lo mencionado anteriormente, los estudios con los que se busca predecir la periodicidad de los grandes sismos no son muchos debido a la poca información existente y al hecho que los sismos realmente devastadores no ocurren con mucha frecuencia. A partir de los años 70 se ha propuesto la utilización de métodos de predicción de corto, mediano y largo plazo. Estos dos últimos métodos, se ha encontrado mayor sustento científico. El motivo es porque se basan en identificar áreas que han tenido ausencia de sismos de gran magnitud en las últimas décadas o siglos lo cual es denominado lagunas sísmicas. Con esta información basada en el tiempo, es factible realizar catálogos sísmicos. Los catálogos sísmicos son válidos por el análisis espacio tiempo que se realiza a una región y técnicas estadísticas (Tavera 2014).

1.2 Justificación de la presente investigación

Dada la ubicación, el tipo de suelo y el tipo de viviendas en el AH Lomo de Corvina en Villa el Salvador, fue necesario realizar una estimación de la vulnerabilidad física en que se encuentra. Por lo tanto, se determinó la cantidad de escombros que se generaran en un escenario posterior a un evento sísmico de gran magnitud dado que la estimación de generación de escombros es una entrada importante a la hora de realizarse planes de control de desechos y la ubicación de zonas de evacuación de escombros (García et al. 2017).

Se escogió esta zona ubicada en la periferia de Lima debido a su alta vulnerabilidad, dado que es un área de gente de bajos recursos (Flores 2002) y que históricamente se ha demostrado que los grupos de bajos recursos son los más expuestos a desastres, obstáculos durante la fase de respuesta, recuperación y reconstrucción (Alezaideh et al. 2018). Esto se debe a que es importante conocer el comportamiento de una estructura frente a un evento sísmico para poder predecir si continuará siendo útil después de un evento sísmico o si se generarán escombros con el fin de poder tener una idea de la vulnerabilidad de un sistema de edificación (Kuroiwa 2002).

En ese sentido se evaluará la cantidad de escombros generada tras un evento sísmico de gran magnitud dado que es un factor importante al momento de evaluarse la vulnerabilidad física. Además, esta es una manera de medir la exposición al riesgo de una comunidad dado que los factores socioeconómicos afectan al ambiente construido y por lo tanto se puede obtener un nivel de riesgo que ayude a la toma de decisiones a la hora de asignar recursos (Izquierdo y

Kahhat 2020).

La estimación de escombros generados tras un evento sísmico es altamente relevante pues permite que decisiones se podrán tomar para manejar eficientemente los escombros. Esto no solo implica trasladarlos a zonas distantes, si no de aplicarse soluciones sostenibles con ellos mitigando los impactos ambientales al poderse reciclarse o usarse los escombros para rellenos sanitarios (Raffei et al. 2008) siendo necesario realizar un estimado de generación de escombros en la etapa de respuesta sino también en la etapa previa al evento sísmico (Hirayama et al. 2010) pues al ser en una etapa previa al evento sísmico se puede obtener la cantidad de material perdida de los edificios de manera global (Mesta et al 2017) basándose en factores observables tales como el material de las edificaciones y el número total de edificaciones del área en estudio. (Mesta et al 2018).

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Como se tiene entendido, el Perú es un país altamente propenso a eventos sísmicos de diversas magnitudes. Los sismos siempre van a ser una realidad que acompaña a la vida y el desarrollo económico del país, pero sus efectos pueden ser mitigados mediante estrategias efectivas de prevención y reconociendo las áreas de poblaciones vulnerables. A continuación, se presentan las ideas que conllevan a formular el problema de la presente investigación.

2.1 Vulnerabilidad física

Alrededor del mundo muchas áreas con desarrollos de construcción están

amenazadas por peligros que representan una amenaza a personas, edificios e infraestructura lo cual implica a que se deba poner importancia al análisis y evaluación de la vulnerabilidad física de las zonas con infraestructura susceptible. Sin embargo, pese a la importancia de evaluar la vulnerabilidad física, esta es un área que todavía no recibe la atención requerida. La vulnerabilidad surge porque la sociedad interactúa con procesos naturales dañinos los cuales afectan sus elementos físicos, sociales, económicos y ambientales. Con esto se puede entender que la vulnerabilidad física es el grado de pérdida dado a un elemento o conjunto de elementos dentro de un área afectada por un peligro (Kappe et al. 2012).

En el Perú, un país susceptible a los eventos sísmicos, no se ha llevado una adecuada política de prevención de sismos. Con lo poco que se ha logrado hasta el momento en este campo, autoridades municipales y el gobierno nacional no han llevado un adecuado análisis de lo que respecta a la vulnerabilidad física. Muchas poblaciones de Perú se encuentran en situación de vulnerabilidad. Con acciones enfocadas en reducir la vulnerabilidad de las poblaciones se podrán prevenir las pérdidas en vidas humanas y materiales durante los eventos sísmicos (Miyashiro Tsukazan 2009).

Es importante que las municipalidades elaboren sus respectivos mapas de vulnerabilidad física para realizar un adecuado ordenamiento territorial. En base a estos mapas, las autoridades municipales deben de hacer concientizar a su población de la situación de vulnerabilidad en que se encuentran. Con esta información la población estará prevenida para el momento en que ocurra un evento sísmico (Miyashiro Tsukazan 2009).

Se debe añadir que después de Honduras y Bangladesh, Perú es el tercer país más vulnerable del mundo debido a su ubicación geográfica, lo cual implica que presente una alta vulnerabilidad física. El 46% de su territorio está considerado con vulnerabilidad alta y muy alta según el Mapa de Vulnerabilidad Física (Ministerio del ambiente 2011). La vulnerabilidad se debe a la mayoría de viviendas de baja calidad constructiva, susceptibles a los desastres naturales. La situación se empeora con la falta de control urbano en el crecimiento de las ciudades lo que afecta aún más la vulnerabilidad física de las viviendas. La ubicación de la capital peruana en la región de la costa la vuelve vulnerable por el registro de sismos más destructivos ocurridos durante su historia (Ministerio del Ambiente 2011).

Como se mencionó, es la autoconstrucción el factor agravante en cuanto a vulnerabilidad física. Muchas de las viviendas en la periferia de Lima son construidas de manera empírica sin asesoramiento técnico. Estas viviendas están ubicadas en distritos que han crecido de manera desordenada como San Juan de Lurigancho, Villa El Salvador o Comas. Los distritos de la periferia de Lima se originaron por la ocupación de terrenos de manera informal por gente de bajos recursos. Con esta vulnerabilidad física alta, estas poblaciones presentan un riesgo alto de ser susceptibles a los eventos sísmicos de gran magnitud (Ramírez Coterá 2019).

Para poder determinarse la magnitud de la vulnerabilidad física es que se modelan los escombros generados durante un evento sísmico. En base al porcentaje obtenido de los escombros con respecto al stock de materiales es

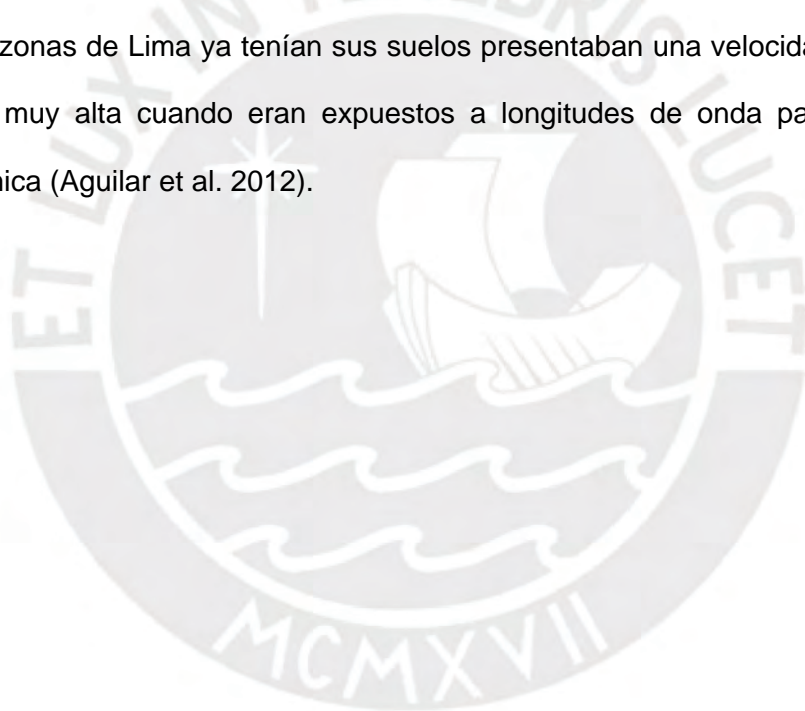
como se determina la vulnerabilidad física. Mientras este porcentaje más se acerque a 100, mayor será la vulnerabilidad física (Akbas et al. 2019).

2.2 La zona de Lomo de Corvina

La zona de Lomo de Corvina es el área de interés de la presente investigación, la cual está dentro del ámbito territorial del distrito de Villa El Salvador. Esta zona con una población de 10000 habitantes ha sido levantada en una ubicación altamente peligrosa la cual incrementa la vulnerabilidad física de la población que habita en este asentamiento sobre todo en caso de un evento sísmico fuerte. El CISMID, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, ha calificado este asentamiento como uno de los puntos más vulnerables del país debido a sus viviendas autoconstruidas, suelo arenoso y falta de señalización. A pesar de la recomendación de que las viviendas no deben superar un piso de altura, se han observado edificaciones que tienen hasta 4 pisos (Andina 2017).

Como se mencionó anteriormente, todo el distrito de Villa El Salvador es una zona arenosa con suelo desfavorable para la construcción de viviendas, es en la zona de Lomo de Corvina en que existe la mayor preocupación. Esta zona es una duna fósil con una altura de hasta 250m y con pendientes de entre los 25° a 30°. Muchas de las viviendas ubicadas en su lado oeste son precarias y la población ha efectuado cortes en talud empíricos sin el debido criterio técnico. En el lado que da hacia el mar se encuentra la Panamericana Sur que desde su construcción hasta la fecha viene sufriendo daños debido a la inestabilidad del talud y el arenamiento (Núñez y Vásquez 2009).

El peligro sísmico está demostrado gracias a los estudios que se realizaron para obtener el mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Lima. En la figura 2 se observa el mapa en mención (CISMID 2018). La zona de Lomo de Corvina debido a su suelo de arenas eólicas genera efectos de amplificación de las ondas sísmicas en el rango de 0.05 y 2 segundos. La técnica de medición de micro trepidaciones fue creada con el fin de poderse determinar el comportamiento dinámico de los suelos frente a los sismos y como la herramienta principal para realizar mapas de microzonificación sísmica. Para el caso de Lomo de Corvina, los resultados de la medición de micro trepidación fueron mucho más alto que en otras zonas de Lima ya tenían sus suelos presentaban una velocidad de onda de corte muy alta cuando eran expuestos a longitudes de onda para evaluar su dinámica (Aguilar et al. 2012).



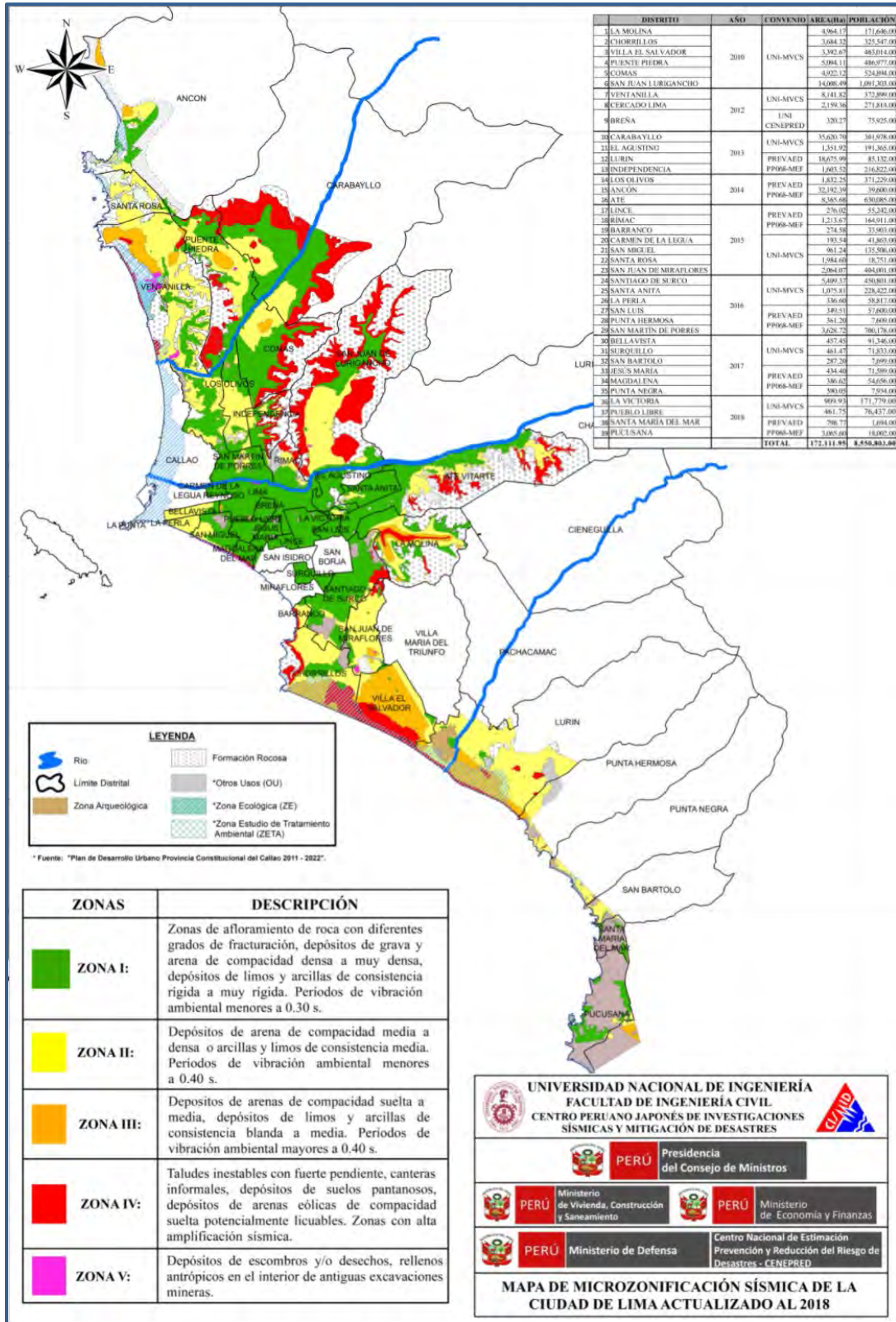


Figura 2. Mapa de microzonificación sísmica de Lima en la cual se observa que el distrito de Villa El Salvador presenta el mayor peligro sísmico con respecto a otras zonas de la capital (Fuente CISMID 2018)

En los últimos años también se ha observado que parte de los depósitos eólicos de la zona de Lomo de Corvina se han desprendido en los últimos años lo cual incrementa la inestabilidad del suelo en el caso de un evento sísmico fuerte, dado que las viviendas se encuentran construidas hasta incluso en las partes altas de esta zona. Con respecto a las aceleraciones sísmicas máximas que se han encontrado para un período de retorno de 100 años se ha descubierto que son de 0.298g. Por lo tanto, en vista de lo mencionado un evento sísmico de gran magnitud realmente sería catastrófico para esta zona (Villacorta 2009).

3. HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y ALCANCES

A continuación, se presentan la hipótesis, los objetivos principales de la presente investigación junto con los objetivos específicos y los alcances de la investigación.

3.1 Hipótesis

Si el porcentaje de escombros con respecto al stock de materiales es un dato para estimar la vulnerabilidad física, mientras más alto es este coeficiente mayor la vulnerabilidad física. Entonces se puede usar esta información para determinar el nivel de riesgo sísmico del Asentamiento Humano Lomo de Corvina, Villa El Salvador.

3.2 Objetivo principal

El objetivo principal de la presente investigación es evaluar el riesgo sísmico en el Asentamiento Humano Lomo de Corvina en Villa el Salvador.

