

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



**APORTES PARA UN PLAN DE GESTIÓN DE ESCOMBROS POR
SISMO EN LA ZONA DEL RÍO SECO DE HUARAZ**

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

Ana Virginia Silva Carranza

Asesor:

Dra. Sandra Cecilia Santa Cruz Hidalgo

Co-asesor:

Ramzy Francis Kahhat Abedrabbo, Ph.D.

Lima, 2022

RESUMEN

La falta de planificación ha ocasionado la ocupación de zonas expuestas a múltiples peligros naturales debido a las precarias condiciones sociales y económicas. La ocurrencia de un evento sísmico en asentamientos humanos cercanos a cauces de ríos podría ocasionar gran cantidad de escombros y, en una acción desesperada y poco planificada de la población, los escombros podrían terminar en el cauce, aumentando el riesgo de inundación en estaciones de lluvias. La correcta gestión de riesgos de desastres requiere de planes de gestión de escombros que permita su correcto manejo y disposición final. Para ello es necesario la realización de un estudio ex ante que estime la distribución de escombros después de un escenario sísmico probable.

Este trabajo se aplica a un caso de estudio en la ciudad de Huaraz, específicamente la zona del río Seco. El objetivo de este trabajo es estimar la cantidad y distribución de los escombros y dar recomendaciones para la formulación de un plan de gestión de escombros posdesastre. La zona del río Seco, que sólo tiene discurrimiento de aguas en estaciones de lluvia, se ubica en un área amenazada por sismos e inundaciones y que ha tenido un fuerte crecimiento poblacional en los últimos años. A lo largo del cauce ocurre el fenómeno de colmatación debido al transporte de material que genera peligro a un asentamiento humano. La metodología del estudio se basó en un enfoque de la cuantificación y mapeo de las pérdidas de stock de material después de un evento sísmico. Primero, se estimó el stock de material de construcción, luego se evaluó el riesgo sísmico y por último se estimaron las pérdidas y mapeo de los escombros generados con un enfoque probabilista en el marco de *Performance-Based Earthquake Engineering*, PBEE.

Los resultados indican que el volumen de escombros es de 89 mil m³ y 105.8 mil m³, con 0.27 y 0.33 ton/m² construido para los escenarios de 45 y 100 años de periodo de retorno, respectivamente. La distribución espacial muestra que las zonas norte y oeste presentan mayor acumulación de escombros afectando una vía de acceso principal. Las principales recomendaciones son: gestionar planes de reforzamiento de viviendas, realizar campañas de concientización, elaborar protocolos de reaprovechamiento de materiales y definir posibles sitios de escombreras. Esta información fue entregada a la autoridad edil para orientar las acciones de respuesta en poblaciones situadas cerca del curso hidrográfico como la zona del río Seco.

Palabras clave: stock de materiales, riesgo sísmico, *Performance-Based Earthquake Engineering*, estimación de pérdidas, análisis de flujo de materiales, gestión de escombros.

ABSTRACT

The lack of planning has occasioned the occupation of areas exposed to multiple natural hazards due to precarious social and economic conditions. The occurrence of a seismic event in human settlements near riverbeds could cause a large amount of debris and, in a desperate and unplanned action by the population, the debris could end up in the riverbed, increasing the risk of flooding in rainy seasons. The correct disaster risk management requires debris management plans that allow its correct management and final disposal. For this, it is necessary to carry out an ex-ante study to estimate the distribution of debris after a probable seismic scenario.

This work is applied to a case study in the city of Huaraz, specifically in the area of the Seco River. The objective of this work is to estimate the quantity and distribution of debris and to provide recommendations for the formulation of a post-disaster debris management plan. The area of the Seco river, which only has a water flow during rainy seasons, is located in an area threatened by earthquakes and floods and has experienced strong population growth in recent years. Along the riverbed, the phenomenon of sedimentation occurs due to the transport of material that generates danger to a human settlement. The methodology of the study was based on an approach of quantification and mapping of material stock losses after a seismic event. First, the building material stock was estimated, then the seismic risk was evaluated and finally, the losses and mapping of the generated debris were estimated with a probabilistic approach in the framework of Performance-Based Earthquake Engineering, PBEE.

The results indicate that the volume of debris is 89 thousand m³ and 105.8 thousand m³, with 0.27 and 0.33 ton/m² constructed for the 45 and 100 year return period scenarios, respectively. The spatial distribution shows that the north and west zones present a greater accumulation of debris affecting the main access road. The main recommendations are: manage housing reinforcement plans, carry out awareness campaigns, develop protocols for reuse of materials and define possible dump sites. This information was provided to the municipal authorities to guide response actions in towns located near the hydrographic course, such as the area of the Seco River.

Keywords: material stock, seismic risk, Performance-Based Earthquake Engineering, loss estimation, material flow analysis, debris management.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme fuerzas para salir adelante ante cualquier adversidad.

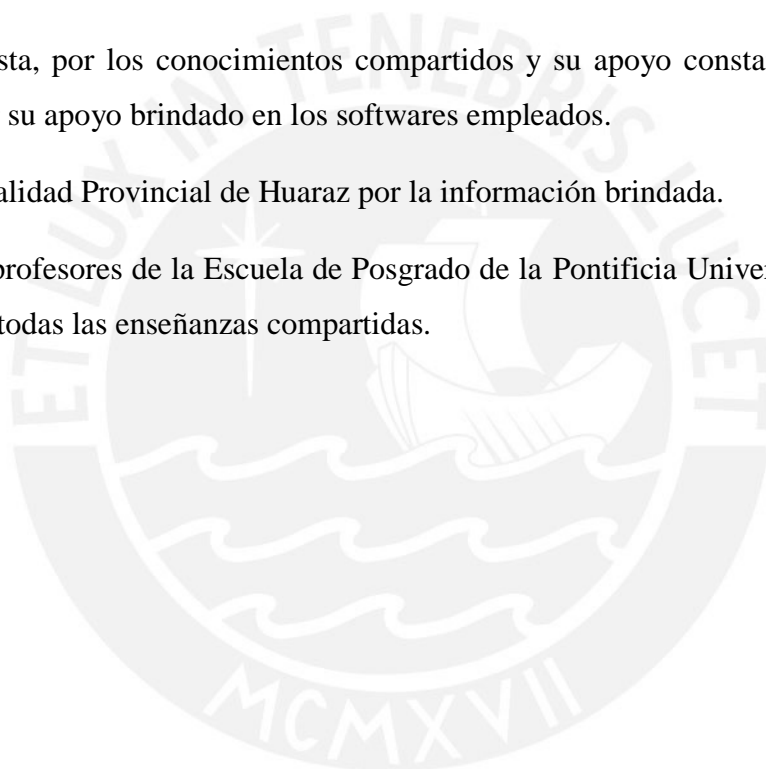
A mis padres, Marco Silva y Victoria Carranza por sus palabras de aliento y motivación constante para cumplir todas mis metas, y a mi hermano Jairo Silva, por su inmenso amor y apoyo incondicional en todo momento.

A mis asesores, a quienes les tengo mucho aprecio. A la Dra. Sandra Santa Cruz Hidalgo, por su tiempo, su conocimiento y por motivarme a buscar nuevas oportunidades, a Ramzy Kahhat Abedrabbo, Ph.D, por sus enseñanzas, consejos y orientación desde el inicio de la investigación.

A Carlos Mesta, por los conocimientos compartidos y su apoyo constante; y a Irving Huamaní, por su apoyo brindado en los softwares empleados.

A la Municipalidad Provincial de Huaraz por la información brindada.

A todos mis profesores de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, por todas las enseñanzas compartidas.



Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2.1. Justificación	3
2.2. Objetivos	3
2.3. Hipótesis	4
3. ESTADO DE ARTE	5
3.1. Cuantificación de pérdidas de stock de materiales por sismo	5
3.2. Experiencias en el manejo de escombros en diferentes eventos	6
3.3. Criterios para el manejo de escombros de sismo	8
4. METODOLOGÍA	10
4.1. Estimación del stock de materiales de las edificaciones en la zona del río Seco...10	
4.2. Evaluación del riesgo sísmico basado en escenarios.....	12
4.3. Estimación de pérdidas del stock de materiales de construcción	13
4.4. Análisis de flujo de materiales y recomendaciones para un plan de gestión de escombros.....	14
5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	15
5.1. Peligro por inundación y desborde.....	17
5.2. Historia Sísmica	17
5.3. Población.....	18
5.4. Características de las viviendas.....	19
5.5. Características del suelo.....	19
5.6. Características de la zona urbana	20
5.7. Sistema de manejo de escombros de construcción de edificaciones en Huaraz ...21	
6. ESTIMACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE ESCOMBROS	22
6.1. Estimación del stock de material de construcción.....	23
6.2. Evaluación del riesgo sísmico basado en escenarios.....	26
7. RESULTADOS	37
7.1. Stock de material de construcción.....	37
7.2. Evaluación del riesgo sísmico basado en escenarios.....	45
7.3. Pérdidas en el stock de materiales de construcción o volumen de escombros probables.....	48
7.4. Análisis de flujo de materiales	57
7.5. Recomendaciones para el manejo de escombros en la zona del río Seco.....	58
7.6. Presentación de los resultados a la Municipalidad Provincial de Huaraz.....	64

8. CONCLUSIONES	65
9. BIBLIOGRAFÍA	67
10. ANEXO	71
ANEXO I. PERMISO PARA LA REALIZACIÓN DE VISITAS TÉCNICAS PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	71
ANEXO II. FORMULARIO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	74
ANEXO III. MICROZONIFICACIÓN DE LA ZONA DEL RÍO SECO	77
ANEXO IV. MAPAS DE RESULTADOS	79



1. INTRODUCCIÓN

La acumulación de escombros posdesastre es un problema reportado en diversos desastres en el ámbito mundial. El terremoto de Japón del 2011 produjo 26.7 millones de toneladas de escombros (Ranghieri & Ishiwatari, 2014); el terremoto de Pisco en 2007 produjo 9.9 millones m³ de desechos (OMS, 2010); el Huracán Katrina produjo 76 millones m³ (Luther, 2008); mientras que el terremoto de Ecuador produjo aproximadamente 3.3 millones m³ de escombros solo en Manabí.

Ante la falta de planificación y acción desesperada de la población, los escombros pos desastre podrían ser vertidos en zonas prohibidas. Por ejemplo, después del terremoto de Pisco (INDECI, 2011) los residuos terminaron depositados en orillas de drenaje, playas y en un área declarada como reserva ambiental intangible. También, tras el terremoto de Ecuador los residuos terminaron en zonas turísticas, áreas recreativas y un local considerada área de conservación (Guerrero & Luque, 2021) y tras el huracán Katrina en Estados Unidos, los desechos se vertieron en escuelas, zonas pantanosas bajas, arrozales y zonas costeras (Brown & Milke, 2009).