3.3 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la presente investigación se mencionan a continuación:

- Identificar la vulnerabilidad física del AH Lomo de Corvina en Villa El Salvador
- Aplicar análisis de flujo de materiales.
- Interpretar los resultados para proponer recomendaciones en futuros planes de prevención de sismos en el Asentamiento Humano Lomo de Corvina

3.4 Alcances

A continuación, se mencionan los alcances de la presente investigación:

- Evaluar como sujeto de estudio al Asentamiento Humano Lomo de Corvina que pertenece al distrito de Villa el Salvador
- Obtener la vulnerabilidad física mediante la observación en la zona y de los mapas catastrales de la municipalidad.

4. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años se viene promoviendo la prevención de desastres en muchos países, esto debido a las pérdidas económicas y materiales que ocasionan (Rodríguez 2019). Los desastres son una realidad en todos los países del mundo incluso en los países desarrollados. Para citar algunos ejemplos, se tiene el caso del huracán Katrina en los Estados Unidos (Emanuel 2017). Otro caso notable de desastre fue el ocurrido en la central nuclear de Fukushima en Japón, la cual fue afectado por un gran terremoto y un tsunami (Holt y Nikitin 2012).

Para un tipo de evento difícil de pronosticar tales como los sismos es que la prevención se vuelve en un factor clave y por lo tanto que se debe buscar la

protección de la población en base a una estimación del riesgo al que están expuestos, el cual mide el grado esperado de pérdida debido a un desastre natural como también la exposición de las zonas vulnerables a las pérdidas en base a su vulnerabilidad (Vergara 1987).

Es en este sentido que se ha ido desarrollando conocimiento para poder manejar estos eventos, y que para el caso de la presente investigación es que se evalúa los riesgos de los eventos sísmicos en base a la vulnerabilidad física. En los años recientes, se podría decir que la mayor preocupación de los estudios del cambio ambiental y ciencias de sostenibilidad han encontrado a la vulnerabilidad como la mayor preocupación (Alezadeh et al. 2018), esto debido a que los sistemas urbanos tienen una alta vulnerabilidad a los terremotos por varios factores como crecimiento descontrolado en áreas susceptibles a sismos, inapropiada gestión de desastres, crecimiento poblacional, alta exposición a indicadores de riesgo, etc. La mala planificación del desarrollo urbano provoca que los espacios de escape sean inadecuados a la hora de eventos sísmicos y que la mayoría de las pérdidas de vidas humanas sean provocadas de noche (Alezadeh et al. 2018)

A partir de esto, es necesario plantear el problema con vistas en mitigar los daños causados por desastres debido a las pérdidas sociales y económicas que provocan. A esto hay que añadirle el respectivo impacto ambiental ocasionado y tenerlo en consideración dado que los desastres tienden a generar escombros a partir de los sistemas de infraestructura afectados de los cuales se debe efectuar un análisis de ciclo de vida respectivo con el cual se puede evaluar el impacto en el medio ambiente causado por los desastres, lo cual puede ayudar a comparar daños y proporcionar datos relevantes para tomar decisiones para elaborar planes de mitigación una vez

ocurrido el desastre (Parodi, Kahhat y Vasquez – Rowe 2021).

Como se sabe la evaluación del riesgo de un elemento a un evento particularmente peligroso requiere de considerarse la vulnerabilidad del elemento en sí, la cual es su propensión a sufrir daño y en base a este nivel de peligro evaluado es que se puede traducir en términos de nivel de riesgo (Douglas 2007). En el caso de los sismos, se puede modelar la vulnerabilidad física en base al nivel de daño esperado a los diferentes sistemas constructivos en base a los diferentes tipos históricos de sismos que han ocurrido en un determinado lugar (Climent et al. 2003).

Similar al caso de la zona de estudio, se condujo un estudio similar en una zona costera frente al mar con suelo arenoso en el litoral de Nariño, Colombia. Se descubrió que los lugares con estas características en el caso de un evento sísmico son susceptibles debido al fenómeno de licuefacción (Arellano et al.2003). Por ser una zona de suelo arenoso es normal tener aceleraciones mayores a los 0.40 g. Las edificaciones también habían sido construidas de maneras deficientes en cuanto a elementos estructurales de madera, ladrillo o concreto (Arellano et al. 2003). Esta descripción es similar a una zona como el Asentamiento Humano Lomo de Corvina en Villa El Salvador. En la figura 3, se aprecia los daños que causa la licuefacción a las cimentaciones de un edificio.



Figura 3. Edificio colapsado debido a licuefacción del suelo tras un terremoto (Fuente GeoQuantics 2020)

Con la presente investigación, se estimará el nivel de vulnerabilidad física de la zona de Lomo de Corvina. Esta estimación partirá de modelarse la cantidad de escombros generados tras un evento sísmico. El cociente de los escombros con respecto al stock de materiales existente será la manera estimar la vulnerabilidad física de la zona de estudio (Izquierdo y Kahhat 2020).

5. METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó en aplicar la metodología en base a la reunión de datos del terreno tales como la realidad de las viviendas. Es decir, los materiales usados para su construcción, el tipo de terreno y su ubicación. En la figura 4 se muestra el esquema de la metodología que se aplicó en el presente trabajo.

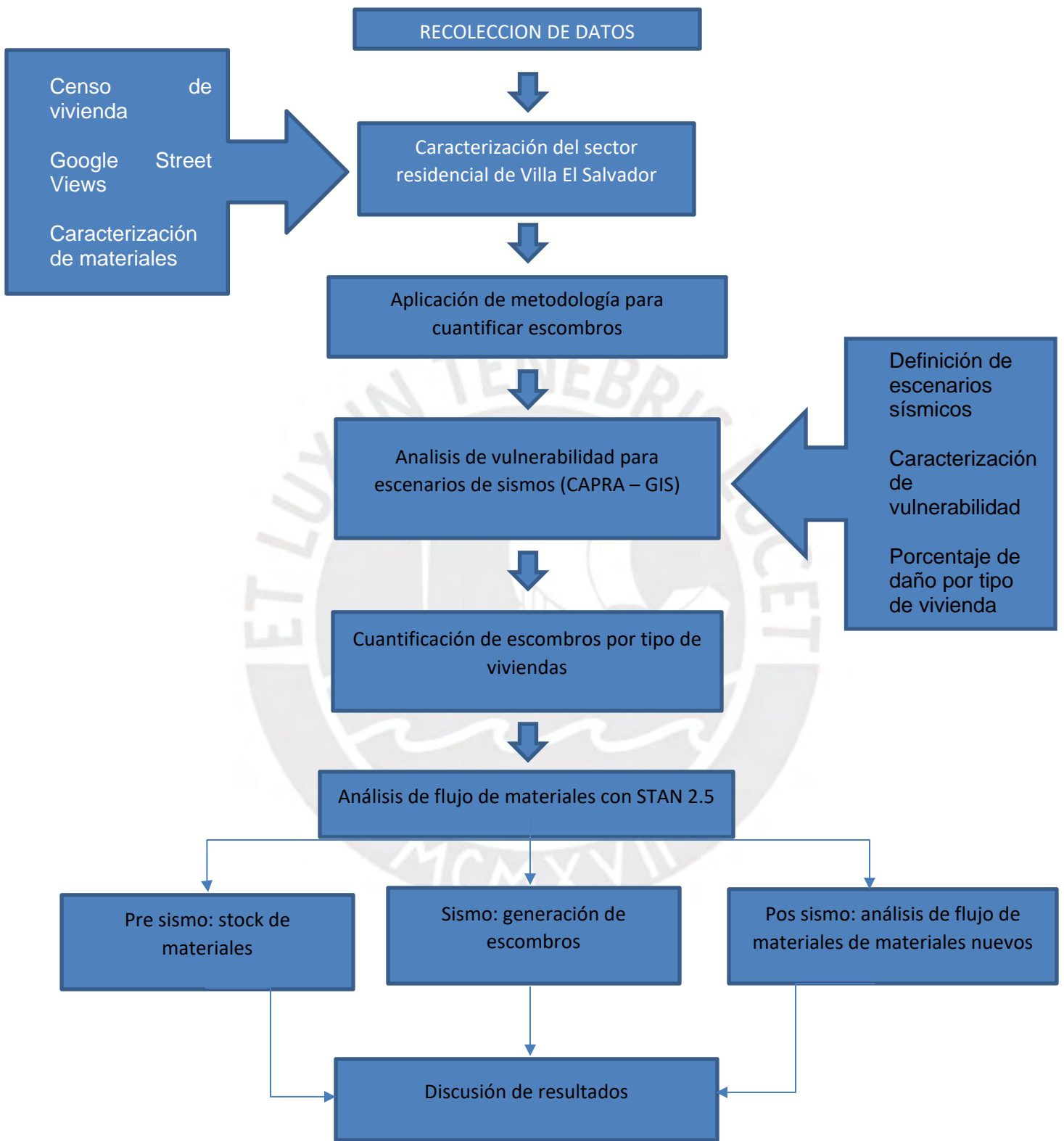


Figura 4. Metodología empleada en el presente estudio (Fuente: García et al 2017)

Posteriormente, se usaron estos datos para poder evaluarlos mediante el software CAPRA – GIS con el cual se simuló las afectaciones a las viviendas después de un evento sísmico y el manual HAZUS con el cual se determinó los escombros generados tras un evento sísmico importante. Como ya se mencionó anteriormente gracias a esta información obtenida, se estimó la vulnerabilidad física de una ubicación en base a los escombros generados tras un evento sísmico importante.

5.1 Secuencia empleada

Para desarrollar la presente investigación evaluaron los diversos artículos científicos, tesis, libros entre otras fuentes con los que se recabó toda la información necesaria. Se evaluó toda la información más reciente de estado del arte como punto de partida para poderse sustentar que la vulnerabilidad física. En estas investigaciones, se encontró que la vulnerabilidad física se estima en base a la cantidad de escombros generados después de un evento sísmico (Izquierdo y Kahhat 2020).

Después de la revisión y estudio de la literatura existente, se realizó la caracterización del stock de materiales mediante una evaluación de los censos, mapas catastrales y Google Street Views. Esto sirvió para cuantificar las edificaciones del área de estudio por tipo de edificio y área del piso (Mesta et. al 2018). Estos datos de entrada son necesarios para la obtención del stock de materiales global.

El stock de materiales es una herramienta útil para mejoramiento y reconstrucción de una ciudad. Por ejemplo, en Alemania esto data de la Segunda Guerra Mundial en la que se necesitó conocer cuál sería la demanda futura en base a lo que ya

existió dado que se lograba obtener un análisis cualitativo y cuantitativo y conocerse los costos asociados a ellos (Kohler y Hassler 2002).

En base al stock de materiales se cuantificaron los escombros para 3 tipos de eventos sísmicos mediante la herramienta CAPRA – GIS. Con este software se calculó el porcentaje físico de daño en base a la exposición al riesgo de sismo (alto, moderado y bajo). Estos 3 escenarios fueron la entrada con que se obtuvo la proporción de daños con respecto a costo de reparación y costo de reconstrucción. Los materiales perdidos después de un evento sísmico serán modelados mediante ecuaciones estadísticas de HAZUS. (Mesta et al. 2017)

La importancia de CAPRA es que es una poderosa herramienta basada en modelos probabilísticos que usan la limitada información de eventos con alta incertidumbre como los sismos. CAPRA permite predecir escenarios prospectivos y que se anticipan de manera científica y creíble a futuros eventos desastrosos. En base a este modelo probabilístico que toma en cuenta incertidumbres tales como severidad y frecuencia de un evento sísmico es que CAPRA es capaz de modelar las pérdidas potenciales que surgen de un evento sísmico (Cardona et al. 2012).

Con respecto a la estimación de los escombros que producen eventos sísmicos, se usó el manual Hazards United States o abreviado como HAZUS. Este manual permite la modelación de pérdidas en escombros que mayormente se usa para eventos de desastres naturales en los Estados Unidos. Sin embargo, también se puede utilizar en otras partes del mundo (Kulmesch 2010).

Los escombros estimados fueron cuantificados y caracterizados para su correcta

gestión y disposición final. Se tomó en cuenta las etapas del fin de ciclo de vida de escombros (García et al. 2017).

En vista que las prácticas actuales exigen que la industria vaya de la mano con el desarrollo sostenible es que se viene implementando la técnica de análisis de flujo de materiales. Para aplicar análisis de flujo de materiales se hizo un modelo del tipo entrada y salida (Bringezu y Moriguchi 2002). En la presente investigación se tuvo este tipo de modelo partiendo del stock de materiales y las respectivas acciones que implica el manejo de escombros después de un evento sísmico. En el caso de salida, se tomó en cuenta tanto el reciclaje y eliminación (Bringezu y Moriguchi 2002).

La importancia de obtener el stock de materiales, cuantificar los escombros y realizar el flujo de materiales recae en el hecho explicado que son una manera de medir cuan expuesto está un sistema al daño. Con estos 3 factores se estimó la vulnerabilidad (Douglas 2007). En base a esta estimación las autoridades pertinentes y expertos podrán tener una idea del alcance del daño. La estimación facilitará la toma de decisiones para conocer cuántos edificios requerirán demolición, reparación y calcular los costos que implicará la reconstrucción (Douglas 2007).

Finalmente se realizaron las conclusiones y recomendaciones para los resultados obtenidos.

5.2 Caracterización

La evaluación de la vulnerabilidad física se estimó tomando en cuenta que los

elementos a evaluar son las viviendas. En ese sentido se entiende que una vivienda es el espacio donde se desenvuelve una familia y los miembros que la integran y que esta vivienda tiene un tipo específico de material del cual está construida (INEI 2018). Como parte de analizar la vulnerabilidad física se tomó en cuenta la composición de los elementos estructurales principales (Kahhat, Mesta y Santa Cruz 2017).

Para el propósito de la presente investigación se consideró una zona de Villa El Salvador la cual es el Asentamiento Humano Lomo de Corvina la cual está dividida en las siguientes asociaciones: Asociación Los Minkas, Asociación Lomo de Corvina, Asociación 3 Regiones, Asociación Tahuantinsuyo, Asociación Santa Rosa, Asociación Patitos 1, Asociación Patitos 2, Asociación Los Campesinos, Asociación Apasil, Pino 3, Pastor Revilla, San Antonio de Padua, Virgen Cocharcas, El Triunfo de Villa, Mensajero de la Paz, Señor de Cachuy, La Villa Colonia Cayetana, Agrobusiness, Heliconia, Virgen de Chapi, Juan Velasco, San Valentin, 18 de Octubre, Familia Unidas, Virgen de la Candelaria, Santa Nélida, 13 de Julio, 13 de Mayo y Chacrita Cajamarquina. (Municipalidad Distrital de Villa El Salvador 2014).

En el Perú la realidad del área denominada “conos” es que la mayoría de las viviendas son de material noble, es decir ladrillo de arcilla y concreto, el cual son los materiales predominantes. Esto se produce en vista que son los materiales preferidos por la población de las periferias de Lima por la resistencia que ofrecen ante los fenómenos naturales y por su economía dado que son materiales de alta demanda. Después de estos también se pueden encontrar otros tipos de materiales (estera, adobe, madera, etc) con los que la población construye sus

viviendas. El empleo de estos materiales inadecuados se origina en que los pobladores de la periferia de Lima son personas de bajos recursos económicos. (Santa María 2008).

Normalmente la construcción de las viviendas en las periferias de Lima se hace de la fachada hacia atrás. Esto conlleva a que se comience con algo que se podría denominar un cuarto común en el cual posteriormente se irán añadiendo los demás ambientes respectivos. Es así como se puede explicar el motivo que en un distrito como Villa el Salvador el 46% de las viviendas tienen el primer techo sin culminar. Posteriormente la población se proyecta a construir más viviendas dentro del mismo lote en un sentido vertical (Santa María 2008).

Aunque los habitantes de Villa el Salvador son de bajos recursos, el costo de reparar sus viviendas después de un evento sísmico de gran magnitud será muy elevado. En la figura 5, se puede apreciar el mapa de Microzonificación Sísmica para Villa el Salvador. Este mapa fue hecho para expresar el porcentaje de daños en base a los costos de reparación. Como se puede apreciar en la figura en mención, son muy pocos los lotes que su costo de reparación supere el 15% (Municipalidad de Villa El Salvador 2016).

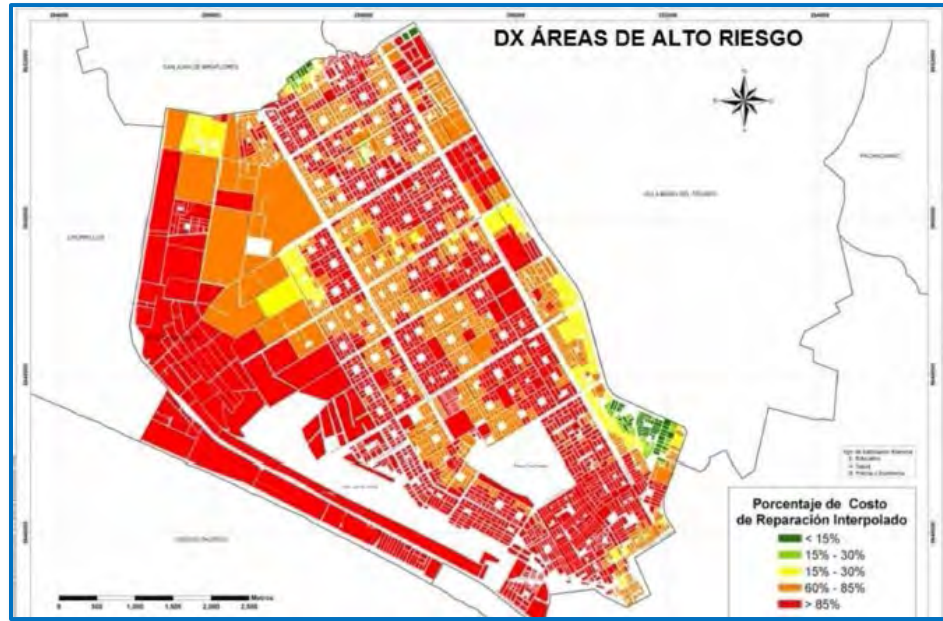


Figura 5. Mapa de microzonificación sísmica para Villa El Salvador (Fuente Municipalidad de Villa el Salvador 2016)

A la falta de asesoramiento técnico y materiales adecuados para construir viviendas, se le suma el tipo de suelo no óptimo para edificaciones. Normalmente, la profundidad promedio de viviendas en esta zona es de 1 a 2 metros (Municipalidad de Villa El Salvador 2011). Esta profundidad para cimentaciones también es tomada en cuenta por proyectistas del sector privado que han diseñado las grandes fábricas e industrias que se encuentran en el distrito en la actualidad. Sin embargo, este tipo de cimentaciones no es la apropiada para suelos arenosos, las cuales requieren de asesoramiento técnico para ser construidas. Los habitantes de Villa El Salvador no tienen los recursos para construir este tipo de cimentaciones o realizar los estudios que las hagan factibles (Municipalidad de Villa El Salvador 2011).

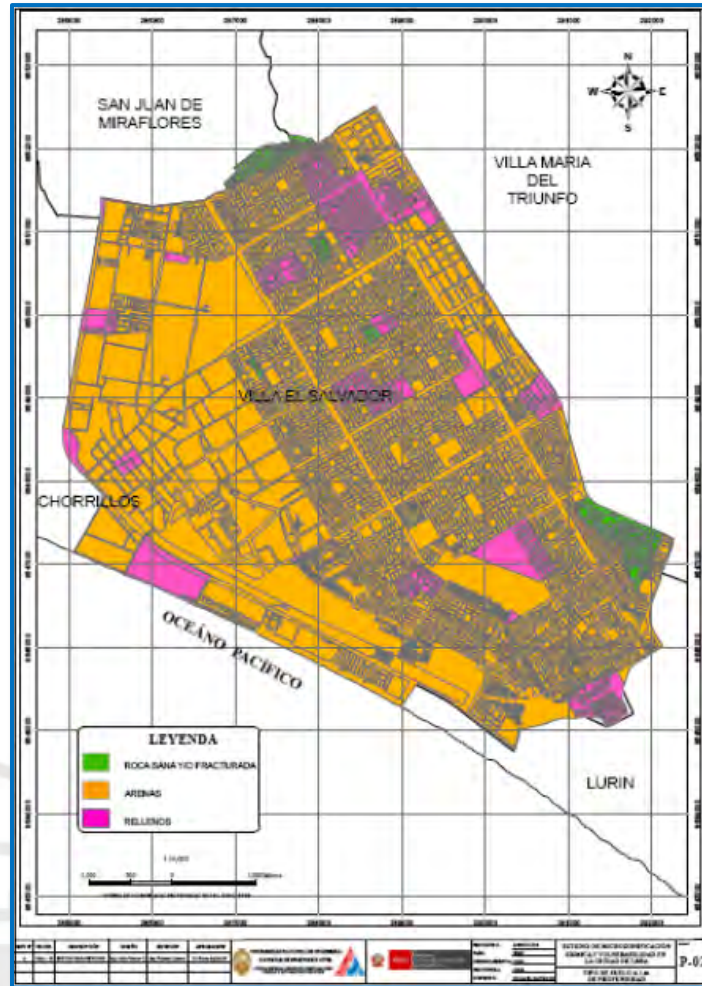


Figura 6. Caracterización del tipo de suelos encontrados en Villa el Salvador, generalmente arenas (Fuente Municipalidad de Villa el Salvador 2011)

En la figura 6 se puede apreciar el tipo de suelo que se encuentra en la totalidad del distrito de Villa El Salvador. Por lo tanto, para el área de estudio que es la zona de Lomo de Corvina se puede deducir el mismo tipo de suelo arenoso no apto para edificaciones, sumado al hecho de que esta zona es una duna de arena que se pobló debido a las invasiones de terrenos que tuvo esta área en el pasado. Para continuar con la caracterización del área de Lomo de Corvina se necesita saber su ubicación dentro del distrito de Villa El Salvador y conocer la cantidad de lotes y los tipos de materiales de los que están hechos. El plan de sectorización de

la Municipalidad de Villa El Salvador proporciona esta información con respecto a los lotes existentes de todo el distrito.

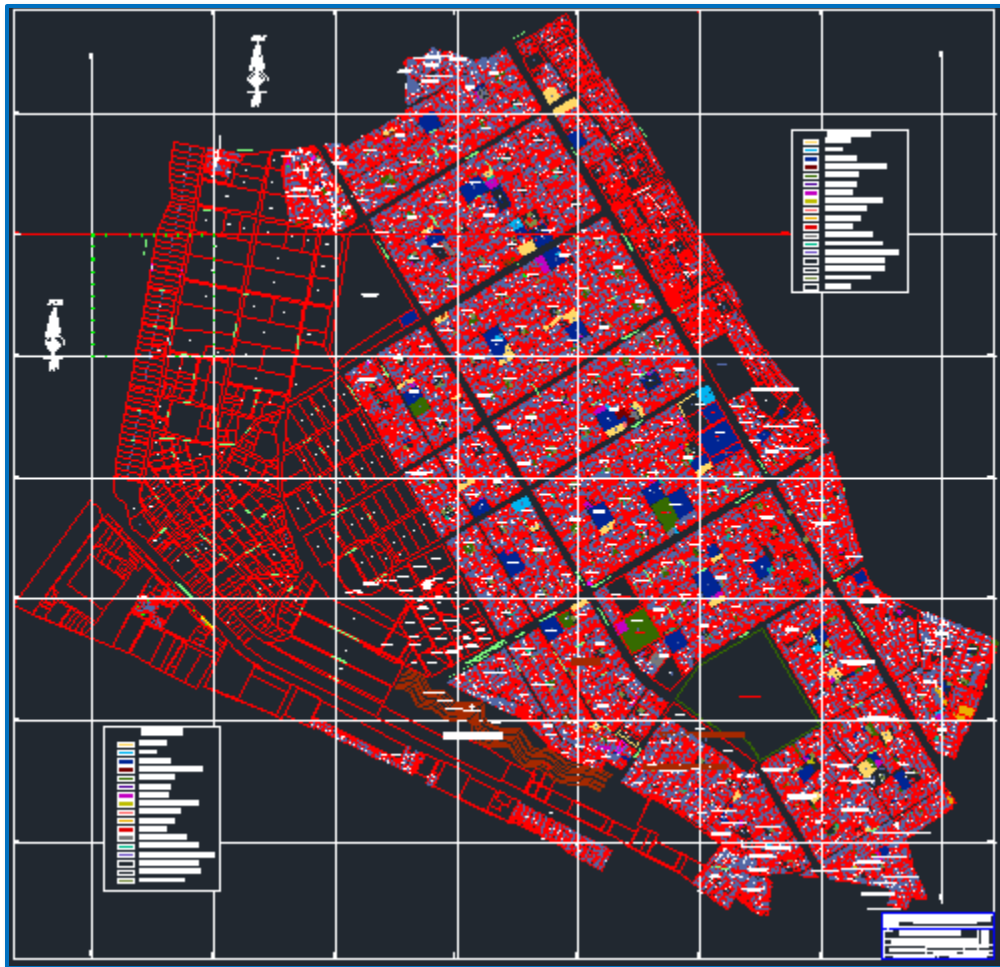


Figura 7. Plano de sectorización del distrito de Villa El Salvador, la zona de Lomo de Corvina se encuentra en la parte inferior (Fuente: Municipalidad de Villa El Salvador 2015)

A partir de este plano se puede tomar como punto de partida para la caracterización, lo siguiente es separar el área de Lomo de Corvina de aquellas que no son del interés para la presente investigación. El área de interés fue separada mediante el programa ArcGIS y Google Earth dado que ambos van de la mano al momento de obtener la información geográfica de la zona de Lomo de Corvina. Esto permitirá más adelante que puedan ser evaluados por el programa CAPRA GIS dado que éste no reconoce un dibujo generado por el programa

AutoCAD, proporcionado por la Municipalidad de Villa El Salvador, pero si elementos que estén debidamente georreferenciados.

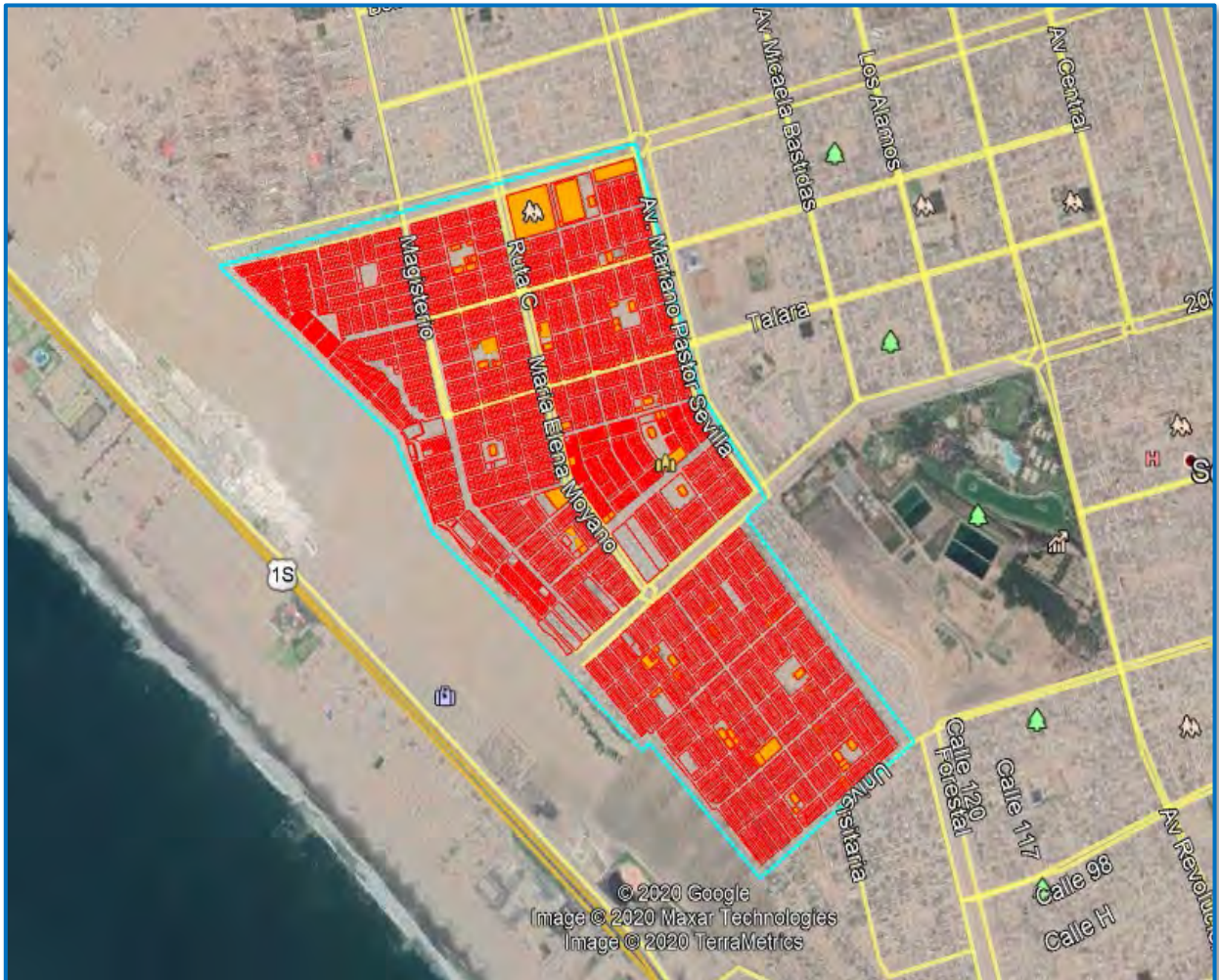


Figura 8. Zona de Lomo de Corvina separada del plano de sectorización de la Municipalidad de Villa el Salvador en Google Earth (Fuente Elaboración propia)

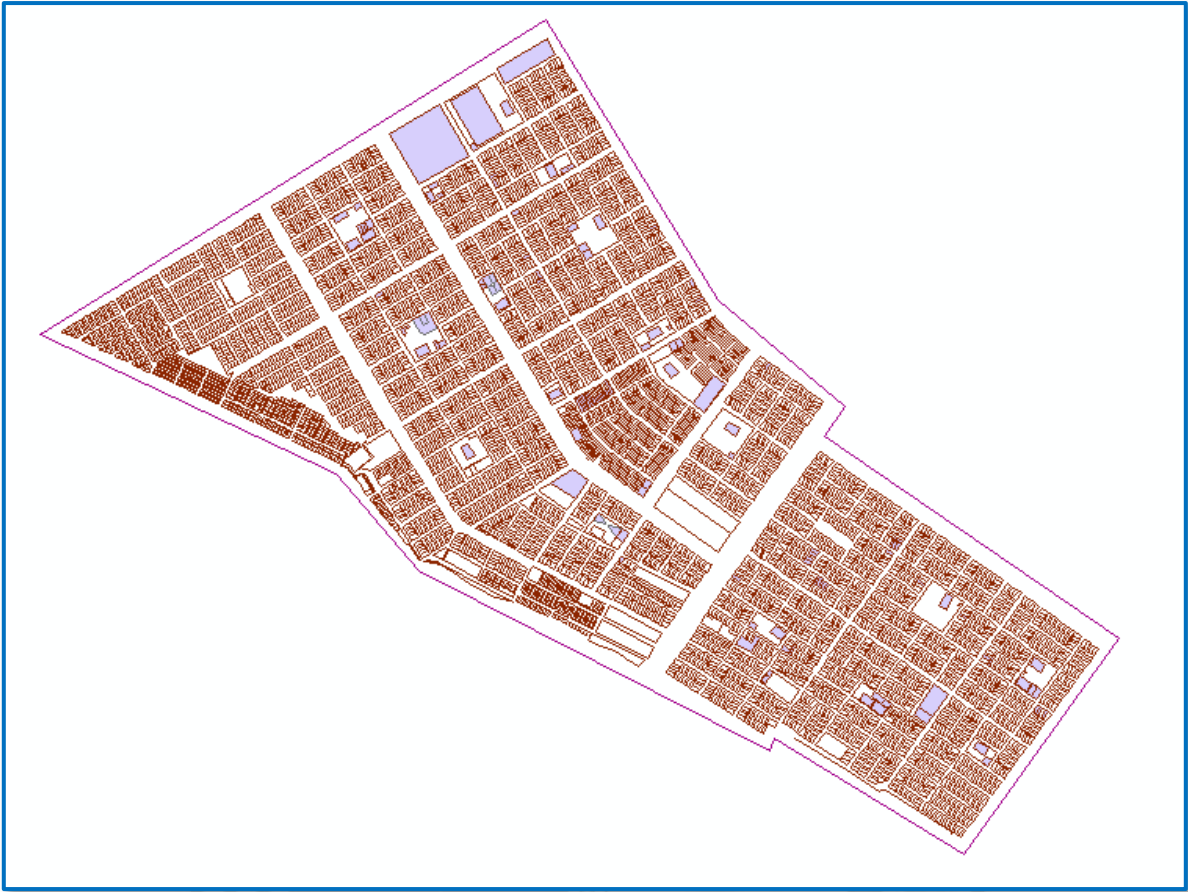
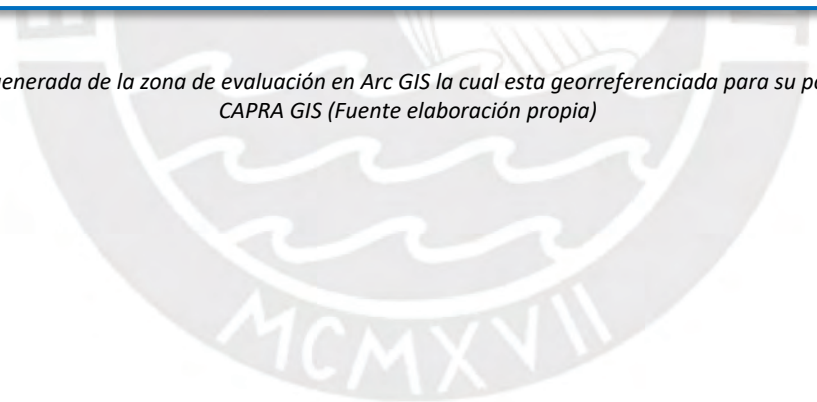