Siendo el Perú uno de los países de más alta actividad sísmica en el mundo (Tavera et al., 2014) y vulnerable ante los efectos del cambio climático (López, 2014), el problema de la correcta gestión de los escombros posdesastre está latente. Un ejemplo de este problema se puede apreciar en la zona denominada río Seco, en la ciudad de Huaraz ocupada por un asentamiento humano. Esta situación, que se repite en varias zonas de la Ciudad de Huaraz, inició después del terremoto de 1970 debido a las precarias condiciones sociales y económicas, que contribuyeron a que la población busque áreas expuestas al peligro (Ferro, 2006). Además, el cauce del río Seco, que solo tiene discurrimiento de aguas en épocas de lluvia, presenta el fenómeno de colmatación transportando materiales y generando peligro aguas abajo en su entrega al río Santa (Soluciones Prácticas, 2012). En el año 2015 se declara en Estado de Emergencia la Región Ancash por el Fenómeno el Niño y es por ello, que las autoridades responsables realizan trabajos de descolmatación en la zona para prevenir y salvaguardar la integridad de la población. No obstante, en el año 2021 debido a las lluvias intensas se produjo la activación de la quebrada afectando algunas viviendas (COEN-INDECI, 2021).

La ocurrencia de un evento sísmico en la zona del río Seco podría ocasionar gran cantidad de escombros ya que según Silva et al., (2016) el 89% de las viviendas de esta zona tienen un nivel de vulnerabilidad sísmica muy alto, además según PNUD INDECI, (2003), hay presencia de suelos expansivos en el cruce del río Seco con el río Santa. Posterior a ello, la acumulación de escombros por sismo en zonas cercanas al cauce del río Seco puede dar lugar a peligros inducidos o concatenados debido a que pueden convertirse en fuente de contaminación, disminuyen la profundidad del cauce, generan un impacto ambiental e impacto visual y afectan la salud de la población por enfermedades respiratorias. Además, los escombros generados por desastres pueden obstaculizar los esfuerzos de rescate y ayuda humanitaria.

La municipalidad provincial de Ancash cuenta con un plan de gestión de riesgos que no considera el tema de gestión de escombros posdesastre. Se requiere mayores estudios para poder dar recomendaciones que puedan consolidarse en un plan de gestión de riesgos. Es por ello que este estudio se enfoca en la cuantificación y mapeo de pérdidas de materiales de construcción para poder dar aportes a la autoridad edil para un plan de gestión de escombros posdesastre. Con una metodología que consiste en el levantamiento de información por medio de salidas de campo y el llenado de formulario con las características de cada vivienda incluyendo fotografías y la elaboración de una base de datos georreferenciada. Posteriormente, se sigue los lineamientos de García-Torres et al., (2017) incluyendo un análisis detallado de la cuantificación de stock de materiales y la obtención de curvas de fragilidad de escombros mediante funciones de vulnerabilidad propuesta por Mesta et al., (2020). El enfoque es probabilístico de acuerdo al método de *Performance- Based Earthquake Engineering, PBEE* (Yang et al., 2009). A partir de estos resultados se presenta un esquema para el manejo de escombros posdesastre y su disposición final, siguiendo lineamientos encontrados en la literatura técnica. Finalmente, las propuestas y recomendaciones se presentan a un funcionario de la municipalidad provincial de Huaraz con el fin de validarlas y enriquecerlas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Justificación

El resultado de esta investigación da aportes para el planeamiento pre y posdesastre. En el caso de planeamiento pre desastre las autoridades locales cuentan con una iniciativa como la cuantificación de pérdidas de materiales de construcción por sismo y la identificación de zonas más afectadas, posteriormente las autoridades pueden determinar posibles escombreras y planificar campañas de educación y concientización. En el proceso posdesastre, este trabajo puede servir de ayuda en el proceso de planificación del manejo de escombros con el aporte de un análisis de flujo de materiales y recomendaciones en cada fase del manejo de escombros para evitar la contaminación, problemas de salud, interrupción de las vías de acceso y controlar la colmatación del cauce del río.

Con el aporte de estas herramientas brindadas a las autoridades locales se espera contribuir a la realización de un plan de gestión de escombros en un futuro acorde al objetivo de desarrollo sostenible n°11 “Ciudades y comunidades sostenibles” y al estudio de desarrollo sostenible previos. Además, este aporte no solo debe ser aplicado a la zona del río Seco sino toda la ciudad de Huaraz.

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Aportar herramientas para la gestión de riesgos en las etapas de posdesastre de la zona del río Seco en Huaraz mediante la estimación de los escombros de sismo y la elaboración de recomendaciones para su manejo y disposición final.

2.2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar el stock de materiales de las edificaciones de la zona del río Seco.
- Analizar el riesgo sísmico por dos escenarios sísmicos de las edificaciones de la zona del río Seco.
- Cuantificar y estimar la distribución espacial de las pérdidas de material de construcción de los dos escenarios de evento sísmico de las edificaciones de la zona del río Seco de Huaraz.
- Elaborar el análisis de flujo de materiales y las recomendaciones para un plan de manejo de escombros postsismo.

2.3. Hipótesis

La zona del río Seco presenta pérdidas de más del 50% del stock de materiales de construcción con mayor acumulación en la zona oeste ocasionando la obstrucción de vías principales, además, ante una gran cantidad de escombros y la falta de un plan de gestión, su manejo sería dificultoso y podría generar peligros inducidos por la acción humana debido al depósito de escombros en el cauce después de un evento sísmico de tipo ocasional.



3. ESTADO DE ARTE

3.1. Cuantificación de pérdidas de stock de materiales por sismo

El estudio de la cuantificación de pérdidas de stock de materiales es un tema muy estudiado en los últimos años en todo el mundo. Por ejemplo, Hirayama et al., (2010) desarrollaron un procedimiento de estimación para evaluar la cantidad de escombros resultantes de terremotos e inundaciones en base a restos observados del Gran Terremoto de Hanshin Awaji, el Terremoto de Niigata y mapas de peligro. Demostrando que la estimación de escombros es primordial para que los sistemas de gestión y operación ante desastres puedan establecerse después de la respuesta de emergencia y para la planificación previa al desastre. También, Marulandia et al., (2013) realizaron un modelo de análisis probabilístico de riesgo sísmico mediante el software CAPRA (Comprehensive Approach to Probabilistic Risk Assessment) para evaluar las pérdidas de los elementos expuestos aplicada a la ciudad de Barcelona, España. Otro estudio realizado por Domaneschi et al., (2019) presentaron una metodología para evaluar el área cubierta por los escombros generado por edificios de mampostería y estimaron el volumen de escombros para proporcionar una herramienta a los tomadores de decisiones.

También hay estudios no solo de estimación de escombros por sismo sino también producto de inundaciones como por ejemplo, Tanikawa et al., (2014) utilizaron el análisis de stock de material para examinar las pérdidas de edificios y materiales de infraestructura después de un desastre obteniendo la cantidad requeridas para la reconstrucción. En el caso de Park & Cox, (2019) realizaron un análisis de fragilidad basados en medidas de intensidad máxima de los peligros para cuantificar y ubicar los escombros de la construcción generados por un terremoto y tsunami, luego predijeron las distribuciones finales de escombros tsunami.

El sistema de información geográfica (SIG) es incluida por otros autores como por ejemplo, Kleemann et al., (2016) que calcularon el stock de material general en los edificios de Viena describiendo las existencias de material utilizando datos disponibles del SIG de autoridades municipales. Del mismo modo, Miatto et al., (2019) calcularon el stock total de material y los flujos de residuos de demolición para Padua-Italia. También, Mastrucci et al., (2016) desarrollaron una metodología combinando un modelo de stock de material de construcción y una base de datos con evaluación del ciclo de vida con el uso del SIG.

En Latinoamérica, García-Torres et al., (2017) presentan un enfoque metodológico original y completo que caracteriza y cuantifica los escombros como consecuencia de terremotos, considerando varios escenarios de sismo aplicado al caso de estudio de la ciudad de Tacna. También la investigación de Mesta et al., (2017) con un enfoque metodológico mejorado, para caracterizar y cuantificar el stock material de edificios y las pérdidas materiales producidas como consecuencia de posibles terremotos, incluyendo un análisis más detallado de la estructura y el material de composición de los edificios utilizando datos SIG y datos estadísticos.

Los estudios de estimación de escombros después de un desastre natural están relacionados con la gestión de escombros posdesastre. Por ejemplo, Rafee et al., (2008) analizaron el desarrollo de estrategias en la gestión de escombros después de eventos sísmicos en la ciudad de Teherán, señalando que la estimación precisa del volumen, el peso y el tipo de escombros es importante para desarrollar planes de gestión de escombros. También, Mastrucci et al., (2016) caracterizaron las existencias de materiales de construcción para apoyar la decisión sobre las estrategias de gestión de residuos. De igual manera, Kim et al., (2018) presentó un marco para la gestión eficaz de los desechos de desastres para una comunidad resiliente con base de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

3.2. Experiencias en el manejo de escombros en diferentes eventos

El tema de manejo de escombros ha sido complicado para muchos países, por ello revisar las experiencias nos sirve de apoyo para tomar las acciones positivas. A continuación, se describe algunas experiencias en el manejo de escombros en Japón, Ecuador, Estados Unidos y Perú.

Primero, el gran terremoto ocurrido en Japón en marzo del 2011 provocó un tsunami masivo causando complicaciones en el manejo de escombros y considerándose uno de los más desafiantes y costosos en la historia. Según UNEP, (2012), posterior a la recopilación de antecedentes del terremoto y tsunami realizado por la misión internacional de expertos del PNUMA, las autoridades nacionales y regionales iniciaron los esfuerzos de limpieza junto con el equipo de la misión de expertos y un balance estratégico de la gestión de escombros que involucró: la estimación del volumen y transporte de residuos, recuperación de tierras y vertido, manejo de los sedimentos del tsunami, gestión de materiales

peligrosos, vigilancia ambiental, generación de empleo local y optimización de procesos.

Segundo, el terremoto de Manabí en Ecuador en el 2016. Este no contaba con una referencia para el manejo de escombros, entonces se preparó el “Protocolo para el proceso de demolición y remoción de escombros” terminada en seis semanas. En el caso de las ciudades, estas siguieron un modelo de cinco procesos. Primero, evaluar el problema; segundo, las actividades iniciales en el manejo de escombros; tercero, selección y autorización de sitios de disposición final; cuarto, reciclaje de escombros y otras actividades inherentes; quinto, actividades finales en sitios de disposición final. Ante la ausencia del protocolo de demolición y remoción de escombros, en la disposición final no hubo un tratamiento adecuado para la separación de componentes peligrosos y además usaron lugares recreativos y área de conservación como depósitos (Guerrero-miranda & Luque, 2021).

Tercero, el Huracán Katrina del 29 de agosto del 2005 en Estados Unidos. Este evento causó daños materiales y el transporte de sedimentos tóxicos debido a las fuertes lluvias. En total, se generaron 76 millones de metros cúbicos de escombros y la gestión fue extremadamente compleja presentando problemas en actividades sociales, ambientales y económicas como la preocupación en la salud pública debido al manejo de residuos tóxicos, vertido ilegal de residuos debido a la frustración por la lentitud de la limpieza y demolición ante la presencia de amianto, preocupación medioambiental, volúmenes significativos de basura y la eliminación delicada de áreas sensibles de los pantanos (Brown & Milke, 2009).