Figura 9. Imagen generada de la zona de evaluación en Arc GIS la cual esta georreferenciada para su posterior análisis en CAPRA GIS (Fuente elaboración propia)



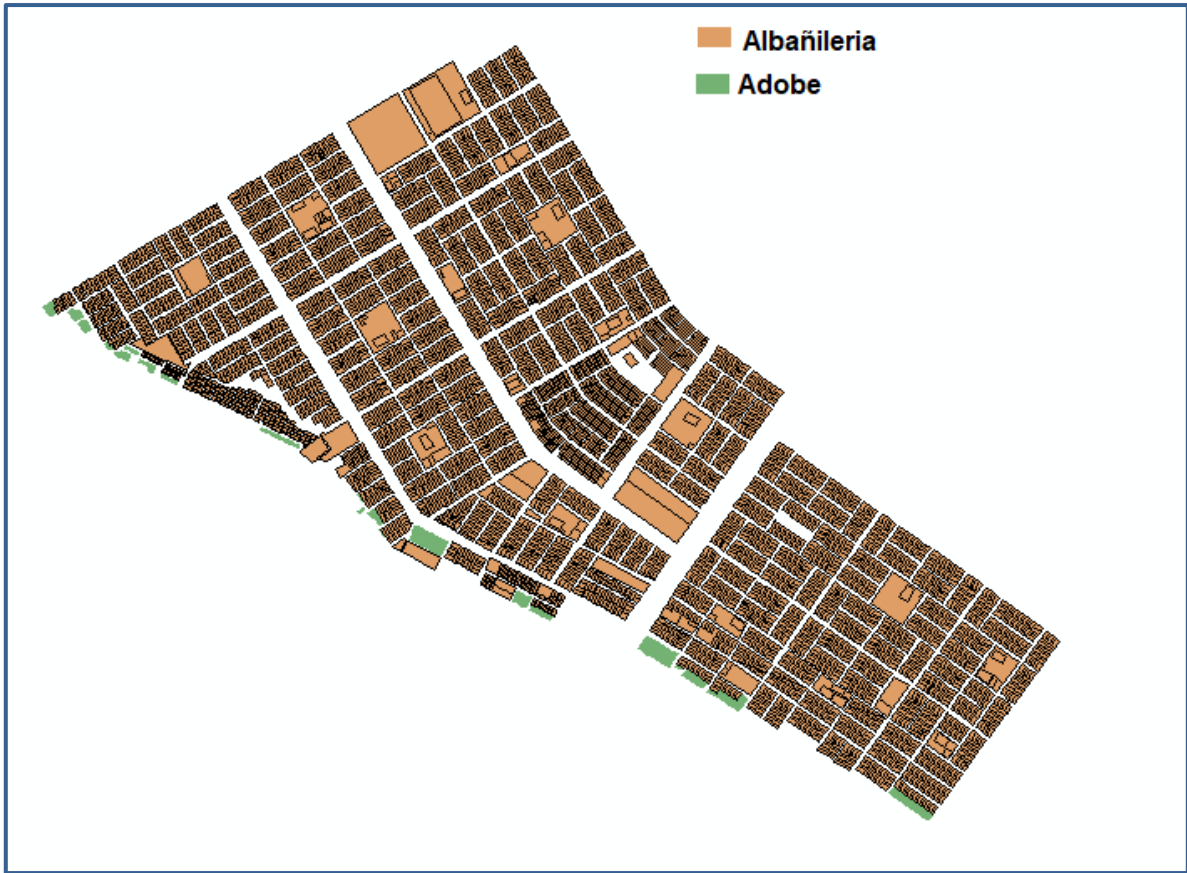


Figura 10. Tipos de vivienda por material predominante de adobe, en verde, y albañilería, en beige (Fuente: Elaboración propia)

A partir de las imágenes anteriores y los archivos generados se pudo contabilizar los lotes existentes en la zona de Lomo de Corvina. De la misma manera que se obtuvieron las áreas individuales y sus respectivas sumatorias a fin de obtener el área representativa por el tipo de material que se analizó en el programa CAPRA – GIS. La manera en que se clasificó los tipos de materiales de las viviendas fue elaborada mediante las vistas que se obtienen por *Google Street Views* y *Google Earth* a fin de tener una cantidad promedio para los tipos de materiales.

Tabla 2. Información del área de Lomo de Corvina para análisis posterior (Fuente: Elaboración propia)

Información geográfica del área de estudio Lomo de Corvina – Distrito de Villa El Salvador			
AREA TOTAL		2 055 301	M2
LOTES		7576	UND
COORDENADAS	GEOGRAFICAS	12° 14'05.27" S	76° 56'25.82" O
	UTM	288905.90	8646725.00

De la tabla anterior, se efectuó la evaluación en cuanto a los tipos de materiales de las viviendas. A pesar de ser un área de la periferia de Lima, ésta ya tiene varios años ocupada y la mayoría son de albañilería confinada por elementos de concreto en la zona destinada a uso residencial mientras que las de madera, adobe o esteras están en la parte alta de la duna. Esto último se constató gracias al levantamiento del tipo de materiales de las viviendas que se realizó en el Sector X Grupo 4 en el cual se constató lo anteriormente mencionado (INDECI 2018).

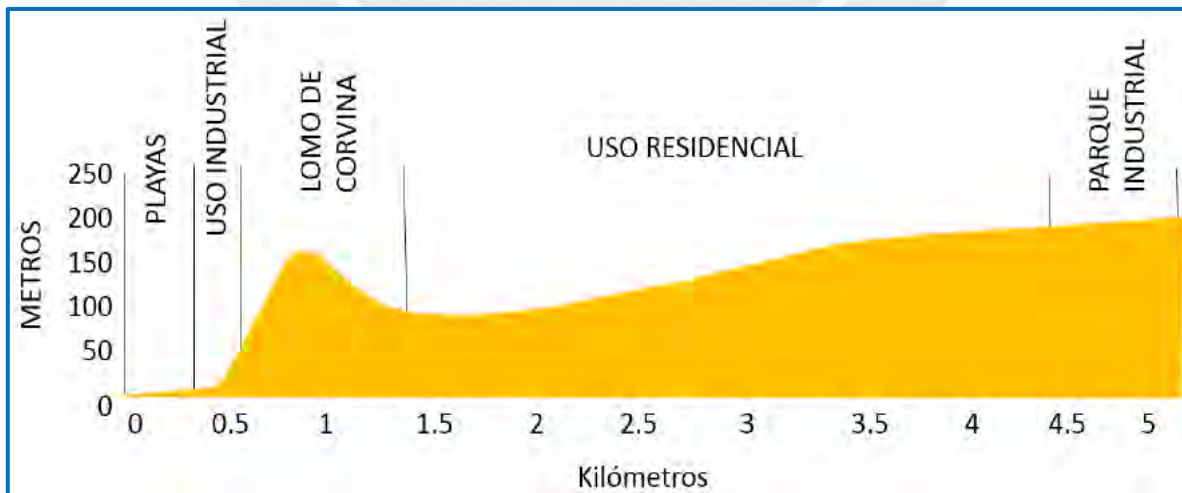


Figura 11. Perfil longitudinal del distrito de Villa el Salvador donde se aprecia que solo la zona detrás de la duna Lomo de Corvina es apta para viviendas (Fuente: INDECI 2018)

Tabla 3. Caracterización de los materiales de las viviendas en base a la cantidad de lotes (Fuente: Elaboración propia)

N°	Tipo de material	Cantidad	Unidad	Porcentaje (%)
01	Albañilería confinada por elementos de concreto	6864	UU	96.84
02	Adobe	224	UU	3.16
	Total	7088	UU	100.00

El siguiente dato necesario para la caracterización fue conocer el número de pisos de las viviendas dado que en base de las cantidades de materiales existentes se modelaron los escenarios de sismos en el programa CAPRA – GIS. Es muy raro encontrar viviendas con sótanos en un distrito de la periferia de Lima, por lo tanto, se asignó el valor de 0. Sin embargo, la gran mayoría son de 1 piso, seguidas por viviendas de hasta 4 pisos las cuales son muy escasas, pero se encuentran alejadas de la zona alta que da frente al mar.

Tabla 4. Cuadro de las cantidades de viviendas en base a los números de pisos (Fuente: Elaboración propia)

N°	Número de pisos	Cantidad	Unidad	Porcentaje (%)
01	Con sótanos	-	-	-
02	Hasta 1	6600	UU	93.13
03	Hasta 2	231	UU	3.26
04	Hasta 3	153	UU	2.15
05	Hasta 4	104	UU	1.46
	TOTAL	7088	UU	100.00

El resto de los terrenos que no se consideraron dentro del área de lotes fueron las que se usan comunitariamente tales como parques, capillas, etc. Estos tipos de infraestructura no se consideró para la presente investigación en vista que no

están destinados para servir de viviendas, si no para el uso de la población en general para propósitos específicos como recreación, servicios de salud pública, entre otros.

Tabla 5. Áreas de terrenos destinados para usos comunitarios (Fuente: Elaboración propia)

N°	Tipo de uso	Área	
		Cantidad	Unidad
01	Instituciones educativas	27167	M2
02	Losas deportivas	12416	M2
03	Parques	13362	M2
04	Mercados	25418	M2
05	Centros de salud	228	M2
06	Religioso	4047	M2
07	Otros	3028	M2

Con la zona debidamente caracterizada, se procedió a obtener el stock de materiales a fin de saber qué tipo de materiales hay por tipo de edificación y sus cantidades.



Figura 12. Viviendas de albañilería en la zona de Lomo de Corvina donde se nota que algunas pueden tener hasta 4 pisos (Fuente Google Earth)



Figure 13. Viviendas de albañilería, adobe, madera y estera en la zona de Lomo de Corvina (Fuente: Google Earth)

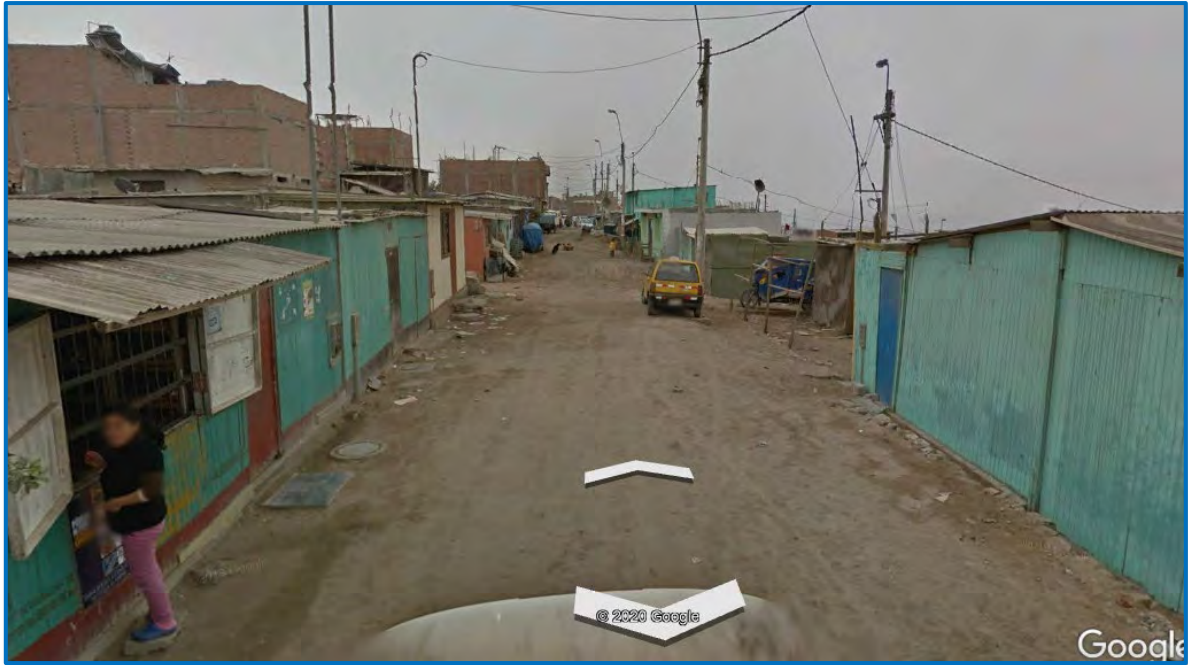


Figura 14. Viviendas de albañilería, adobe, madera y estera en la zona de Lomo de Corvina, no existen viviendas de departamentos de concreto reforzado (Fuente Google Earth)

5.3 Stock de materiales

A fin de obtener el estimado del stock de materiales se usó la ecuación I, esta combina las intensidades de materiales por el área de piso de una vivienda y el número de pisos de la vivienda. Para obtener el promedio de pisos de los edificios de albañilería se tomó la cantidad de edificios por su número de pisos y luego dividido por el total de edificios de este tipo de material. Mientras que para los de adobe se asignó un valor de 1. El área promedio de los lotes se obtuvo a partir del plano proporcionado por la Municipalidad de Villa El Salvador. Solo se han considerado para el presente estudio las viviendas de adobe y albañilería. Aunque hay la existencia de viviendas de madera y estereras éstas no se han considerado ya debido a que el mapa de microzonificación sísmica de Lima muestra esta zona como la más peligrosa, se asume que estos dos tipos de viviendas se perderán completamente al ser muy frágiles.

$$M_{m,i} = (\sum_i GFA_i * N_i) * MI_{m,i} \dots\dots Ecuación I$$

$$MS = \sum_{m,i} M_{m,i}$$

Donde:

GFA_i = Area del piso por tipo de edificio i en m²

N_i = Numero de edificios por tipo i

$MI_{m,i}$ = Intensidad de material por material m y tipo de edificio i en kg/m²

$M_{m,i}$ = Masa de material m en tipo de edificio

MS = Stock total de material de edificios en toneladas métricas (Mesta, Kahhat y Santa Cruz 2017)

Lo anteriormente mencionado es para obtener el stock de materiales, mientras que la siguiente ecuación II, es la que se usó para la obtención de los escombros producidos para los 3 escenarios de sismo.

$$LM_{m,i} = \sum_k DF_{m,i,k} * M_{m,i,l} \dots\dots Ecuación II$$

$$LMS = \sum_{m,i} LM_{m,i}$$

Donde:

$DF_{m,i,k}$ = Fracción de escombros del material m construido en el edificio tipo i debido al daño estructural k (%)

$M_{m,i,l}$ = Masa de material m construido en el edificio tipo i en daño estructural k (kg)

$LM_{m,i}$ = Masa de material perdido m construido en el edificio tipo i (kg)

LMS = Perdida de stock de materiales de edificios (toneladas métricas) (Mesta, Kahhat y Santa Cruz 2017)

Tabla 6. Promedio de pisos para el tipo de material y área promedio en metros cuadrados de los lotes (Fuente: Elaboración propia)

Tipo de edificio	Numero promedio de pisos	Área promedio del piso
Casa de albañilería de ladrillo	1.1	140
Casa de adobe	1.0	140

Tabla 7. Intensidad de materiales para diferentes tipos de edificios en kg/m² (Fuente Kahhat et al. 2017)

Tipo de edificio	Concreto	Ladrillo de arcilla	Mortero	Acero	Ladrillo de adobe
Casa de albañilería de ladrillo	509	267	256	26.6	-
Casa de adobe	-	-	-	-	911

Tabla 8. Stock de materiales obtenido para el área de estudio en toneladas (Fuente: Elaboración propia)

Material	Masa del material (Toneladas)
Concreto	549628
Ladrillo de arcilla	288311
Mortero	276433
Acero	28723
Ladrillo de adobe	28568
Stock de materiales	1171663

A continuación, se muestran los mapas de intensidad de materiales georeferenciados:



Figura 15. Mapa de intensidad de materiales de lotes de albañilería



Figura 16. Mapa de intensidad de materiales de lotes de adobe

5.4 Análisis mediante el programa CAPRA GIS

Una vez obtenidas la caracterización de materiales y la base de datos georeferenciada en ArcGIS, se procedió con el análisis en el programa CAPRA GIS. Como se explicó anteriormente, los datos mencionados fueron obtenidos de los mapas catastrales de la municipalidad de Villa El Salvador y que luego fueron complementados mediante fotos e imágenes obtenidas de la plataforma Google Street Views. Para el archivo de amenaza AME, se utilizó el desarrollado por la Pontificia Universidad Católica del Perú para la Evaluación Probabilística del riesgo sísmico de escuelas y hospitales de la ciudad de Lima (Santa Cruz 2013) en el cual se extrajeron los escenarios para sismos de 6.26Mw, 7.34Mw y

8.42Mw que se tomaron como leve, moderado y severo respectivamente. En cuanto a la fuente, se escogió la fuente 4, la cual pertenece a Lima y está clasificada como una fuente sismogénica superficial.