Por último, en Perú ocurrió el terremoto en Pisco, el 15 de agosto del 2007. Los residuos fueron conducidos a depósitos como calles, orillas de drenaje, en playas y áreas de protección, mientras que en el distrito de Pisco los desmontes fueron conducidos en un área declarada como reserva ambiental intangible (INDECI, 2011). En cuanto a la maquinaria pesada utilizada para la remoción de escombros y movimiento de tierra, la dirección Regional de Defensa Civil de Ica trabajó con 29 volquetes, 9 cargadores frontales, 6 retroexcavadora, eliminando 14 mil 976 m³ de tierra en 1 mil 248 horas (INDECI, 2007). En el caso del terremoto de Moquegua el 23 de junio del 2001, en muchas localidades se reutilizaron los escombros de las viviendas con el motivo de crear nuevos materiales de construcción que posteriormente fueron usados para la losas y vías de transido

peatonal (Organización Panamericana de la Salud, 2003). Los equipos usados en la remoción de 66,000 m³ de escombros fueron 18 volquetes de 15 m³ y 3 cargadores frontales de 3 m³ de capacidad (Sandoval, 2001).

3.3. Criterios para el manejo de escombros de sismo

Las actividades de manejo de escombros a lo largo de la línea de tiempo de un desastre que propone FEMA, (2007) se observa en la Figura 3.1. En la fase pre desastre las autoridades locales deben pronosticar posibles cantidades de escombros para posibles escenarios de desastre. Luego se debe planificar los requisitos de mano de obra y equipo necesarios para la etapa posdesastre y la determinación de posibles sitios de disposición final y plantas de reciclaje. En la fase de respuesta, se debe realizar una evaluación inicial de la zona de desastre estimando cantidades y composición de los escombros, luego evaluar los requisitos del equipo necesario. En esta etapa la limpieza de carreteras solo se realiza con el fin de facilitar las actividades de búsqueda y rescate de personas. En la última fase de recuperación implica la recolección y transporte de escombros hasta sitios de almacenamiento temporal para luego pasar por la clasificación, separación, trituración, incineración y trituración. Posteriormente los escombros útiles son reciclados y reutilizados mientras que los escombros no útiles son desechados en los sitios de disposición final o escombreras.

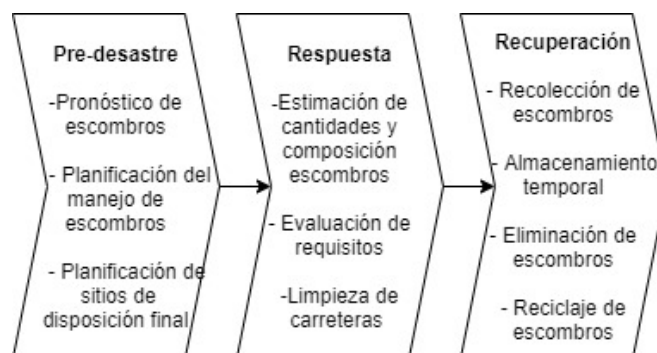


Figura 3.1. Flujo de operaciones de gestión de escombros a lo largo de la cronología del desastre. Adaptado de FEMA, (2007)

La recolección dependerá de la cantidad de escombros, el tipo, la urgencia de la limpieza del sitio, posibilidades de reciclaje y algunas complicaciones geográficas. Para un manejo integral de los escombros hay dos tareas importantes, el reaprovechamiento de los materiales y la definición de escombreras (Organización Panamericana de la Salud, 2003).

En el aprovechamiento de residuos valorizables se debe realizar un programa de reciclaje para conocer los tipos de escombros aprovechables, el equipo necesario para la recolección y el transporte, el valor aproximado de los materiales recuperados y el mercado para colocarlos. También es importante incluir la participación de la población y la viabilidad económica, el aspecto social y ambiental. Además, se debe identificar y manejar los escombros de manera selectiva, por ejemplo, materiales en buen estado que se pueden reusar y materiales que se pueden reciclar, por ejemplo, metales, concreto y madera.

El transporte de escombros debe ser eficiente, para ello se debe consolidar una red de transporte, reducir el volumen de escombros y tener mapas con zonas designadas como puntos de concentración de escombros. En algunos casos para evitar la congestión del sitio de disposición se establecen sitios de acumulación temporal, aunque el costo de limpieza aumenta se puede reducir con estrategias de ubicación con espacios grandes (Solis et al., 1995). Además, el tiempo y la velocidad de la recuperación influye en las decisiones para alterar la jerarquía del manejo y también puede hacer de la combustión y el vertido de residuos, las opciones preferidas (Brown & Milke, 2009).

La definición de escombreras, según Grzeda et al., (2014) es un componente esencial de la planificación y proponen el uso del análisis de conglomerados binomiales en la identificación de sitios temporales. También Lorca et al., (2015) proponen un modelo matemático que optimiza la selección del sitio. Según el Estudio SIRAD (2011), el área mínima de una escombrera es de 2 ha para albergar todos los escombros en un volumen mínimo de 50,000 m³, con una altura de 3 m.

Las fuertes lluvias después del terremoto, puede causar un flujo de escombros. Estos pueden hacer más daños a la infraestructura, transportes y a la construcción que el propio terremoto (Liu & Sun, 2009). En caso de inundaciones la situación se vuelve crítica ya que se acumula lodos en el interior de las viviendas y en las vías públicas. Además el estudio de Ge et al., (2014) recomiendan tomar medidas de prevención para la cuenca, como la identificación de peligros y evaluación de riesgos, reubicación de habitantes, establecimiento de alarmas, creación de planes de emergencia y renovación del cauce del río. También, los sedimentos en el canal del río deben dragarse y reubicarse, para que sean utilizados en la recuperación de tierras o en la industria de la construcción.

4. METODOLOGÍA

A continuación se describe la metodología aplicada para este estudio, la cual fue desarrollada por García-Torres et al., (2017) para estimar las pérdidas de stock de materiales de las edificaciones después de un terremoto y la investigación de Mesta et al., (2017) con el análisis más detallado de la cuantificación de stock de materiales. Estas investigaciones tomaron el caso de estudio la ciudad de Tacna y la ciudad de Chiclayo, respectivamente, ubicadas en la Costa Peruana. Estas metodologías se aplicaron para un caso en la sierra peruana, la zona del río Seco de Huaraz.

Esta metodología incluye cuatro etapas: La estimación del stock de materiales en las edificaciones, la evaluación del riesgo sísmico por escenarios, la estimación de las pérdidas de stock de material y la distribución espacial de los escombros generados. Luego se realizó un análisis del flujo de materiales (MFA, por sus siglas en inglés) (Graedel y Allenby, 2009; Ayres y Ayres, 2002) y recomendaciones para un plan de gestión de escombros postsismo que posteriormente fueron presentadas a una autoridad de la Municipalidad Provincial de Huaraz.

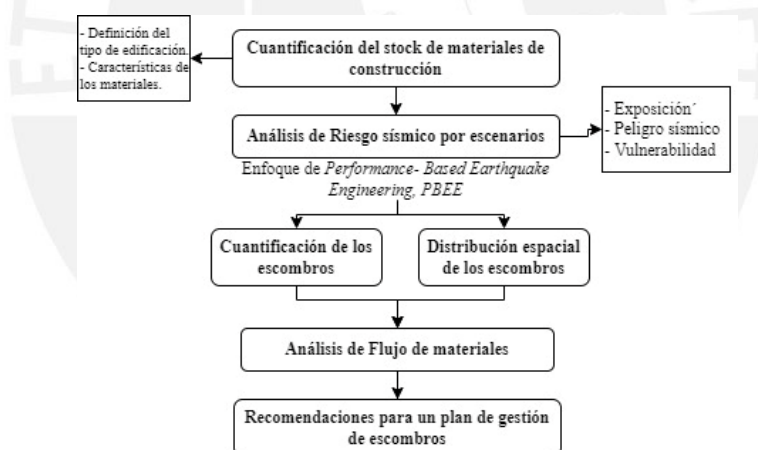


Figura 4.1. Diagrama metodológico

4.1. Estimación del stock de materiales de las edificaciones en la zona del río Seco

Para la estimación del stock de materiales de construcción, primero, se realizó la generación del inventario de las edificaciones, que se construyó en base a estudios previos de Silva et al., (2016) y con salidas de campo para la rectificación y actualización de la información mediante el uso de Google Formularios. Este inventario abarca las características de cada vivienda como el sistema estructural, material predominante, tipo de cubierta, sistema de entrepisos, número de pisos y

una fotografía. Posteriormente las edificaciones fueron clasificadas en tipologías, basada en el tipo de vivienda y el material predominante en las paredes.

Posteriormente la cuantificación del stock de materiales se basó en la metodología de Mesta et al., (2017). En este caso se analizó cada vivienda por separado considerando dos parámetros: área techada de edificaciones AT (m^2) e intensidad de materiales IM (kg/m^2) para indicar el tamaño y composición del material de las edificaciones. Combinando ambos parámetros se estima el stock de materiales con las ecuaciones (1) y (2):

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

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

Donde:

AT_i = área techada para la tipología i (m^2)

$IM_{m,i}$ = intensidad de material para el material m y tipología i (kg/m^2)

$M_{m,i}$ = masa de material m contenido en la tipología i (kg)

MS = stock de material de las edificaciones

Debido a que las edificaciones fueron analizadas individualmente, en el modelo georreferenciado se calculó el área techada AT de cada edificación donde el área del lote se obtuvo mediante mapas catastrales proporcionados por las autoridades municipales y el número de pisos del formulario de las salidas de campo. Entonces el cálculo del área techada se realizó mediante la multiplicación del área del lote por el número de pisos, usando la Ecuación (3):

$$AT_i = Alote * n^{\circ} \text{ de pisos} \quad (3)$$

Los valores de intensidad de material para vivienda de ladrillo fueron consideradas de la investigación de Mesta et al., (2017) donde fueron calculadas mediante revisión de documentos de edificaciones, investigación in-situ, opinión de expertos y literatura. Y para vivienda de adobe se consideraron los valores de intensidad de la investigación de Cucchi, (2021) en la ciudad de Abancay, Perú.

Finalmente, se obtiene el stock total de las edificaciones incluyendo cimentación y superestructura donde la exposición se representa en un modelo georreferenciado donde se detalla las características de las edificaciones y el valor

expuesto que es el stock de materiales de construcción expuesto que está compuesto solo por los materiales de la superestructura de las edificaciones.

4.2. Evaluación del riesgo sísmico basado en escenarios

La evaluación del riesgo sísmico se desarrolló para estimar el porcentaje de escombros. Este proceso requiere de 3 etapas: la evaluación del peligro sísmico, la caracterización de la exposición representado por el stock de materiales y el desarrollo del modelo de fragilidad para generar curvas en términos de porcentaje esperado de escombros frente a la intensidad sísmica usando el enfoque de *Performance- Based Earthquake Engineering, PBEE* (Yang et al., 2009).

Posteriormente obtenido los tres etapas se estimó el porcentaje de escombros mediante el software CAPRA-GIS (Universidad de los Andes, 2018) donde los archivos de entrada fueron el archivo de exposición (formato .shp), el archivo con el contenido de los escenarios sísmicos formato .ame), las curvas de fragilidad de escombros (formato .fvu) y el archivo de efectos de sitio (formato .grd).

4.2.1. Evaluación de la amenaza o peligro sísmico

Se realizó análisis probabilístico de peligro sísmico con la metodología PSHA propuesta por (Cornell, 1968). Este análisis se realiza por medio del software CRISIS2007 (Instituto de Ingeniería, 2007) donde el modelo usado fue desarrollado por el Instituto Geofísico del Perú (2014). El resultado del análisis de peligro sísmico tiene en cuenta la tasa de ocurrencia y la intensidad de los sismos y se define como los probables escenarios sísmicos en la zona de estudio. Posteriormente, se definieron los probables escenarios sísmicos asociados a un periodo de retorno específico caracterizado por la magnitud e intensidad del sismo. Además, los efectos de sitio también fueron considerados en la distribución espacial.

4.2.2. Evaluación de la vulnerabilidad

Primero se realizaron fichas de vulnerabilidad para la vivienda de adobe y la vivienda de albañilería mostrando las características y los factores que influyen a la vulnerabilidad. Posteriormente, se evaluó la vulnerabilidad mediante funciones de fragilidad de escombros para estimar los escombros producidos por el colapso parcial o total de las viviendas después de un evento sísmico. La metodología empleada se basó del estudio Mesta et al., (2020) donde adaptaron el marco

conceptual de *Performance-Based Earthquake Engineering, PBEE* (Yang et al., 2009), para desarrollar funciones de fragilidad que relacionen fracción de escombros con intensidad sísmica para las diferentes tipologías de viviendas, de acuerdo a la Ecuación (4):

$$G(DF_{m,i}/is) = \int_{de} \int_{ed} G(DF|ed) dG(ed|de) dG(de|is) \quad (4)$$

Donde:

is: intensidad sísmica

de: daño estructural

ed: estado de daño

$DF_{m,i}$: Variable de decisión, fracción de escombros (%) del material m en la tipología i

$G(DF_{m,i}/is)$: Función de distribución de probabilidad de la variable $DF_{m,i}$ condicionada a un valor de la variable *is*.

4.3. Estimación de pérdidas del stock de materiales de construcción

La estimación de las pérdidas de materiales de construcción se basó en la combinación de los resultados del análisis de riesgo sísmico y el stock de material, donde los resultados obtenidos del análisis de riesgo sísmico en CAPRA-GIS fueron la fracción de escombros por tipo de material de construcción para cada tipología. Para ello se usaron las ecuaciones (5) y (6):

$$PM_{m,i} = E[DF_{m,i}/is] * M_{m,i} \quad (5)$$

$$PMS = \sum_{m,i} PM_{m,i} \quad (6)$$

Donde:

$E[DF_{m,i}/is]$ = fracción de escombros esperado de material m contenido en la tipología i (%)

$M_{m,i}$ = masa de material m contenido en tipología i (ton)

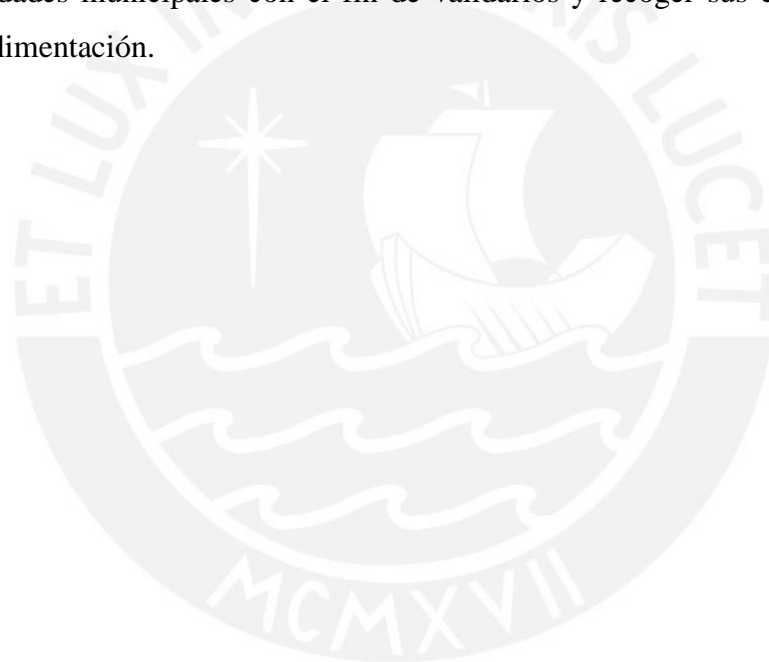
$PM_{m,i}$ = pérdida de masa de material m en tipología i (ton)

PMS = pérdida del stock de material de las edificaciones o escombros (ton)

Posteriormente se procedió a la elaboración de la distribución espacial de pérdidas de material de construcción para los dos escenarios de evento sísmico.

4.4. Análisis de flujo de materiales y recomendaciones para un plan de gestión de escombros

El análisis de flujo de materiales (MFA) es una metodología usada para caracterizar los flujos de materiales dentro de un sistema definido en el espacio y tiempo (Graedel y Allenby, 2009; Ayres y Ayres, 2002). Este análisis se realizó para el material concreto para comprender el tránsito de este material en las etapas pre y posdesastre para un escenario de 100 años de periodo de retorno mediante el software STAN. Por último, se elaboró un diagrama en base a diversas literaturas sobre el manejo de escombros en la etapa pre y posdesastre para luego desarrollar recomendaciones en cada etapa del manejo de escombros enfocados en la zona del río Seco. Finalmente, estos resultados fueron presentados a las autoridades municipales con el fin de validarlos y recoger sus comentarios de retroalimentación.



5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El río Seco se encuentra ubicado al sur de la ciudad de Huaraz, distrito de Huaraz, en la región Ancash como se muestra en la Figura 5.1. Huaraz tiene una altura promedio de 3,052 msnm y cuenta con una extensión territorial de 939,26 ha (INDECI, 2003).



Figura 5.1. Macro localización de la zona de estudio

La zona del río Seco se observa en la Figura 5.2 y comprende aproximadamente de 25 ha, desde donde el río se origina en el área denominada “Cruz Punta” cuya ubicación geográfica es de 223513 m en el este, 8944079 m en el norte y con una altitud de 3240 m.s.n.m., y el final de la quebrada se encuentra a 221903 m en el este, 8944411 m en el norte y con una altitud de 3040 m.s.n.m. Este río tiene un recorrido en dirección Este-Oeste y desemboca en el río Santa.



Figura 5.2. Localización de la zona de estudio

El río Seco es un curso hidrográfico, según INDECI-PNUD, (2003), y es nombrado de esa manera, debido a que solo presenta discurrimiento de aguas en las estaciones de lluvias. En ese periodo ocurre el transporte del material fluvio-glaciario que se encuentra acumulado donde se origina el río, llegando a colmar el cauce.

Según INDECI-PNUD, (2003) su topografía se caracteriza por ser heterogénea, montañosa y abrupta, las pendientes pueden llegar hasta 45% en los alrededores y en el centro de la ciudad hasta el 25%.

El clima de Huaraz es templado, en las mañanas el clima es seco y en las noches es frío. Las temperaturas medias pueden llegar hasta 17°C y las máximas absolutas puede ser mayor a los 21°C. El clima particular de Huaraz se debe a su ubicación en el Callejón de Huaylas, entre las Cordillera Blanca y Cordillera Negra (Silva, 2018).

El principal acceso a la ciudad de Huaraz, desde la capital, es a través de la carretera Panamericana Norte, tomando el desvío de Pativilca. Para acceder a la ciudad de Huaraz desde diferentes puntos, según ANA, (2016):

Partiendo del km 200 de la Panamericana Norte ciudad de Pativilca

Carretera asfaltada : Pativilca – Conococha : 120km

Carretera asfaltada : Conococha – Huaraz : 080km

Partiendo de km 375 de la Panamericana Norte ciudad de Casma

Carretera asfaltada : Casma – Huaraz : 080km

Partiendo del km 425 de la Panamericana Norte ciudad de Santa

Carretera afirmada : Santa Huallanca : 118km

Carretera asfaltada : Huallanca-Yungay Huaraz: : 116km

Partiendo de la ciudad de Lima por vía aérea, del Aeropuerto Internacional “Jorge Chavez”, al Aeropuerto de Anta el cual dura 60 minutos; y de Anta a Huaraz son 15 minutos en auto.

Las vías de acceso para llegar al río Seco desde el centro de la ciudad de Huaraz según ANA, (2016) puede ser partiendo de la plaza de armas de Huaraz por la carretera pavimentada hacia el cementerio con un recorrido de 1.40 km, y por trocha del cementerio al inicio del río seco con un recorrido de 0.40 km. Otra manera es partiendo de la plaza de armas de Huaraz hasta la altura del puente Tacllán en carretera pavimentada con un recorrido de 1.40 km.

Para los accesos entre márgenes, existe un puente de madera de 13 metros que sirve de acceso al Asentamiento humano Túpac Amaru. También se encuentra el puente Shauraman, un puente peatonal con estribos contruidos sin ningún estudio técnico, ni autorización y el puente Tacllán que es una vía de acceso principal (ANA, 2016).

5.1. Peligro por inundación y desborde

A lo largo de la historia, Huaraz ha sido afectada por aluviones como consecuencia de desbordes de lagunas, como el aluvión del 13 de diciembre de 1,941, con un aproximado de 5,000 personas fallecidas (Chuquisengo, 2007).

Las fuertes lluvias en la ciudad provocan el aumento del caudal del río causando inundaciones, desbordes y represamiento por derrumbes y material arrastrado (Silva, 2018). En la zona del río Seco, las lluvias estacionales arrastran el material fluvio-glaciar acumulado en las nacientes del río, cuyo transporte llega a colmatar el cauce ocasionando peligro en la zona donde desemboca el río Seco al río Santa, que se encuentra invadida por un asentamiento humano y que podría ser afectado (Soluciones Prácticas, 2012).

Según INDECI-PNUD (2003), los problemas de seguridad física que se dan a lo largo del río Seco solo se presentan en su margen derecha por ser material de relleno como plataforma de la ciudad de Huaraz, por lo contrario no hay problemas en su margen izquierda por la presencia de roca de muy buena resistencia. De todas formas, se da el fenómeno de colmatación, pero la margen derecha no presenta erosiones laterales debido a las obras de contención.

Finalmente, la acumulación de desechos y el vertido de escombros de construcción en el cauce del río Seco son problemas que se presentan. Además, esta zona presenta áreas con niveles de riesgo muy alto por lo que la reubicación de sus pobladores debe ser paulatina ya que hay sectores que se encuentran en un Suelo no urbanizable (Soluciones Prácticas, 2012).

5.2. Historia Sísmica

La mayor actividad sísmica donde se produce una gran cantidad de sismos que puede afectar a la ciudad de Huaraz y a todo el departamento de Ancash, se concentra en el Océano Pacífico, en una línea paralela a la costa, a una distancia media de 80 Km, apreciándose la subducción de la Placa de Nazca, con una gran concentración de sismos, aumentando la profundidad focal de los sismos hacia el

continente, donde se producen a profundidades superficiales a intermedias, y que podrían estar relacionadas a fallamientos activos (INDECI, 2003).