Tabla 9. Tabla del modelo de Poisson para los parámetros de la fuente 4 (Fuente: Santa Cruz 2013)

Fuente	M0	Λ_0	β	Coefficiente de variación de β	Mu	Coefficiente de variación de Mu	Mu mínimo	Mu máximo	E (Mu)
04	4.3	4.24	1.69	0.02	8.6	0.2	8.4	8.8	8.6

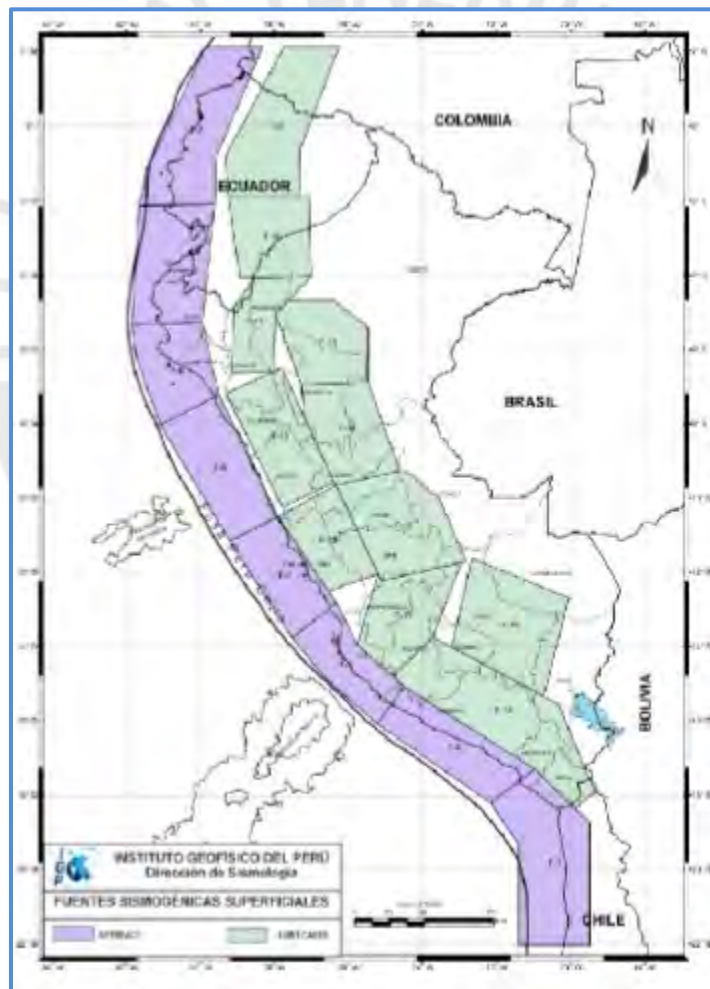


Figura 17. Mapa de las fuentes empleadas en el archivo AME, para el presente estudio se uso la fuente 4 (Fuente: Tavera et al. 2014)

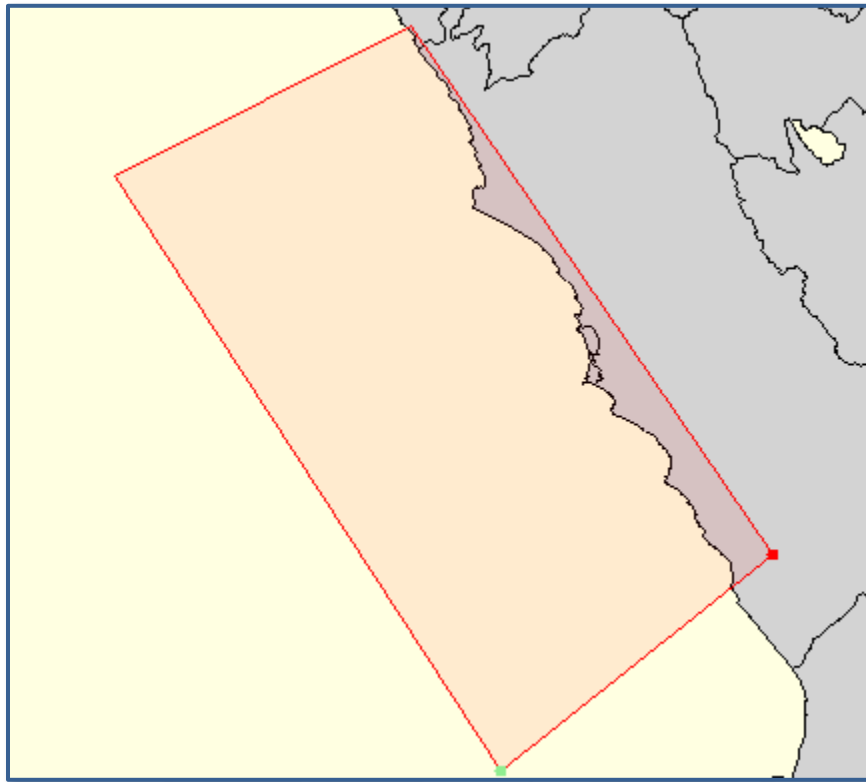


Figura 18. Mapa de la fuente 4 dentro del cual se ubica la zona de estudio (Fuente: Santa Cruz 2013)

Tabla 10. Coordenadas y profundidad de la fuente 4 (Fuente: Santa Cruz 2013)

Longitud	Latitud	Profundidad (KM)
-77.526	-13.767	30
-76.334	-12.818	60
-77.915	-10.509	60
-79.214	-11.167	60

Se seleccionaron los escenarios anteriormente mencionados en vista a los estimados realizados por el Instituto Geofísico del Perú, el cual estima que para sismos de magnitud 6 a 7 en la escala de Richter tienen un período de retorno de entre 50 a 100 años, de entre 7 a 8 entre los 100 a los 300 años y para sismos con magnitudes mayores a los 8 su periodo de retorno es de 300 años a más

(Gestión 2017). A continuación, se muestra la tabla de magnitudes y sus respectivos períodos de retorno obtenidos del archivo AME usados para el presente estudio, los cuales guardan coherencia con los parámetros del Instituto Geofísico del Perú.

Tabla 11. Escenarios seleccionados para el presente estudio (Fuente: Santa Cruz 2013)

Escenario	Magnitud (Mw)	PGA (cm/s²)	Periodo de retorno (años)
Leve	6.26	100	106
Moderado	7.34	230	268
Severo	8.42	400	548

A continuación, se muestra la distribución espacial en PGA para el estudio, el cual muestra las isolíneas para cada tipo de escenario y la zona de estudio respectivamente.

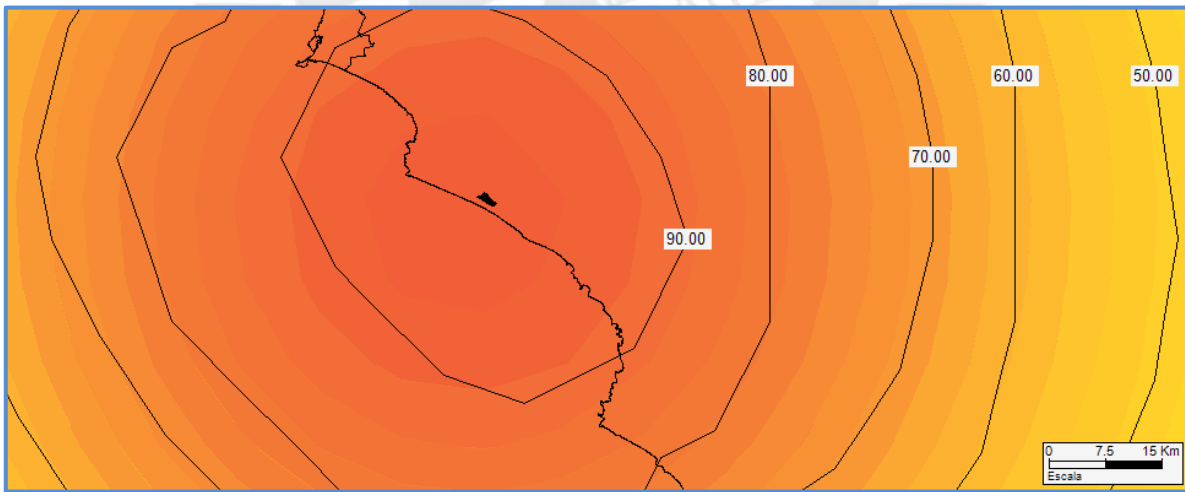


Figura 19. Isolíneas en PGA para el escenario de sismo leve (Fuente: Santa Cruz 2013)

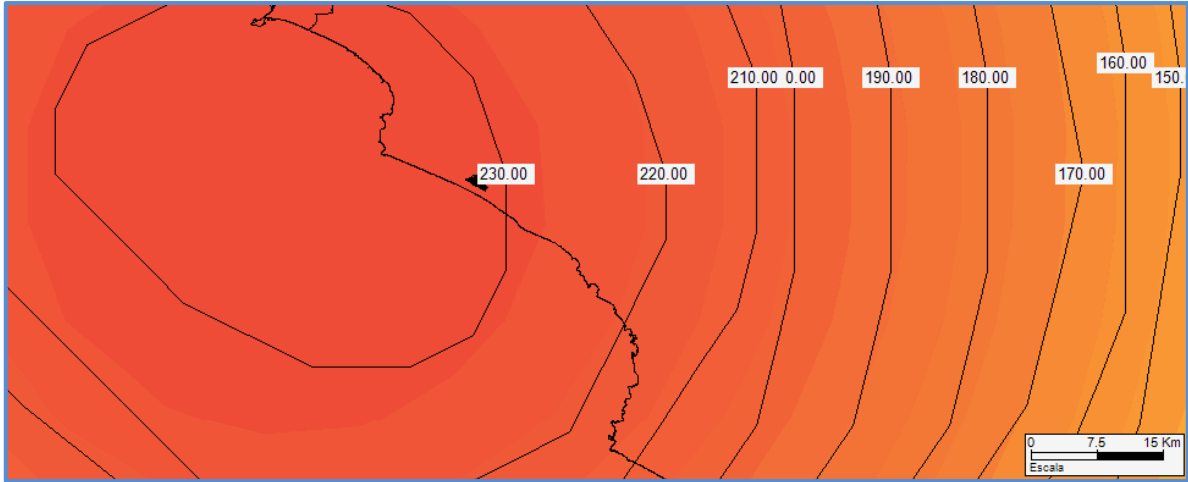


Figura 20. Isolíneas en PGA para el escenario de sismo moderado (Fuente: Santa Cruz 2013)

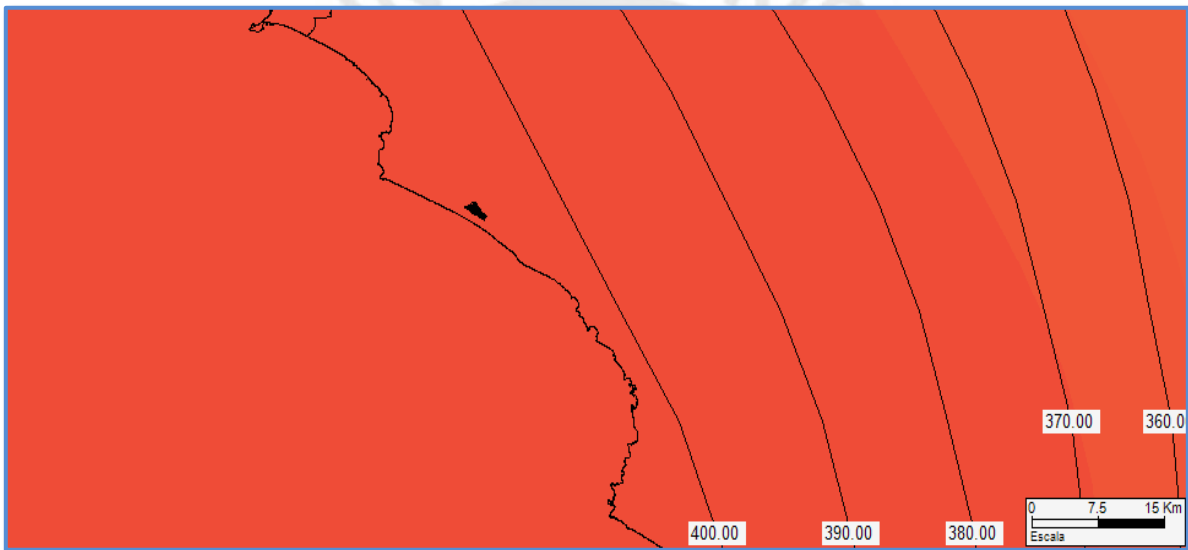


Figura 21. Isolíneas en PGA para el escenario de sismo severo (Fuente: Santa Cruz 2013)

El archivo de microzonificación usado fue el que corresponde al mapa de microzonificación sísmica que se muestra en la figura 5, el cual corresponde para todo Lima Metropolitana, para este caso en particular el análisis fue el correspondiente al distrito de Villa El Salvador para la zona de Lomo de Corvina el cual presente un riesgo sísmico muy alto al ser una zona de suelo arenoso.