A continuación, se resume la historia sísmica de mayor incidencia en la Región según INDECI-PNUD, (2003):

Tabla 5.1. Historia sísmica de mayor incidencia

Sismo	Descripción
14 de febrero de 1619	Con una intensidad aproximada de IX MM en Trujillo, y con una intensidad aproximada de VIII en Chicama y Santa.
6 de enero de 1725	Con una intensidad aproximada de VIII MM en Barranca y Huacho, VII MM en Casma y VI MM en Trujillo y Santa.
2 de Setiembre de 1759	Con una intensidad aproximada de VII MM en Trujillo.
21 de junio de 1937	Con intensidades de VII MM en Trujillo, Lambayeque y Salaverry.
17 de octubre de 1966	Uno de los más destructivos ocurridos después del sismo de 1940, con una intensidad máxima de VIII MMI.
Sismo del 31 de mayo de 1970	Con una intensidad de 7.9 Mw, con epicentro frente a las costas de Chimbote. Fue uno de los sismos más catastróficos, en la que murieron 50,000 personas, desaparecieron 20,000 y quedaron heridos 150,000 según informe de CRYRZA (Comisión de rehabilitación y reconstrucción de la zona afectada). Posteriormente, en Yungay se produjo el gran aluvión que arrasó con la ciudad a causa del desprendimiento de la comisa norte del Nevado Huascarán.

5.3. Población

El departamento de Ancash se divide en 20 provincias. La provincia de Huaraz cuenta con 163,936 habitantes siendo la segunda provincia más poblada después del Santa con 65.8 hab/km². Además, la población que vive en el área urbana en Huaraz es del 75.1%, según el informe del INEI, (2018).

Comparando los censos 2007 y 2017, por un lado, la población urbana presenta un incremento de 100 mil 931 personas en el 2007 a 163 mil 936 en el 2017. Siendo la tasa de crecimiento promedio anual (2007 al 2017) de 1.1. Por otro lado, la población en el área rural presentó decrecimiento, lo que puede significar que población rural migró a la población urbana, una de las causas fue como consecuencia del terremoto de 1970 donde se inició una gran oleada de migración proveniente de otras provincias de la región.

En cuanto a la educación y analfabetismo, según el informe de resultados del INEI, (2018) del censo del 2017, Huaraz, es la única provincia en Ancash, donde la

mayoría de sus habitantes ha alcanzado el nivel educativo superior con 36.7%. y la tasa de analfabetismo del año 2007 al año 2017 se redujo en 2.1 puntos porcentuales en la provincia de Huaraz.

5.4. Características de las viviendas

Las características de las edificaciones ubicadas en la zona del río Seco se obtuvieron del estudio de Silva, (2018), donde el material de las viviendas edificadas son el adobe, quincha, mampostería de piedra, albañilería, madera y otros materiales precarios. Los materiales predominantes son el adobe y el ladrillo, en donde las viviendas de adobe que se encuentran en mayor cantidad.

En el caso de viviendas informales, el 87% (518 viviendas) son viviendas construidas informalmente y el 1% (7 viviendas) si contó totalmente con la participación de un ingeniero civil. Hay otros casos donde las viviendas contaron con participación de un ingeniero solo en la construcción y otras solo en el diseño. En cuanto a la antigüedad de edificaciones, el 58% tienen una antigüedad menor de 19 años y el 2% de viviendas poseen una antigüedad de 50 años a más. Por último, el 64% de viviendas tienen una configuración geometría en planta regular y también, el 66% tienen una configuración geométrica en elevación regular.

5.5. Características del suelo

Según el estudio de zonificación sísmica en la zona del río Seco, los suelos han sido calificados de la siguiente manera, también se puede observar en la Figura 5.3 el tipo de suelo por zonas.

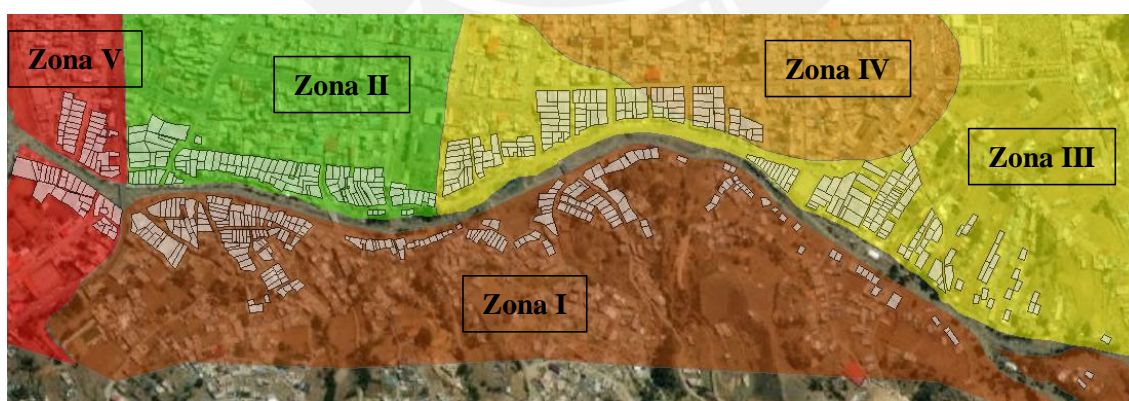


Figura 5.3. Plano de microzonificación Geotécnica Sísmica. Fuente: InGeoSuelos S.A.C

La zona I está conformada por relleno superficial con rocas intemperizadas en proceso de descomposición, y debido a que el comportamiento dinámico es

incierto requiere un estudio específico. Este suelo corresponde a un suelo muy rígido denominado S1. (Silva, 2018).

La zona II tiene presencia de grava y arenas sueltas. No hay posibilidad de asentamientos, pero si es probable que ocurra amplificación sísmica. La zona III también tiene presencia de gravas y arenas sueltas en una matriz de arena limo arcillosa. Se espera asentamientos y amplificación sísmica moderada. Y la zona IV presenta características similares que la zona III. Estas tres zonas corresponden a un suelo intermedio denominado S2 (Silva, 2018).

La zona V presenta un suelo con condiciones desfavorables debido a que tiene presencia de rellenos de escombros de construcción, rellenos de arcilla limosa y arenas. En este caso si se espera asentamientos, agrietamientos y amplificación sísmica por lo que correspondiendo a un suelo flexible denominado S3 (Silva, 2018).

5.6. Características de la zona urbana

La ciudad de Huaraz responde a una configuración urbana, mezcla de ciudad tipo damero en el casco central, con ciudad no consolidada de manzaneo y lotización irregular; asentamientos clandestinos en los alrededores y en el cono aluviónico influenciado por la cultura y condiciones socio-economicas de la población inmigrante (INDECI, 2003).

La zona denominada Río Seco comprende desde la parte baja de Bellavista hasta el encuentro con el Río Santa en la zona Tacllán Bajo, pasando por los Barrios de Pedregal Bajo, Villón Alto y Villón Bajo. Donde las viviendas ubicadas en la faja marginal cuentan con los servicios básicos de energía eléctrica, agua potable, cable (otorgados inadecuadamente). En este lugar se han construido indebidamente viviendas sobre el muro de encausamiento de concreto comprometiendo la estabilidad de una de las defensas ribereñas ubicada en la margen derecha, aguas arriba del puente de madera. En la margen derecha aguas abajo del puente de madera se ubica las demás defensas ribereñas que se encuentra en peligro de colapsar ya que su cimiento esta socavado y descubierto por el peso del material de desmonte que se encuentra en la corona (ANA, 2016).

La faja marginal de la margen derecha e izquierda no se encuentra pavimentado, pero si la mayoría de las calles que se encuentran a partir de la faja marginal de margen derecha con dirección hacia el centro de la ciudad de Huaraz.

Por último, en esta zona no se encuentran colegios ni hospitales. Pero si muy cerca se encuentra la Dirección Regional de Transportes y comunicaciones DRTC y la comisaría de Taclán.

5.7. Sistema de manejo de escombros de construcción de edificaciones en Huaraz

El manejo de escombros de construcción en la ciudad de Huaraz pasa por las etapas de recolección, acumulación y disposición final. La primera etapa no se da debido a que no existen rutas para la recolección y ello genera acumulación de escombros en puntos críticos como espacios públicos. En la segunda etapa, los recicladores informales son los que reaprovechan estos escombros y en la última etapa los escombros son llevados a las riberas del río Santa (Flores, 2019) debido a que la ciudad no tiene zonas de disposición final. Pero si existen dos botaderos, el primero en Carhuashjirca y el segundo Pongor. El botadero de Carhuashjirca se encuentra al 80% de su capacidad, pero aún sigue recibiendo residuos y el botadero de Pongor actualmente se encuentra colapsado y la municipalidad se encuentra en coordinaciones para la búsqueda de nuevos lugares de disposición final de residuos sólidos.

6.1. Estimación del stock de material de construcción

El inventario de las edificaciones se realizó por medio de formularios como se muestra en la Figura 6.2, que fueron llenados en las salidas al campo con la finalidad de obtener información de cada edificación. Este formulario incluye la información de número de lote, sistema estructural, material predominante en paredes, tipo de cubierta, sistema de entrepiso, número de pisos, irregularidad de planta y una fotografía de cada edificación. Posteriormente se procesó la información en un modelo geo-referenciado detallado con el objetivo de obtener un modelo de exposición más robusto.

Aportes para un plan de gestión de escombros de sismo en la zona del río Seco de Huaraz

Ficha de levantamiento de información para la tesis de Maestría de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

ana.silvac@pucp.edu.pe [Cambiar de cuenta](#)

El nombre y la foto asociados a tu cuenta de Google se registrarán cuando subas archivos y envíes este formulario. Tu correo no forma parte de tu respuesta.

Código de vivienda

Tu respuesta

Fotografía

[Añadir archivo](#)

Sistema estructural

Adobe

Figura 6.2. Formulario para la actualización de la información en campo

Después de revisar las tipologías existentes en la zona de estudio se encontró que predominan las viviendas de adobe y las viviendas de albañilería confinada, no se ve la presencia de departamentos de edificios, pero sí viviendas de albañilería confinada de cuatro pisos.

Según información del estudio de Silva et al., (2016) y después de rectificar la información, se presentó un aumento de las viviendas de albañilería y disminución de viviendas de adobe. En la Tabla 6.1 se presenta la distribución del inventario de edificaciones, donde podemos observar que existe mayor cantidad de viviendas de albañilería confinada de 2 y 3 pisos seguido de las viviendas de adobe que son predominantes por ser una zona de la sierra.

Tabla 6.2. Distribución de edificaciones en la zona del río Seco

Tipo de vivienda	Cantidad	Porcentaje
Vivienda de adobe	224	36.48%
Vivienda de albañilería de 1 piso	47	7.65%
Vivienda de albañilería de 2 y 3 pisos	267	43.49%
Vivienda de albañilería de 4 pisos a mas	76	12.38%
Total	614	100.00%

En la Figuras 6.3 se muestran las salidas al campo donde se observa que existen viviendas que se encuentran muy cerca al cauce del río.



Figura 6.3. Salidas al campo para el levantamiento de la información

En las Figuras 6.4 a 6.7 se muestran las diferentes tipologías consideradas en este estudio.



Figura 6.4. Ejemplos de vivienda de adobe de dos y un piso



Figura 6.5. Ejemplo de vivienda de ladrillo de un piso



Figura 6.6. Ejemplo de vivienda de ladrillo de dos y tres pisos



Figura 6.7. Ejemplo de vivienda de ladrillo de cuatro pisos

Para el cálculo del stock de material se consideró las intensidades de material de la investigación de Mesta et al., (2017) y (Cucchi, 2021) de la Tabla 6.2 y 6.3 respectivamente. Estas intensidades están basadas en componentes estructurales y no estructurales como la cimentación, columnas, vigas, techos, muros, etc. No se incluyeron los materiales de las instalaciones eléctricas y sanitarias como tampoco las puertas y ventanas. Este estudio considero las intensidades de material en la vivienda de ladrillo y vivienda de adobe, según las Tablas 6.2 y 6.3.

Tabla 6.3. Valores de IM (kg/m²) para vivienda de albañilería Mesta et al., (2017)

Vivienda de ladrillo	Ladrillo (Kg/m ²)	Concreto (Kg/m ²)	Acero (Kg/m ²)	Mortero (Kg/m ²)
Cimentación		549	8.2	
Columnas		135	10.9	
Vigas		158	10	
Losas y escaleras	51	216	5.7	
Muros	216			116
Tarrajeo de columna, vigas y losas				44
Tarrajeo de muros				96

Tabla 6.4. Valores de IM (kg/m²) para vivienda de adobe (Cucchi, 2021)

Vivienda de adobe	Adobe	Madera	Yeso	Tejas de arcilla	Piedra y barro
Cimentación					572
Pisos		13.7			
Muros	986				
Enlucido			53		
Techos				34	

Para la estimación del área techada se basó en el uso del mapa catastral proporcionado por la Municipalidad de Huaraz.

6.2. Evaluación del riesgo sísmico basado en escenarios

La evaluación del riesgo sísmico abarca tres partes: la evaluación del peligro sísmico, la exposición y el análisis de vulnerabilidad de las edificaciones (Consortio ERN América Latina, 2011).

6.2.1. Evaluación del peligro sísmico

El peligro es la probabilidad de que un fenómeno natural se presente en un lugar específico, con una intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definido (CENEPRED, 2015). La metodología para el análisis probabilístico de peligro sísmico sigue la propuesta por Cornell, (1968). En la Figura 6.8 se observa la metodología para la evaluación y cálculo del peligro sísmico.

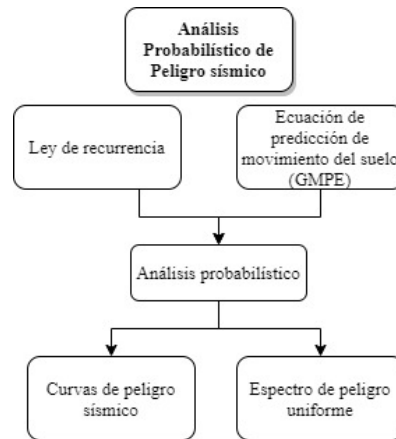


Figura 6.8. Metodología propuesta por Cornell (1968)

El modelo de peligro sísmico usado fue el realizado por el Instituto Geofísico del Perú (2014), posee información de catálogo sísmico que consta de 33 fuentes sísmicas entre ellas las fuentes del 1 al 8 son de subducción (interface), las fuentes del 9 al 19 son corticales y las fuentes del 20 al 33 son de subducción (intraplaca). Las profundidades de las fuentes de este modelo van de 30 a 200 km. Como se observa en la Figura 6.9.

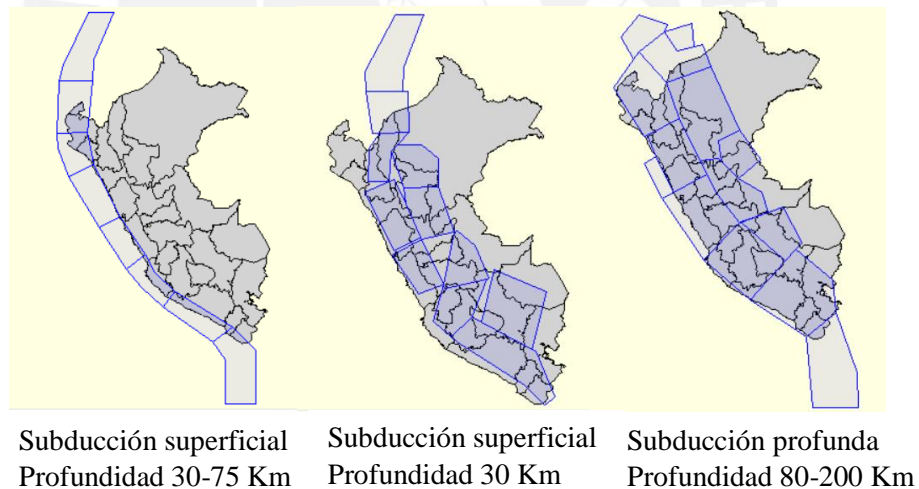


Figura 6.9. Fuentes sismogénicas superficiales
Fuente: Instituto Geofísico del Perú (2014)

El modelo del IGP también incluye el modelo de Gutenberg y Richter modificado para caracterizar la tasa de excedencia de las fuentes sísmicas y las leyes de predicción del movimiento del suelo o leyes de atenuación de Youngs y de Sadigh. La ley de atenuación de Youngs fue aplicado a las fuentes de subducción y la ley de atenuación de Sadigh para las fuentes corticales.

Las fuentes sísmicas que tienen más influencia en la ciudad de Huaraz se observan en la Figura 6.10, según el modelo de peligro sísmico del IGP (2014), son las fuentes sísmicas 13 y 15 del tipo corticales, las fuentes 5 y 4 del tipo subducción-interface y las fuentes 24, 26 y 27 del tipo subducción-intraplaca.

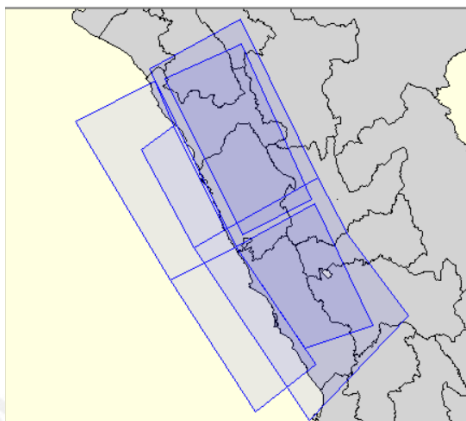


Figura 6.10. Fuentes sísmicas que afectan a la ciudad de Huaraz
Fuente: Instituto Geofísico del Perú (2014)

Los valores de aceleración expresados en PGA (gals) estimados por el Instituto Geofísico del Perú (2014) para la ciudad de Huaraz es de 102.48 gals y 158.22 gals para los periodos de retorno de 50 años y 100 años respectivamente ($T_r = 50$, $T_r = 100$).

Se realizó análisis probabilístico de peligro sísmico mediante el software CRISIS 2007, siendo uno de los resultados el espectro de amenaza uniforme para diferentes periodos de retorno. En la Figura 6.11 podemos observar que para un periodo de retorno de 100 años la aceleración será de 161 gal. Esto quiere decir que en 100 años hay probabilidad que se presenta al menos un evento que produzca una intensidad igual o mayor a 161 gal.

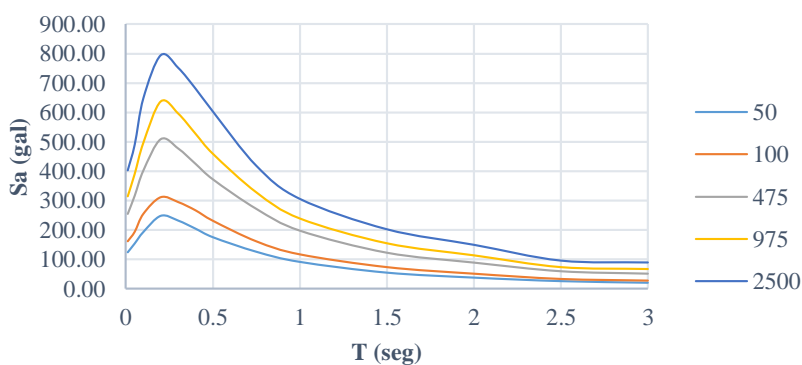


Figura 6.11. Espectro de peligro uniforme de la ciudad de Huaraz para diversos periodos de retorno

En base al modelamiento de peligro sísmico, los escenarios sísmicos escogidos se detallan en la Tabla 6.4 y se observan en la Figura 6.13. Para la selección de los escenarios se consideró la probabilidad de ocurrencia del evento, en el caso del escenario 1 este se da en una fuente 13 del tipo cortical presentes a lo largo de la Cordillera Andina, mientras que el escenario 2 se da en una fuente 5 de subducción (interfase) ubicada en las costas de Ancash con el fin de simular el sismo del año 1970 que tuvo como epicentro las costas de Chimbote. Los escenarios pertenecen a las fuentes de la Figura 6.12.

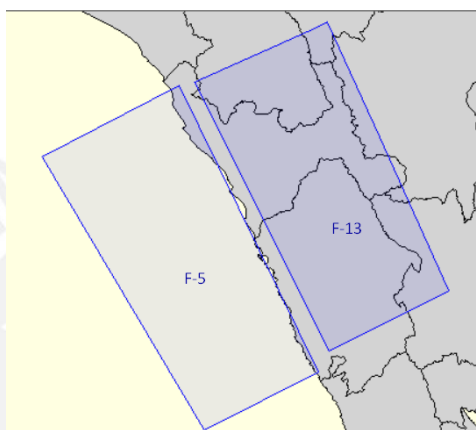


Figura 6.12. Fuentes seleccionadas para los escenarios sísmicos

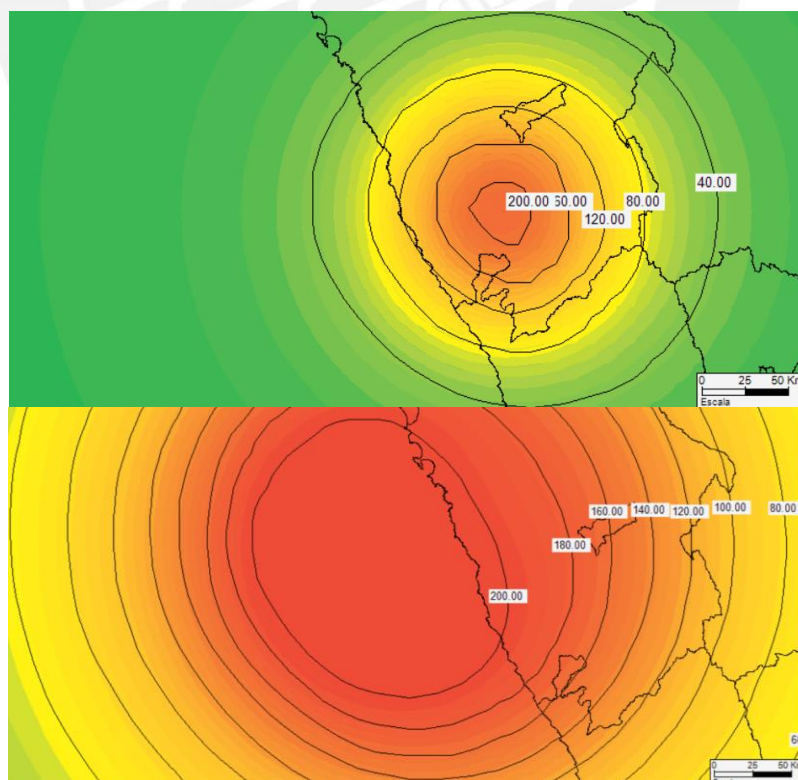


Figura 6.13. Distribución espacial de PGA (gal) para los escenarios sísmicos
Fuente: Instituto Geofísico del Perú (2014)

Tabla 6.5. Escenarios sísmicos para la zona del río Seco de Huaraz

Escenario	PGA (gal)	Periodo de retorno (años)	Tipo de sismo
Escenario 1	120	45	Frecuente
Escenario 2	160	100	Ocasional

Los efectos de sitio también fueron incluidos ya que los diferentes tipos de suelo llegan a modificar el contenido frecuencial y la amplitud de un sismo (Mesta, 2017). Estos efectos de sitio fueron modelados mediante funciones de transferencia espectrales que permitieron conocer el valor de amplificación para modificar las aceleraciones espectrales a nivel de suelo firme. Las funciones de transferencia empleadas son las que corresponden a la ubicación de la ciudad de Huaraz en la zona 3 según la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Basándonos a la microzonificación sísmica y los criterios de la norma peruana, la zona de estudio se dividió en 3 zonas como se puede observar en la Figura 6.14.