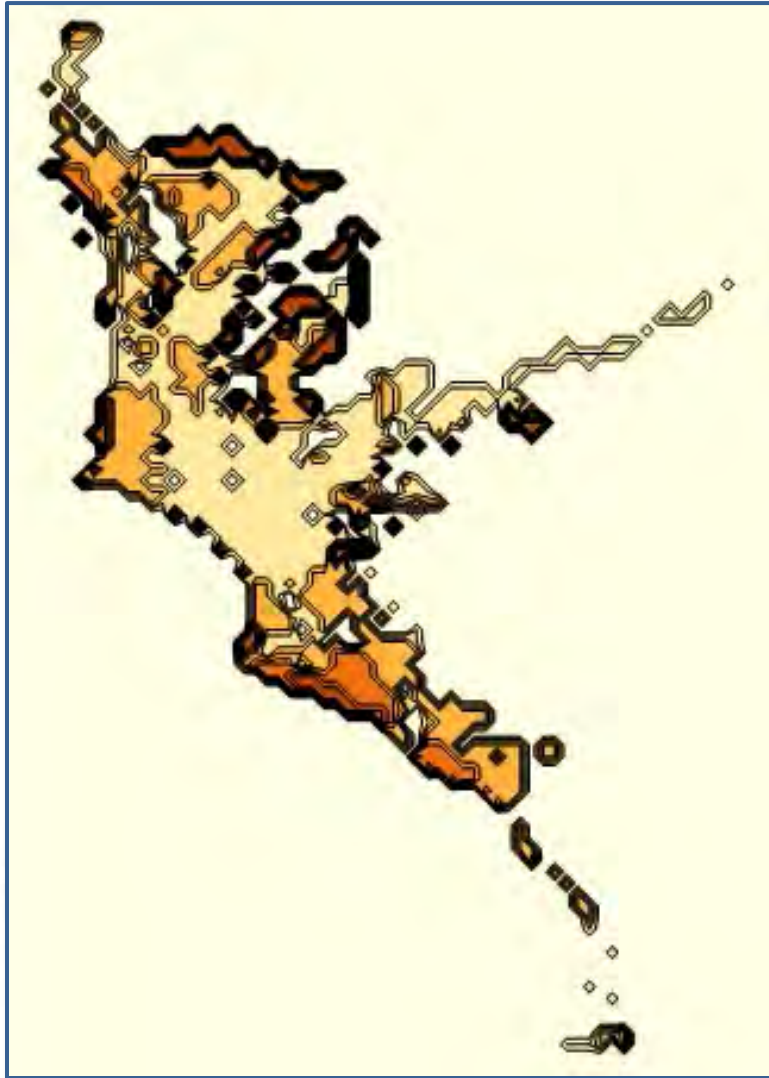


Figura 22. Vista del archivo de microzonificación sísmica, las zonas con mayor amplificación están en color naranja oscuro (Fuente Aguilar et al. 2012)

Para el caso de las funciones de vulnerabilidad se usó las que se propone por el manual HAZUS MR4 adaptadas a la realidad del Perú (Department of Homeland Security 2013) para viviendas de albañilería y adobe. Estas a su vez fueron complementadas por las que desarrolló el proyecto CIRNA – PUCP (2014). A partir de estas funciones de vulnerabilidad se procedió a la aplicación de enfoque de Ingeniería Sísmica basada en el desempeño o PBEE por sus siglas en inglés, Performance Based Earthquake Engineering, a fin de desarrollar las funciones de

escombros para la corrida en CAPRA GIS (Kahhat, Mesta, Santa Cruz 2020).

Se desarrollaron las funciones de escombros en base al enfoque PBEE, partiéndose de las funciones de vulnerabilidad, se modeló una distribución beta usándose como parámetros la media y las distribuciones estándar de las funciones de vulnerabilidad. A continuación, se consideraron las escalas de daños que se encuentran disponibles actualmente las cuales se muestran a continuación.

Tabla 12. Escalas de daño evaluadas para elaborar las funciones de escombros (Fuente: Whitman 1988, ATC 1985, HAZUS 1999, Blong 2003, Timchenko 2002)

Autor		Ligero	Moderado		Extenso		Completo	
Whitman	5	12.5	12.6	20	21	82.5	82.6	100
ATC – 13	0	10	10.1	30	30.1	60	60.1	100
HAZUS	2	2	10	10	50	50	100	100
Blong	1	5	5.1	20	20.1	75	75.1	100
Timchenko	2	2	10	10	55	55	100	100

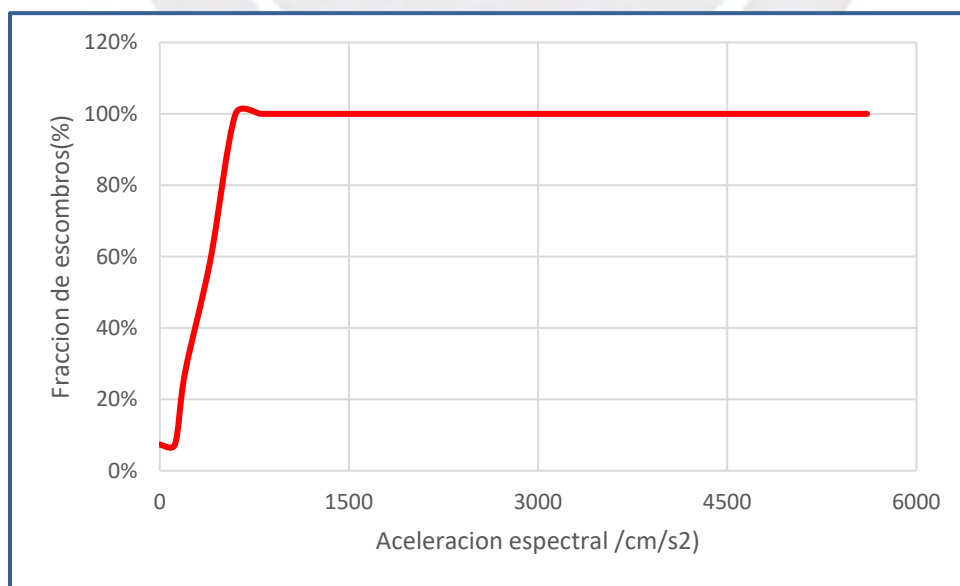
A continuación, se usó las tablas para fracción de escombros que propone HAZUS en el cual diferencia escombros de piezas grandes que no podrían ser removidos a menos que se usen equipos especiales o se les demuela, como vigas o columnas, y escombros pequeños los cuales podrían ser fácilmente limpiados como pedazos de ladrillo o mortero. Estos se muestran en la tabla a continuación, para el presente estudio sólo se han considerado los escombros

pequeños y grandes en albañilería para elementos estructurales y en el caso de adobe sólo para los elementos estructurales.

Tabla 13. Valores típicos de fracción de escombros para edificios de adobe y de albañilería (Fuente: HAZUS 2014)

Estado de daño	Casa de albañilería		Casa de adobe
	Componentes estructurales		Componentes estructurales
	Escombros grandes	Escombros pequeños	Escombros pequeños
Ligero	5	0	5
Moderado	25	3	25
Extenso	60	30.5	55
Completo	100	100	100

Una vez obtenidos estos datos se elaboraron las curvas de fragilidad de escombros los cuales están expresados como aceleración espectral en centímetros por segundo al cuadrado y la fracción de escombros expresada en porcentaje.



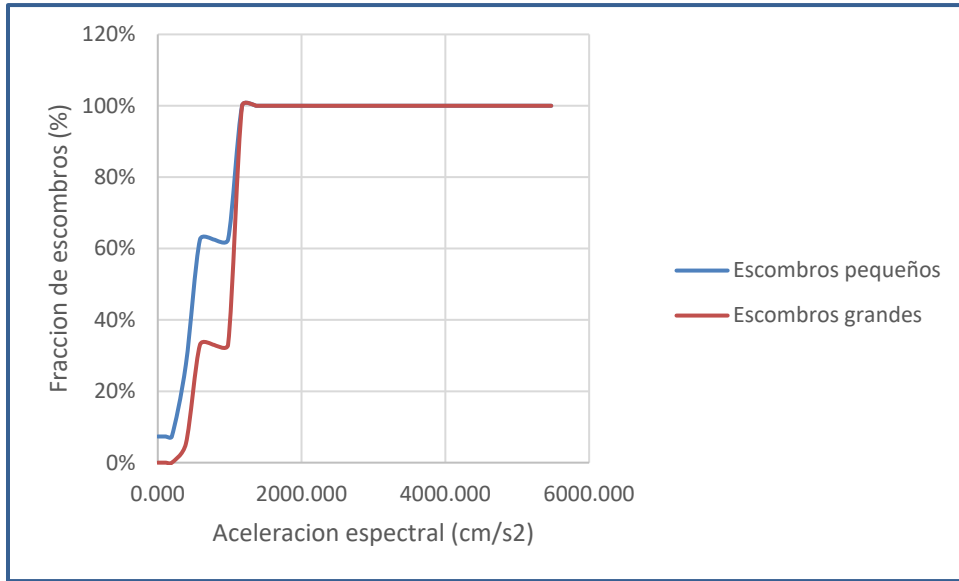


Figura 26. Curva de escombros para albañilería de 3 pisos (Fuente: elaboración propia)

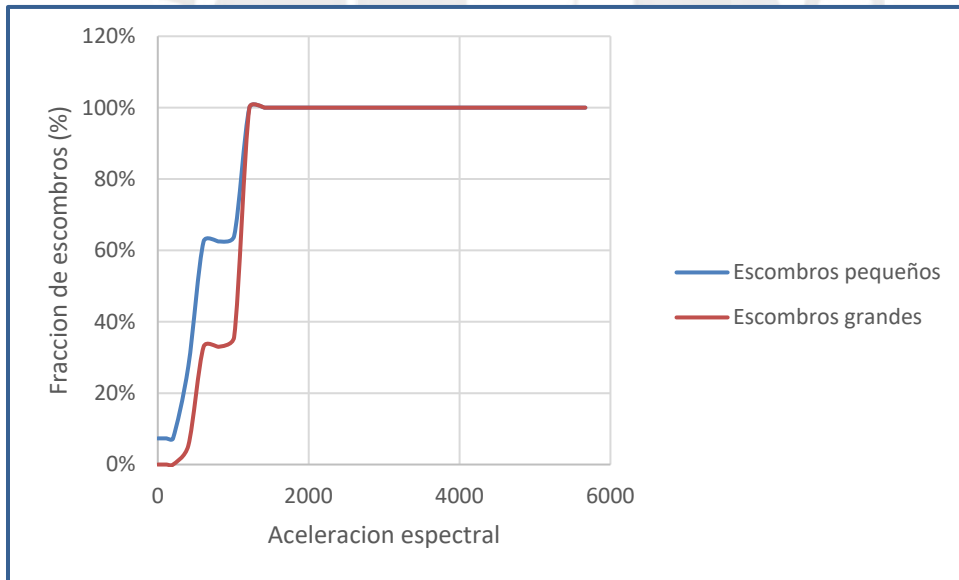


Figura 27. Curva de escombros para albañilería de 4 pisos (Fuente: elaboración propia)

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez obtenidos estos archivos que son necesarios para el análisis en CAPRA GIS, se procedió a realizar la ejecución del modelado de los 3 escenarios descritos anteriormente. Con los datos obtenidos se procedió a obtener la estimación de los escombros producidos para los escenarios de estudio.

6.1 RESULTADOS

Los resultados se muestran a continuación. Como se puede observar, la figura 28 muestra los daños generados a los lotes de albañilería y adobe para un sismo de 6.26 Mw. Los daños son de ligeros a moderados como se puede observar para los lotes de albañilería cuyos porcentajes de escombros están entre los 10% y 20% mientras que los de adobe oscilan entre el 30% hasta el 50%. Esto nos demuestra que, ante un sismo de intensidad leve, las viviendas de albañilería pueden soportar la intensidad de 6.26Mw. Sin embargo, los lotes de adobe muestran daños que pueden requerir reparación.

En la figura 29, se aprecia que ante un sismo de 7.34 Mw las viviendas de adobe son seriamente dañadas mientras que las viviendas de albañilería demuestran daños considerables. Esto se aprecia dado que los escombros producidos para las viviendas de adobe están en un rango de daños del 70% al 80% mientras que los de albañilería están dentro del 50% al 60% de daños.

En la figura 30, para el escenario de 8.42 Mw tanto las viviendas de adobe como de albañilería producen escombros dentro del rango del 90% al 100% y por lo tanto se deduce que este escenario provoca la total destrucción de las viviendas

de la zona de Lomo de Corvina. Con esto se demuestra que la zona es altamente vulnerable por el tipo de suelos presente en la zona, y la fragilidad de las viviendas que han sido construidas de manera precaria por el método de autoconstrucción que caracteriza a los conos de Lima.

En la tabla 14 y la figura 32, se observan las cantidades de materiales perdidos por los 3 escenarios sísmicos de estudio. El escenario sísmico leve produce 202000 toneladas de escombros, el escenario de sismo moderado produce 635000 toneladas de escombros y el escenario severo produce 1112000 toneladas de escombros. Si se toman estas cifras y se contrastan con respecto al stock de materiales se obtienen los respectivos porcentajes de daños como se muestra en la figura 31. Como se puede observar, los porcentajes son muy elevados aún para el escenario de sismo leve. Esto se debe al tipo de terreno de la zona lo cual genera una mayor aceleración del suelo durante un evento sísmico.



Figura 28. Daños generados en viviendas para un sismo de intensidad moderada 6.26 Mw para la zona de estudio, la leyenda muestra el porcentaje de escombros con respecto al stock de materiales (Fuente: Elaboración propia)



Figura 29. Daños generados en viviendas para un sismo de intensidad moderada 7.34 Mw para la zona de estudio, la leyenda muestra el porcentaje de escombros con respecto al stock de materiales (Fuente: Elaboración propia)



Figura 30. Daños generados en viviendas para un sismo de intensidad moderada 8.42 Mw para la zona de estudio, , la leyenda muestra el porcentaje de escombros con respecto al stock de materiales (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 14. Pérdida de materiales por escenario de sismo leve, moderado y severo

Material	Pérdida por tipo de material para sismo leve (Miles de toneladas)	Pérdida por tipo de material para sismo moderado (Miles de toneladas)	Pérdida por tipo de material para sismo severo (Miles de toneladas)
Concreto	86	291	517
Ladrillo de arcilla	47	152	271
Mortero	43	146	260
Acero	4	15	27
Ladrillo de adobe	14	20	27
Otros	8	9	10
Perdida de stock de materiales	202	635	1112

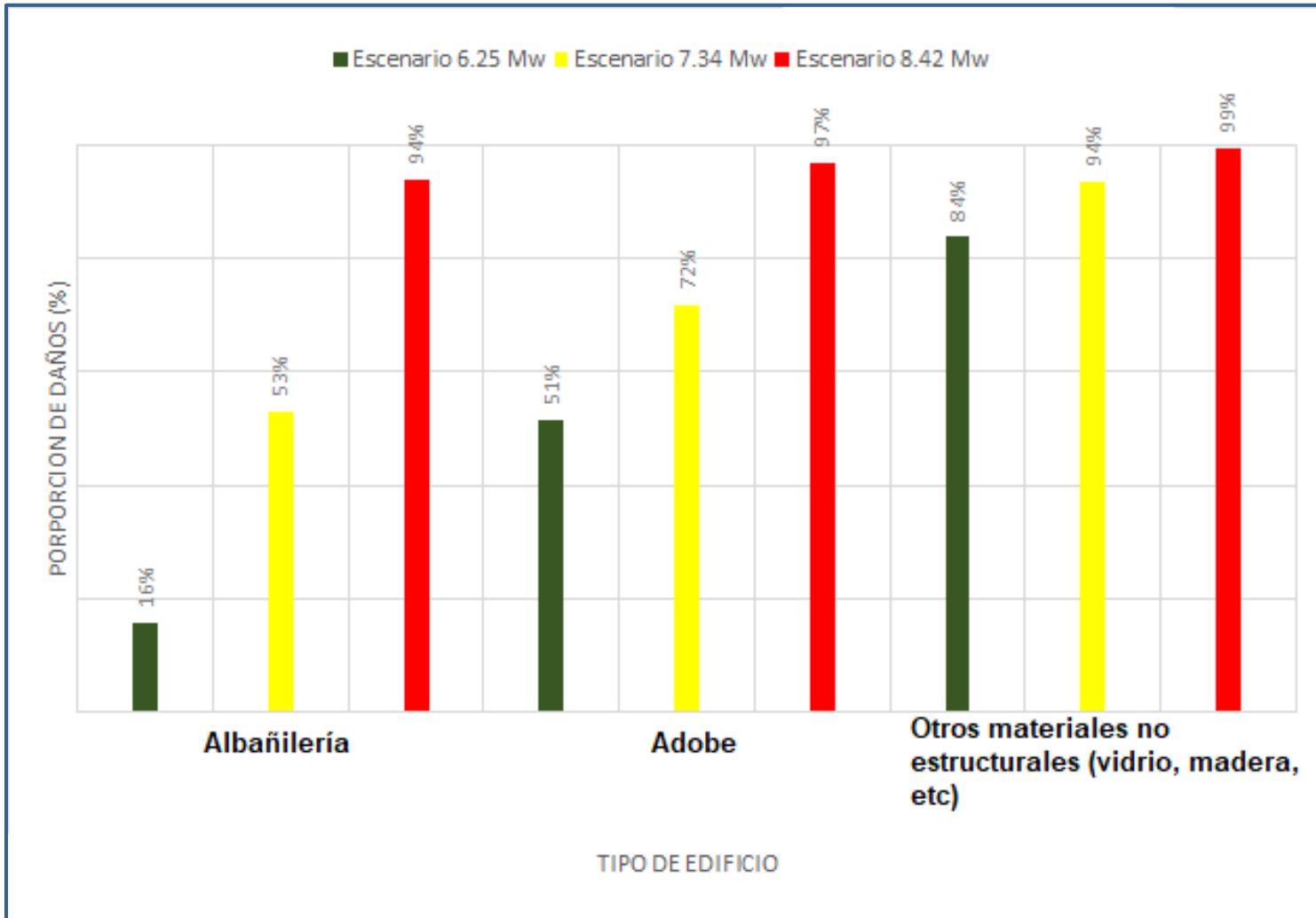


Figura 31. Perdidas por tipo de vivienda y escenario sísmico en porcentaje de daños con respecto al stock de materiales