Figura 6.14. Efectos de sitio en la zona del río Seco

La zona amarilla corresponde al perfil S1 (suelos muy rígidos, $S=1$), la zona anaranjada corresponde al perfil S2 (suelos intermedios, $S2=1.15$) y zona roja corresponde al perfil S3 (suelo flexible, $S3=1.20$).

6.2.2. Evaluación de la vulnerabilidad

Se caracterizó las edificaciones por tipologías encontradas en la zona de estudio que son las viviendas de adobe y las viviendas de albañilería. Con ello se realizaron las fichas de vulnerabilidad como se muestra en la Tabla 6.5 y 6.6, donde se muestran las que podrían provocar mayor cantidad de escombros después de un evento sísmico.

Tabla 6.6. Ficha de vulnerabilidad de casa de ladrillo



Sector: Vivienda			
Tipo	1	Denominación	Casa de ladrillo
Descripción	Casa de albañilería. Vivienda unifamiliar independiente. Probablemente construida de manera informal o sin asistencia técnica. Con alturas entre 2 y 5 pisos ubicadas en zonas consolidadas y poco consolidadas.		
Número de pisos	Consta de 2 a 5 niveles	Descripción estructural	Generalmente albañilería confinada
Material predominante en paredes	Ladrillo y mortero de concreto	Material predominante en techos	Techos de losa aligerada de concreto armado
Desempeño estructural esperado ante sismos	Las casas de albañilería cuando tienen un buen diseño y están construidas correctamente, experimentan daños bajos que se pueden reparar. Además este sistema estructural posee baja vulnerabilidad pero debido a la carencia de techo rígido así como elementos de amarre, disminuye la confiabilidad de la estructura aumentando su vulnerabilidad sísmica.		
Factores que aumentarían los escombros	<p>Tabiques sin confinamiento en los últimos pisos.</p> <p>Tuberías de drenaje pluvial urbano provocando efectos erosivos.</p> <p>Conexión dentada de tabiques de ladrillo pandereta en pisos superiores.</p> <p>La esbeltez de la edificación.</p> <p>La irregularidad de planta.</p>		
IMAGEN			
			

Tabla 6.7. Ficha de Vulnerabilidad de casa de adobe

Sector: Vivienda			
Tipo	2	Denominación	Casa de adobe
Descripción	Vivienda de adobe que se realiza con recursos propios de la zona. Con unidades de adobe elaborados a base de tierra y paja.		
Número de pisos	Consta de 1 a 2 niveles	Descripción estructural	Vivienda con mampostería simple de adobe
Material predominante en paredes	Adobe	Material predominante en techos	Generalmente el techo es a dos aguas con una cobertura a base de tejas sobre vigas de madera
Desempeño estructural esperado ante sismos	Las viviendas de adobe poseen alta vulnerabilidad sísmica debido a que los sus muros son pesados y generan grandes fuerzas de inercia. Además que son débiles y pueden colapsar sin aviso previo debido a que tienen falla frágil (Blondet et al.,2006).		
Factores que aumentarían los escombros	Cubiertas muy pesadas ocasionan falla por cortante en el muro. No poseen viga collar Los techos a dos aguas causan debilidad en la parte inferior del tímpano.		
IMAGEN			
			

Las funciones de vulnerabilidad relacionan el valor esperado del daño y la desviación estándar del daño con la intensidad sísmica. Estas funciones de vulnerabilidad deben estimarse para cada tipología, en este estudio se identificaron cuatro tipologías como se muestra en la Tabla 6.7.

Tabla 6.8. Tipologías del caso de estudio

Tipología	Descripción
TIPO I: ADOB	Vivienda de adobe de 1 y 2 pisos
TIPO II: ALB1	Vivienda de albañilería de 1 piso
TIPO III: ALB2	Vivienda de albañilería de 2 y 3 pisos
TIPO IV: ALB3	Vivienda de albañilería de 4 pisos a más

Para la topología ADOB se empleó la función de vulnerabilidad desarrollada por el Consorcio CIRNA-PUCP (2014) para viviendas peruanas, siguiendo los lineamientos establecidos por FEMA y otras fuentes de información. Para las tipologías AIB1, ALB2 se empleó las curvas de fragilidad y estados de daño dados por Lovon et al. (2018) en su artículo “Development of Fragility Curves for

Confined Masonry Buildings in Lima, Perú”. Para la tipología ALB3 se empleó la función de vulnerabilidad elaborado por Huamaní, (2019) en la cual empleo la propuesta realizada por Miranda (1996) y Ordaz et al. (2000) descrita en la metodología CAPRA (ERN,2010). Estas funciones de vulnerabilidad se aplican a nuestro estudio ya que fueron realizadas para viviendas de albañilería de 4 a 7 pisos sin asistencia técnica.

Las funciones de vulnerabilidad escogidas se muestran en la Figura 6.15.

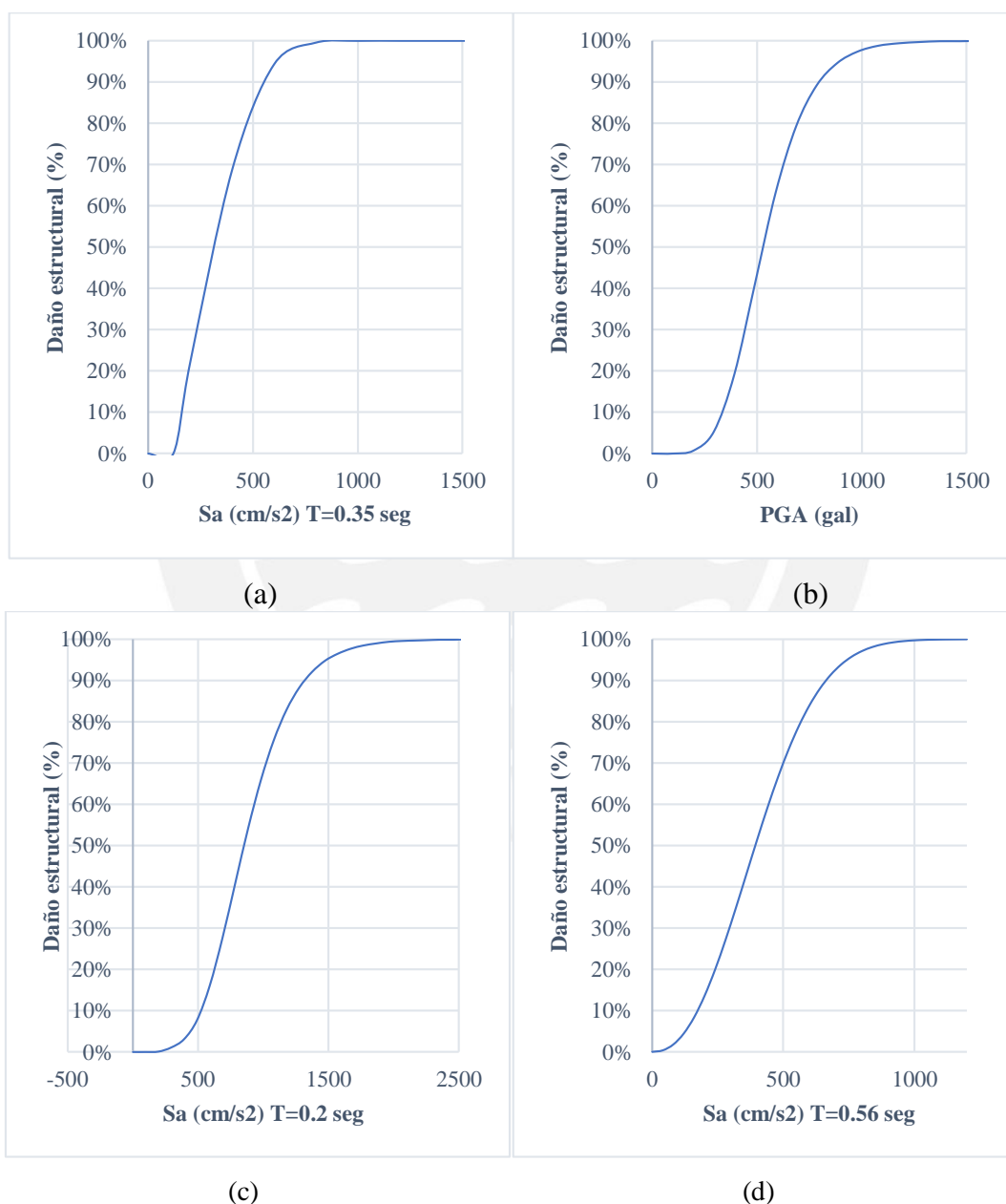


Figura 6.15. Función de Vulnerabilidad: a) Vivienda de adobe, b) Vivienda de albañilería de 1 piso, c) Vivienda de albañilería de 2 y 3 pisos, d) Vivienda de albañilería de 4 pisos a más. Fuente: (Consortio CIRNA-PUCP, 2014), (Lovon et al., 2018) y (Huamaní, 2019)

El estudio de Kuroiwa (2002), propone curvas de daño esperado para edificaciones típicas peruanas correspondiente a las intensidades de Mercalli. Con el fin de comparar la vulnerabilidad de una vivienda de adobe, se comparó con la curva número 1 que corresponde a adobe, se espera que el daño sea de 15% y 40% para un sismo de intensidad VII y VIII, respectivamente. Para el caso de vivienda de albañilería de un piso, se comparó con la curva número 4 que corresponde albañilería reforzada de calidad media, se espera que el daño sea de 5% y 10% para un sismo de intensidad VII y VIII, respectivamente.

Desarrollo de las funciones de fragilidad de escombros

Usando el marco de PBEE adaptado por Mesta et al., (2020), se analizó cada uno de los tres componentes de manera independiente y desarrollando la Ecuación (4) obtenemos las curvas de fragilidad de escombros.

Primero, analizamos la distribución de daño para cada medida de intensidad $dG(de|is)$. Para ello se partió de las funciones de vulnerabilidad de Consorcio CIRNA-PUCP, (2014), Lovon et al., (2018) y Huamaní, (2019) que expresan el valor esperado o media de daño (en porcentaje) vs intensidad sísmica. Con los valores de la media y desviación estándar para cada valor de intensidad asumimos que el daño tiene una distribución de probabilidad de tipo Beta con parámetros a y b (estimados a partir de los valores de la media y la desviación estándar). Se obtuvo así valores a y b de la distribución Beta, para cada nivel de intensidad y para cada nivel de daño.