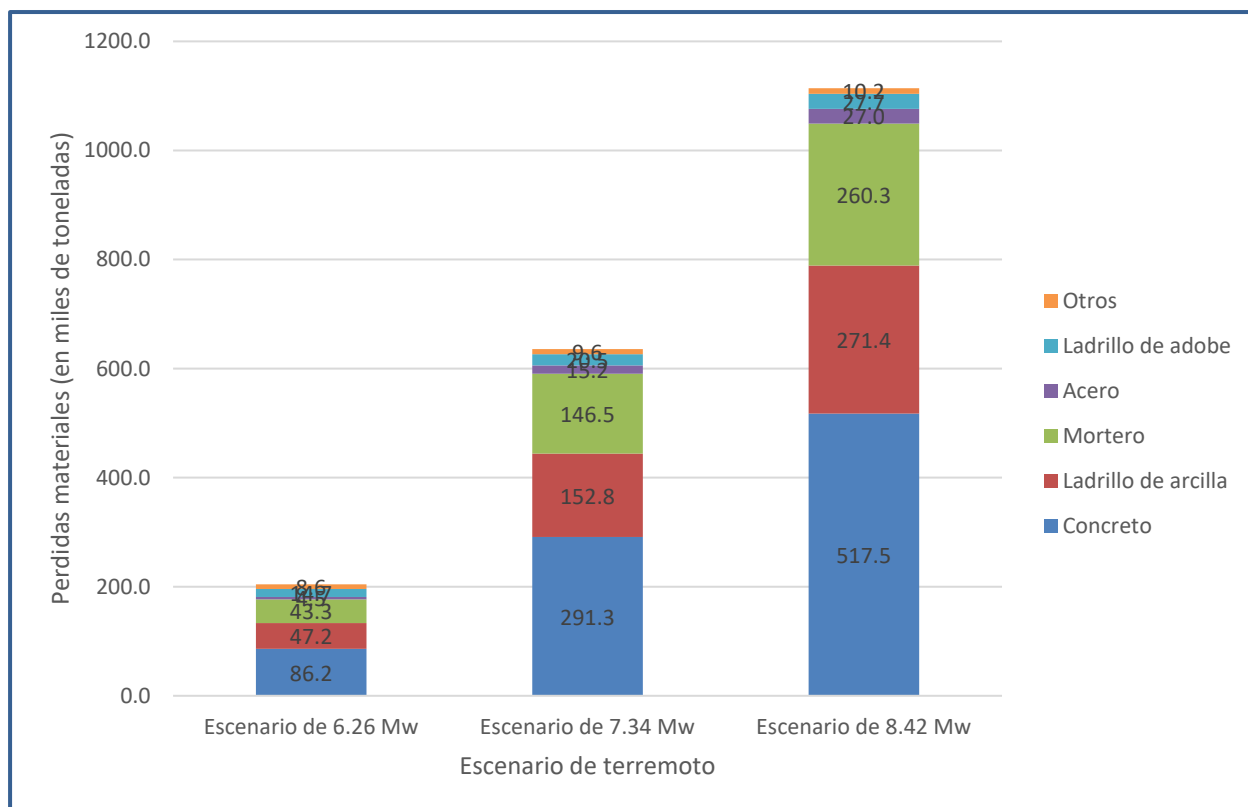


Figura 32. Pérdidas en el stock de materiales en base al tipo de material y escenario de sismo

6.2 ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES

La zona de estudio es altamente vulnerable como ya se explicó en el capítulo dos donde se detalla la realidad de los conos de Lima. En el caso de la zona de Lomo de Corvina, tanto el mapa de microzonificación sísmica de Lima como el de Villa el Salvador de las figuras 5 y 10 respectivamente muestran a esta zona como alta peligrosidad sísmica. Como la autoconstrucción es lo que domina al proceso constructivo de las viviendas de esta zona, tal como se ve en los resultados del numeral 6.1 las viviendas presentan daños moderados a severos en todos los tipos de materiales.

Para el análisis de flujo de materiales sólo se considera a las viviendas de albañilería. Esto se debe a que fueron hechas por los primeros pobladores que se asentaron en la zona en la década de 1970. No se puede considerar las viviendas

de estera, madera y adobe en vista que tal como se muestra en la figura 16, un evento sísmico podría hacer colapsar la duna de arena y por lo tanto implica un replanteo total de la zona en el momento en que ocurran los sismos de magnitud moderada y severa. Para los propietarios de estas viviendas se debería de recomendar un plan de reubicación al estar asentados en el área más peligrosa de la zona de Lomo de Corvina. Una vez desocupada la zona, se recomienda que se declare como zona intangible como se ha hecho en áreas de las playas de la Costa Verde por no ser aptas para ser ocupadas (Perez – Palma 2017).

Es más factible la reconstrucción de las viviendas de albañilería pues se encuentran en lo que la figura 16 considera como zona residencial y es más apta para la construcción de viviendas. Sin embargo, se recomienda que deben aplicarse soluciones constructivas para la realidad de la zona que se caracteriza por ser mayormente suelos arenosos y se deberá de hacer mejoramientos de zapatas, zapatas profundas entre otros.

Como se puede observar en la figura 36, las viviendas de albañilería tienen un total de 549628 toneladas de concreto embebidas en sus elementos estructurales (vigas, columnas, zapatas). Tras el sismo de 8.42 Mw se pierden 5.17 mil toneladas de concreto en forma de escombros. Se estima que un 30% se puede procesar y reusar, mientras que un 70% debe de destinarse a rellenos sanitarios municipales.

Para la reconstrucción se necesitan 5. mil toneladas de concreto. Sin embargo, el escenario severo para el presente estudio sólo toma en cuenta los efectos para la zona de Lomo de Corvina y se desconoce cómo impactaría un sismo de 8.42 al resto de Lima Metropolitana. Se asume que muchas de las plantas de concreto de la capital quedarían severamente dañadas y se tendría que recurrir a la importación de cemento de las demás regiones del país hacia la capital.

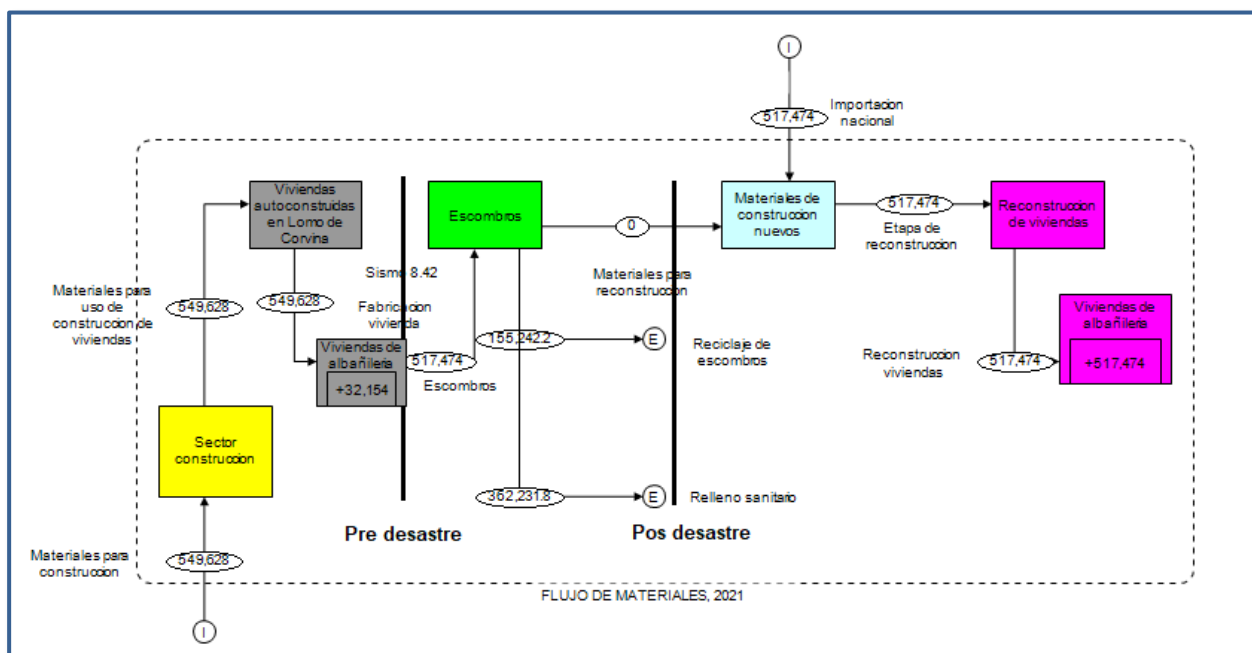


Figura 33. Análisis de flujo de materiales para el escenario de 8.42 Mw para las viviendas de albañilería, caso de concreto (Fuente: elaboración propia)

Con respecto al segundo material predominante en las viviendas de albañilería, se tiene los ladrillos de arcilla. Para el análisis del escenario de 8.42 Mw, se obtienen 271444 toneladas de escombros en ladrillos. De la misma forma que el cemento. Se estima que se puede reciclar aquellos que no se encuentren dañados para reutilizarse, aproximadamente un 30 %, dado que pueden ser molidos a partículas más finas y servir como base de carreteras y caminos (NSW Government 2020). El resto de escombros resultantes restantes serán trasladados a un relleno sanitario municipal. Los ladrillos para la reconstrucción tienen que ser importados de las regiones vecinas de Lima. Esto se debe a que las fábricas de ladrillos están muy distantes de la zona de Lomo de Corvina.

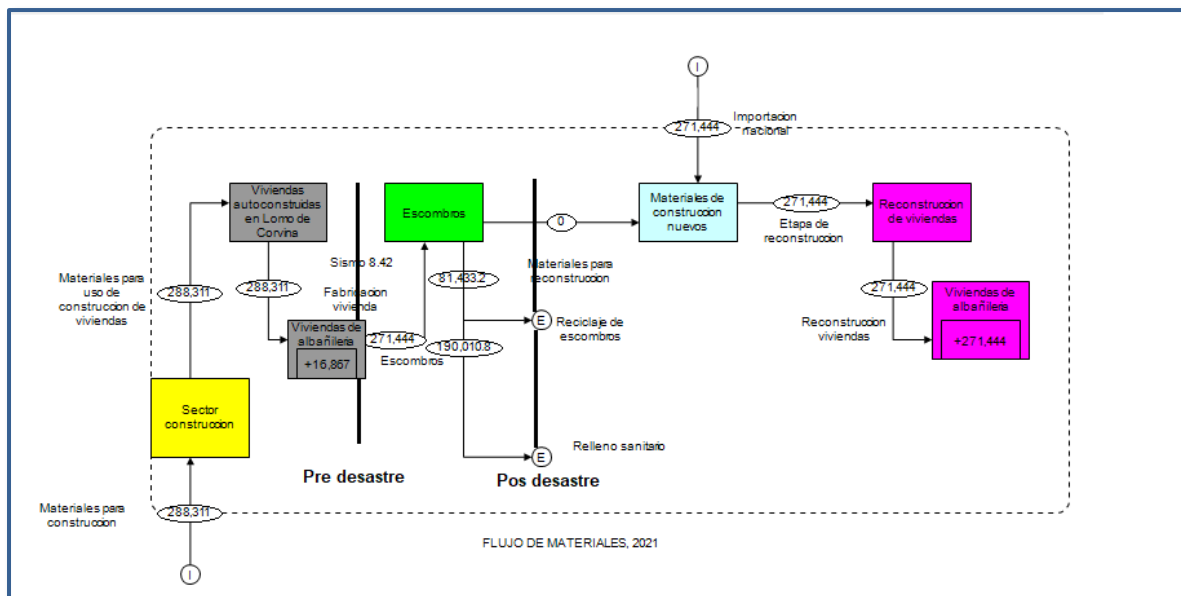


Figura 34. Análisis de flujo de materiales para el escenario de 8.42 Mw para las viviendas de albañilería, caso de ladrillos de albañilería (Fuente: elaboración propia)

6.3 DISCUSIÓN

Del numeral 6.1 “Resultados” se observa que la zona de Lomo de Corvina es altamente vulnerable y que en los 3 escenarios de sismos leve, moderado y severo se tiene un alto porcentaje de escombros con respecto al stock de materiales. Teniéndose en cuenta los factores como autoconstrucción y el hecho que la zona presenta una alta amplificación con respecto a otras zonas de Lima, se puede decir que esta zona no debió ser ocupada o ser destinada para uso de viviendas. Si se compara estos resultados por los obtenidos por Mesta (2017) en el que se hizo un análisis similar en la ciudad de Chiclayo, los resultados son menores con respecto al presente estudio. Esto en vista que toda la ciudad de Chiclayo se encuentra en una zona mixta de suelos intermedios S2 y suelos blandos del tipo S3 (Mesta 2017). A diferencia del presente estudio en el cual como se ve en la figura 6, los suelos en Lomo de Corvina son S3, no aptos para la construcción de viviendas.

Como se puede observar en los resultados, el escenario de sismo severo tendrá graves consecuencias en esta zona dado que se puede observar hasta 100% de

escombros. Esta realidad se puede concretar en los años siguientes en vista que no se ha tenido un terremoto de gran magnitud en Lima en mucho tiempo por lo tanto la energía acumulada es considerable (Morales y Zavala 2008).

Del análisis de flujo de materiales para el cemento y ladrillos, es posible realizar la reconstrucción de la ciudad importándose estos materiales de las regiones aledañas a Lima. Sin embargo, si se debe realizar un plan de reconstrucción se debe tener en cuenta cómo sería el impacto en Lima Metropolitana y si se podrá cubrir la demanda de materiales para la reconstrucción de toda la ciudad. Estas consideraciones están fuera del alcance del presente estudio. Pero se hace la respectiva mención dado que es un detalle importante que se debe tomar en cuenta atender los esfuerzos de reconstrucción en todo Lima Metropolitana. Esto también se demuestra en el caso de la ciudad de Chiclayo (Mesta 2017), pues al igual que en ese estudio como en el presente, la industria local solo pudo proveer en un comienzo. Pero luego el crecimiento urbano de la zona genera que se tengan que conseguir materiales de otras localidades distantes.

En la figura 35, se propone una ruta de evacuación de escombros la cual toma en cuenta avenidas grandes a fin de evitar aglomeraciones de vehículos en horas punta. Estas avenidas dan hacia la carretera Panamericana Sur la cual está en ruta hacia la zona destinada para relleno sanitario de Portillo Grande, distrito de Lurín. Este es el relleno sanitario más apropiado aledaño a la zona (Giraldo 2020).



Figura 35. Ruta recomendada para evacuación de escombros (Fuente: Google Earth)

7. CONCLUSIONES

Se concluye, de acuerdo al objetivo principal de la presente investigación, que la zona de Lomo de Corvina de Villa El Salvador es de riesgo sísmico alto. Se debe concientizar a la población acerca del riesgo que implica ocupar esta zona para vivienda. Es necesario realizarse planes de mitigación del riesgo sísmico.

Con respecto al objetivo de estimar la vulnerabilidad física de la zona de estudio se concluye que la vulnerabilidad es alta. Esto debido que, al estimar la cantidad de escombros generados después de un evento sísmico, el porcentaje de escombros con respecto al stock de materiales es cercano al 100%. El tipo de terreno, el cual es un suelo arenoso, es el responsable de aumentar la intensidad de un movimiento sísmico.

Con respecto al objetivo de realizar el análisis del flujo de materiales, se debe considerar la importación a nivel regional de Lima de los materiales para la reconstrucción. El modelo mediante el CAPRA – GIS, demuestra que se produce una gran cantidad de escombros con respecto al stock de materiales. Esta demostración, implica que se debe de reponer casi la totalidad de los materiales para la reconstrucción de viviendas. Los escombros que no sean tratados y reciclados terminarán en un relleno sanitario. La Municipalidad distrital de Villa El Salvador tiene que realizar planes de evacuación de escombros a fin de que puedan evacuar los escombros después de un evento sísmico de gran magnitud. Se debe tener en cuenta que para limpiar los escombros se necesita maquinaria pesada tales como *bulldozers* y excavadoras. Se debe ser eficientes con respecto a esto para poder rescatar al mayor número de personas posibles de entre los escombros. Se recomienda usar la ruta desde la Av. Mariano Pastor Sevilla hasta la Av Maria Reiche, y desde esta última hacia la carretera Panamericana Sur. De esta forma se podrá evacuar rápidamente los escombros para seguir hacia la etapa de reconstrucción.

Es necesario que la Municipalidad distrital de Villa El Salvador reubique a las personas que habitan en las viviendas de la parte más alta de la duna de arena, dado que esta se verá más afectada. Muchas de estas viviendas son de estera y madera, materiales muy precarios que colapsarán con facilidad ante un sismo de gran magnitud.

De lo que se ha podido apreciar en el presente estudio es que la educación y el rol de las autoridades gubernamentales es importante a la hora de concientizar a la población de no construir sus viviendas en zonas de alta vulnerabilidad, y buscar soluciones al problema de la construcción informal en el Perú dado que de esta forma se podrán evitar las pérdidas de vidas humanas ante un eventual sismo de gran magnitud.

Es importante concientizar a la población de esta zona en estar preparada ante un eventual sismo de gran magnitud lo cual se puede lograr mediante la realización de

simulacros de sismos a fin de que la población pueda reaccionar de manera eficiente ante un eventual sismo de gran magnitud y puedan identificar sus respectivas rutas de escape.

8. REFERENCIAS

Aguilar, Z., Lazares, F., Alarcón, S., Quispe, S., Uriarte, R., & Calderón, D.

2012 Actualización de la Microzonificación Sísmica de la ciudad de Lima. In The International Symposium for CISMID 25th Anniversary (pp. 17-18).

Akbas S. O., Blahut J., Sterlacchini S.

2009 Critical assessment of existing physical vulnerability estimation approaches for debris flows

Alizadeh, M., Ngah, I., Hashim, M., Pradhan, B., & Pour, A. B.

2018 A hybrid analytic network process and artificial neural network (ANP-ANN) model for urban earthquake vulnerability assessment. Remote Sensing, 10(6), 975.

ANDINA

2010 Alertan que 500 mil viviendas en laderas de cerros de Lima colapsarían ante un sismo. Consultado el 23 de setiembre del 2020. <https://andina.pe/agencia/noticia-alertan-500-mil-viviendas-laderas-cerros-lima-colapsarian-ante-un-sismo-283119.aspx>

ANDINA

2017 ¿Qué amenazas enfrenta Lomo de Corvina ante un terremoto en Lima? Consultado el 14/10/2020. <https://andina.pe/agencia/noticia-%C2%BFque-amenazas-enfrenta-lomo-corvina-ante-un-terremoto-lima-683700.aspx>

Applied Technology Council

1985 Earthquake Damage Evaluation Data for California Redwood City, California, USA

Arellano, H., Leusson, J., Quiñones, A., Camacho, J., Llanos, R., & Mendoza, L.

2003 Evaluación de la vulnerabilidad física por terremoto y sus fenómenos asociados en poblaciones del litoral de Nariño.

Blong, Russell

2003 A review of damage intensity scales. *Natural Hazards* 29: 57 - 76

Bringezu, S., & Moriguchi, Y.

2002 Material flow analysis. *A handbook of industrial ecology*, 79.

Cardona, O. D., Ordaz, M., Reinoso, E., Yamín, L. E., & Barbat, A. H.

2012 September CAPRA—comprehensive approach to probabilistic risk assessment: international initiative for risk management effectiveness. In *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*. Lisbon, Portugal (p. 9).

Centro Nacional de Prevención de Desastres

2020 En el cinturón de Fuego del Pacífico la actividad sigue siendo normal.

Consultado el 22 de Setiembre del 2020.

<https://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/en-el-cinturon-de-fuego-del-pacifico-la-actividad-sigue-siendo-normal?idiom=es>

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

2018 Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Lima actualizado al 2018

Climent, A., Salgado, D., Slob, S., & van Westen, C. J.

2003, August Amenaza sísmica y vulnerabilidad física en la ciudad de Cañas, Guanacaste, Costa Rica. ITC.

Consortio CIRNA – PUCP

2014 Reporte Interno del Proyecto Perfil de riesgo sísmico a nivel nacional de los bienes inmuebles de propiedad del estado y viviendas. Contrato No. F – 002 – 0 - 12295

D'Ercole, R., Cavagnoud, R., Morel, M., & Vernier, P.

2009. Vulnerabilidades y desigual proceso de reconstrucción después del sismo de Pisco del 15 de agosto de 2007 en la provincia de Chincha, Perú. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, (38 (3)), 647-681. Consultado el 23 de Setiembre del 2020. <https://journals.openedition.org/bifea/2496>

Department of Homeland Security

2013 HAZUS MR4 manual

Diario Gestión

2017 ¿Cuántos grados en la escala de Richter tendría un terremoto con epicentro en Lima?

Douglas, J.

2007 Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment.

Emanuel, K.

2017 Will global warming make hurricane forecasting more difficult?. Bulletin of the American Meteorological Society, 98(3), 495-501.

El país

2016 Fukushima: Recuperación tras el tsunami. A 5 años del accidente Fukushima.

Consultado el 23 de Setiembre del 2020.

https://elpais.com/elpais/2016/03/09/media/1457519738_964678.html

Exitosa Noticias

2020 Terremoto de Pisco: Hace 13 años se produjo uno de los sismos mas devastadores del Peru. Consultado el 23 de setiembre del 2020.

<https://exitosanoticias.pe/v1/terremoto-de-pisco-hace-13-anos-se-produjo-uno-de-los-sismos-mas-devastadores-del-peru/>

Federal Emergency Management Agency

1999 HAZUS 1999 – Earthquake Loss Estimation Methodology. Technical Manual.

Washington D.C. USA.

Flores, Roberto

2002 Diagnostico preliminar de la vulnerabilidad sismica de las autoconstrucciones en Lima. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú.

García-Torres, S., Kahhat, R., & Santa-Cruz, S.

2017 Methodology to characterize and quantify debris generation in residential

buildings after seismic events. Resources, Conservation and Recycling, 117, 151-159.

Geoquantics

2020 Problemas geotécnicos en suelos: licuefacción y sifonamiento. Consultado el 23 de Setiembre del 2020. <https://geoquantics.com/2020/05/27/problemas-geotecnicos-suelos-licuefaccion-sifonamiento/>

Giraldo, Ximena

2020 Necesidad del saneamiento físico legal del predio donde se ubica el relleno sanitario "Portillo Grande". Municipalidad Metropolitana de Lima.

Hilti, Swisscontact, Municipalidad de Villa El Salvador, SENCICO

2016 Estudio "Situación actual de las viviendas de construcción tipo informal en Villa el Salvador"

Hirayama, N., Shimaoka, T., Fujiwara, T., Okayama, T., & Kawata, Y.

2010 Establishment of disaster debris management based on quantitative estimation using natural hazard maps. Waste Manag Environ, 140, 167-178.

Holt, M., Campbell, R. J., & Nikitin, M. B.

2012. Fukushima nuclear disaster (pp. 7-5700). Congressional Research Service.

Instituto Geofísico del Perú

2021 Sismo de Sullana del 30 de julio del 2021 (M6.1). Informe Técnico N° 019 – 2021/IGP Ciencias de la Tierra Sólida. Ministerio del Ambiente

INDECI

2018 Informe de estimación de riesgo para la gestión reactiva – AAHH Lomo de Corvina (Sector X – Grupo 4) Villa El Salvador

Instituto Nacional de Estadística e Informática

2018 Informe Nacional Peru: Perfil Socio Demográfico. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas

Izquierdo-Horna, Luis, and Ramzy Kahhat.

2020 "An interdisciplinary approach to identify zones vulnerable to

earthquakes." International Journal of Disaster Risk Reduction.

Kahhat Ramzy, Parodi Eduardo, Vasquez Rowe Ian

2021 Multi dimensional damage assessment (MDDA): A case study of El Niño flood disasters in Peru. Peruvian Life Cycle Assessment and Industrial Ecology Network (PELCAN), Department of Engineering, Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801 San Miguel, 15088 Lima, Peru

Kahhat, Ramzy, Mesta, Carlos, Santa Cruz, Sandra

2017 Quantification of lost material stock of buildings after an earthquake: A case study of Chiclayo, Peru. 16th World Conference on Earthquake Engineering

Kahhat, Ramzy, Mesta, Carlos, Santa Cruz, Sandra

2020 Probabilistic Assessment of earthquake – induced debris generation using PBEE methodology. 17th World Conference on Earthquake Engineering. Sendai, Japan – September 13th to 18th 2020

Kappes, M. S., Papathoma-Koehle, M., & Keiler, M.

2012 Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. Applied Geography, 32(2), 577-590.

Kohler, N., & Hassler, U.

2002 The building stock as a research object. Building Research & Information, 30(4), 226-236

Kulmesch, S.

2010 Evaluation of the HAZUS-MH loss estimation methodology for a natural risk management case study in Carinthia, Austria. Unpublished Master thesis.

Kuroiwa, Julio

2002 Reduccion de desastres: Viviendo en armonía con la naturaleza. Primera Edición.

Lovon, Holger

2017 Estimación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada de Lima. Tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería Civil. Pontificia

Universidad Católica del Perú. Escuela de Posgrado.

Medina Allcca, L., Gomez Velásquez, H. D., & Benavente Escobar, C. L.

2013 Inspección técnica de peligros geológicos en asentamientos humanos del sector Lomo de Corvina. Distrito Villa El Salvador, provincia y región Lima.

Mesta, C., Kahhat, R., & Santa-Cruz, S.

2017 Quantification of lost material stock of buildings after an earthquake. A case study of Chiclayo, Peru. In 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE (pp. 1-12).

Mesta, C.

2017 Estimación de pérdidas en el stock de materiales de las edificaciones después de un terremoto. Caso de estudio: ciudad de Chiclayo, Peru. Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil. Escuela de Posgrado. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Mesta, C., Kahhat, R., & Santa-Cruz, S.

2018 Geospatial characterization of material stock in the residential Sector of a Latin-American City. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 280-291.

Ministerio del Ambiente

2011 Memoria descriptiva del Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú. Primera Edición

Miyashiro Tsukazan, Jaime A.

2009 Vulnerabilidad físico habitacional: tarea de todos ¿responsabilidad de alguien?. – Lima:desco. Programa Urbano, 2009. 112p. (Serie: Estudios Urbanos; 5).

Morales-Soto, N., & Zavala, C.

2008 Terremotos en el litoral central del Perú: ¿ podría ser Lima el escenario de un futuro desastre?. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 25(2), 217-224. Consulta 8 de mayo del 2020

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342008000200011

Municipalidad distrital de Villa El Salvador

2014 Plan Operativo Institucional con Enfoque de Resultados. Oficina de Planeamiento y Presupuesto

Municipalidad de Villa el Salvador

2011 Estudio de microzonificación sísmica y vulnerabilidad en el distrito de Villa el Salvador. “Programa de apoyo a la gestión integral de riesgo de desastres naturales a nivel urbano”

Municipalidad de Villa el Salvador

2015 Plano de Sectorización de Villa El Salvador. Gerencia de Desarrollo Urbano de la Municipalidad de Villa El Salvador

Municipalidad de Villa el Salvador

2016 Plan de desarrollo local concertado 2017 – 2021

NSW Government

2020 BRICKS <https://businessrecycling.com.au/recycle/bricks>

Núñez Juárez, S.

2010 Inspección de seguridad física AA. HH. Héroe del Cenepa. Región y provincia Lima, distrito Villa El Salvador.

Núñez Segundo, Vasquez Jenny

2009 Zonas críticas por peligros geológicos en Lima Metropolitana. Primer Reporte. Informe técnico – Geología Ambiental y Riesgo Geológico. INGEMMET.

Perez – Palma

2017 Las Playas en el Perú: Los 50 metros de Línea de Alta Marea en la Costa Verde. Del Estado o de los Particulares. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencia Política y Buen Gobierno, sin mención. Escuela de Gobierno y Políticas Públicas. Pontificia Universidad Católica del Perú

Pin Molina, Johan

2017 Como se mide un terremoto. Seismic knowledge Advanced solutions for safe and resilient buildings against earthquakes. Consultado el 23 de setiembre del 2020.

<https://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/como-se-mide-un-terremoto/>

Radio Capital

2017 Que debes hacer ante un sismo si vives en la falda de un cerro de Lima.

Consultado el 24 de Setiembre del 2020. <https://capital.pe/actualidad/video-que-debes-hacer-ante-un-sismo-si-vives-en-la-falda-de-un-cerro-de-lima-noticia-1077837>

RAFEI, N., KARBASI, A., NOURI, J., Safari, E., & Mehrdadi, M.

2008. Strategic management of municipal debris aftermath of an earthquake 205 - 214.

Ramirez Calixto, R. G.

2019. Evaluación sísmica de edificaciones en el Perú.

Ramirez Cotera, Ronald

2019 La informalidad en las construcciones como factor determinante de la vulnerabilidad física de las viviendas. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad Peruana Los Andes, Lima, Peru.

Rodriguez, Rosa

2019 Vulnerabilidad estructural ante el riesgo sísmico de las viviendas de la subcuenca de Chucchun – Carhuaz. Tesis para optar el grado de doctor en ciencias ambientales. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Dirección General de Estudios de Post Grado – Facultad de Ingeniería Geológica, Minería, Metalúrgica y Geográfica

Romero, José

2019 Análisis sísmico utilizando bloques rígidos de modelos de vivienda de adobe de 2 pisos. Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú

Salmon, H. O. C.

2008 Planeamiento urbano para la prevención de desastres naturales en el Perú. Un asunto territorial. Urbano, 11(17), 57-62.

Santa Cruz, Sandra

2013 Evaluación Probabilística del riesgo sísmico de escuelas y hospitales de la ciudad de Lima

Santa Maria, Rosario

2008 La iniciativa de vivienda saludable en el Peru, Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica. Consulta 16 de setiembre del 2020 http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342008000400013&script=sci_arttext&tlng=en

Seiner-Lizárraga, L.

2017. Historia de los sismos en el Perú. Catálogo: Siglos XV-XVII.

Silgado Ferro, E.

1978. Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974)-[Boletín C 3].

Tavera, H., & Buforn, E.

1998 Sismicidad y sismotectónica de Perú.

Tavera, H.

2008. El terremoto de Pisco (Perú) del 15 de agosto de 2007 (7.9 Mw).

Tavera, H.

2014. Escenario de sismo y tsunami en el borde occidental de la región central del Perú.

Tavera, Hernando

2014 Evaluacion del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Peru. Consulta 8 de mayo del 2020. <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/fil20140926131431.pdf>

Tavera H., Bernal I., Condori C., Ordaz M., Zevallos A., Ichizawa O.

2014 Re – Evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú

Timchenko, I.

2002 Seismic vulnerability assessment of buildings on the basis of numerical analyses, 12th European Conference on Earthquake Engineering. London.

Vega-Centeno, M.

2011 Los terremotos, el crecimiento económico y el desarrollo. *Economía*, 34(67), 57-80.

Vergara, A. M.

1987 Importancia de la prevención para el manejo de las emergencias causadas por desastres naturales. *Revista Geológica de América Central*.

Villacorta, Sandra

2009 Informe No 007 – 2009 – INGEMMET/SVCH Solicitud de información sobre vulnerabilidad física de la zona denominada “Lomo de Corvina” distrito de Villa El Salvador.

Whitman, R. V

1988 Earthquake loss estimation methodology, in: *Earthquake Prognostics*, edited by: Vogel, A. and Brandes, K., F. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 259–278, 1988