Segundo, analizamos la distribución de estado de daño para cada medida de daño $dG(ed|de)$. Para este segundo componente se evaluaron 3 escalas de daño, estas fueron las propuestas por ATC, (1985) con algunas modificaciones, HAZUS-99 (1999) y GEM Fundación por Yepes-estrada & Silva, (2017), que consideran cuatro estados de daño Leve, Moderado, Extenso y Completo, y se añadió el nivel Nulo, tal y como se muestra en la Tabla 6.8.

Tabla 6.9. Valores de daño estructural (%) por estado de daño

Autor	Nulo	Leve	Moderado	Extenso	Completo
ATC-13	0	0-10	10.1-30	30.1-80	80.1-100
HAZUS-99	0	2	10	44.7	100
GEM Foundation	0	5	25	60	100

Posteriormente se calculó la probabilidad de que se produzca un daño (0-100) para cada estado de daño (Nulo, Leve, Moderado, Extenso o Completo).

Finalmente, para la evaluación de la distribución de la fracción de escombros para cada estado de daño $G(DF|ed)$ se usó el enfoque propuesto por HAZUS (2014) donde las tipologías de nuestro estudio fueron asociados a las tipologías de HAZUS. Entonces se asoció las viviendas de ladrillo con “*Reinforced masonry bearing walls with precast concrete diaphragms (RM2)*” y las viviendas de adobe con “*Unreinforced masonry bearing walls (URM)*” (Mesta et al., 2017). Este enfoque estima dos tipos de escombros. Primero los estructurales que abarca a las piezas pequeñas de fácil limpieza, como ladrillo, mortero, adobe, barro y madera; y a las piezas grandes que necesitan romperse en pedazos pequeños antes de su eliminación como partes de acero y concreto; segundo los componentes no estructurales que abarca a restos de mortero de cemento como piezas pequeñas. Los valores de fracción de escombros (%) propuestos en HAZUS y recopilados por Mesta et al., (2020) se muestra en la Tabla 6.9.

Tabla 6.10. Fracción de escombros (%) por tipología, estado de daño y material

Estado de daño	Vivienda de albañilería			Vivienda de adobe
	Componentes estructurales		Componentes no estructurales	Componentes estructurales
	Piezas pequeñas	Piezas grandes	Piezas pequeñas	Piezas pequeñas
Nulo	0	0	0	0
Leve	5	0	1	5
Moderado	25	3	7	25
Extensivo	60	30.5	35	55
Completo	100	100	100	100

Dado que las tablas proporcionan valores medios de la fracción de escombros se consideró una desviación estándar $\sigma = k \mu(1-\mu)$ y $k=0.40$ para calcular los valores de a y b de una distribución beta para luego generar valores de la distribución por cada estado de daño y por cada porcentaje de escombros.

Por último, las curvas de fragilidad de escombros, donde la fracción de escombros esta expresada en porcentaje (%) y la intensidad sísmica en PGA (gal); fueron calculadas para cada tipo de vivienda y tipo de componente. Estas curvas se

muestran en la Figura 6.16. Con respecto a la forma de las curvas se puede notar algunos tramos horizontales, esto ocurre porque los estados de daño fueron considerados de manera discreta (Mesta et al., 2020).

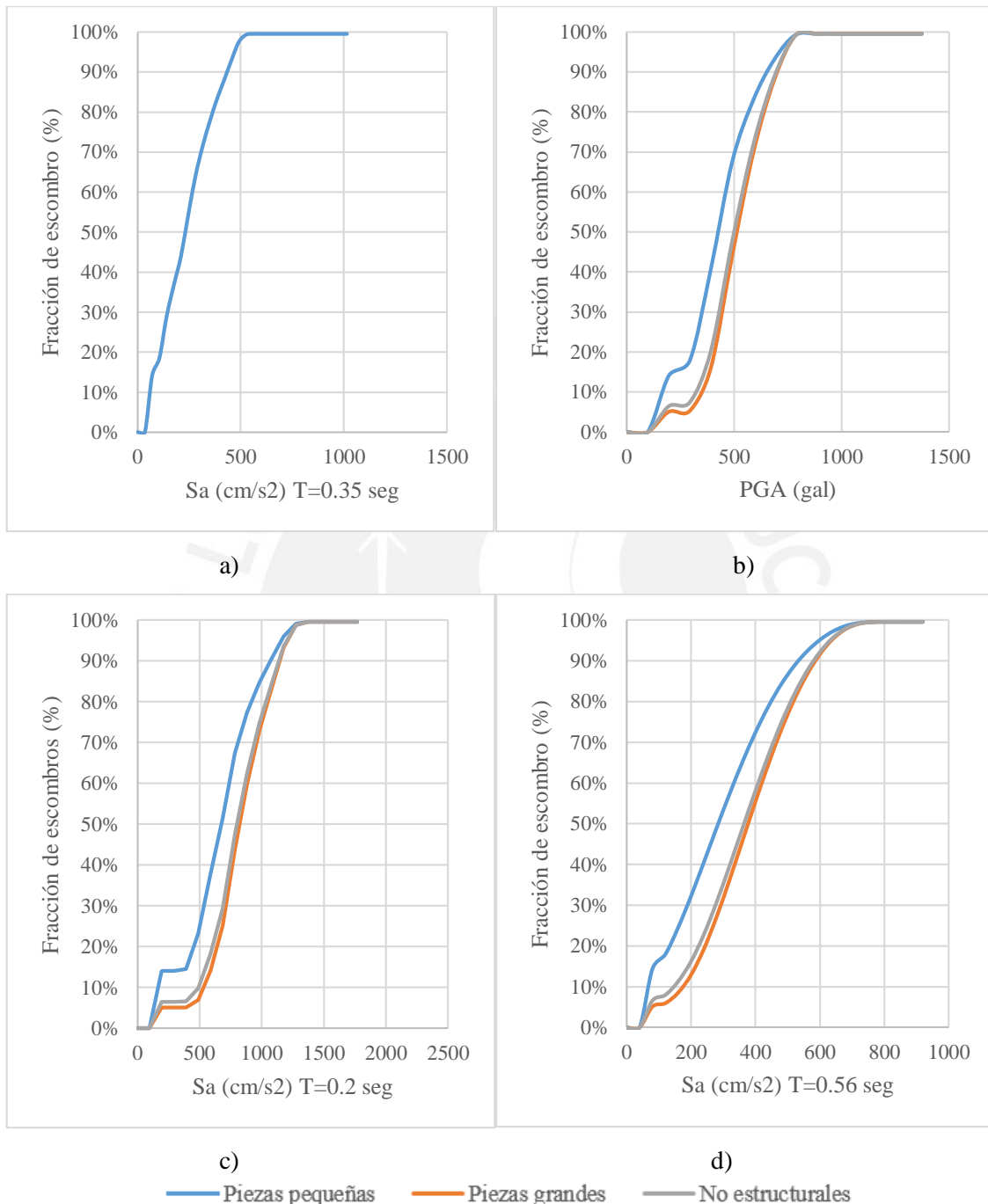


Figura 6.16. Curvas de fragilidad de escombros: a) Vivienda de adobe, b) Vivienda de albañilería de 1 piso, c) Vivienda de albañilería de 2 y 3 pisos, d) Vivienda de albañilería de 4 pisos

7. RESULTADOS

7.1. Stock de material de construcción

El stock estimado de la zona del río Seco es de 329.7 mil toneladas, en el año 2020. La población de la zona del río Seco de este estudio es de aproximadamente 7,153 habitantes, entonces el stock de materiales per cápita es 46 ton/cap.

Por un lado, el stock está conformado principalmente por concreto (49.7%) que equivale a 163.8 mil toneladas, seguido por el adobe (14.2%) que equivale a 46.9 mil toneladas y el ladrillo (12.5%) que equivale a 41.3 mil toneladas como se observa en la Figura 7.1. Por otro lado, los materiales orgánicos como la madera, yeso y teja de arcilla conforman un pequeño porcentaje del stock (1.7%).

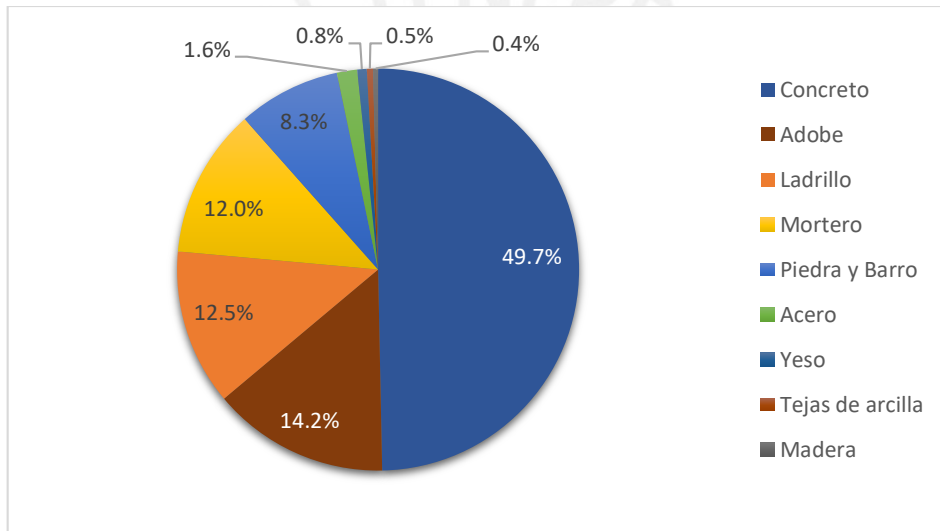


Figura 7.1. Porcentaje de los componentes en el stock total

Con respecto a las tipologías estudiadas en la Figura 7.2, podemos observar que la mayor parte del stock está conformado por las viviendas de ladrillo (75.9%) con 250.1 mil toneladas y las viviendas de adobe (24.1%) con 79.6 mil toneladas.

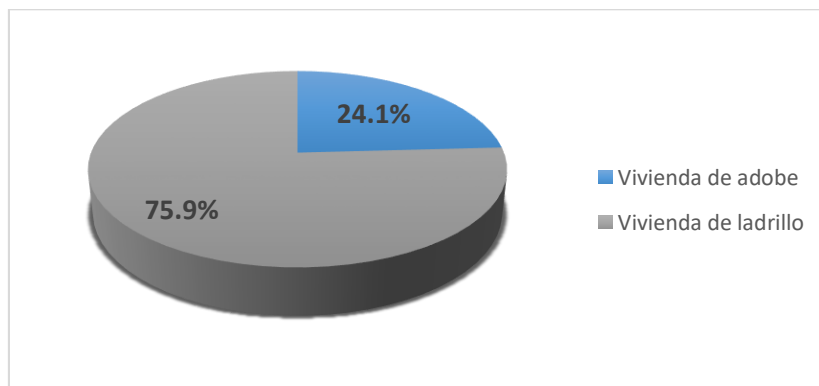


Figura 7.2. Porcentaje de stock por tipología

El stock total calculado abarca los materiales de la superestructura y de la cimentación, para la estimación de pérdidas solo está expuesto el stock de la superestructura que es de 216.2 mil toneladas.

Una manera de tener una mejor visualización y comprensión de cómo ha crecido la zona y donde se presenta mayor stock de materiales mediante la distribución espacial, donde podemos observar la distribución del stock por material de material como el concreto, ladrillo y adobe, el material predominante en muros, número de pisos y la distribución de stock total de materiales.

La distribución del material ladrillo y concreto se observan en la Figura 7.3 y 7.4 donde se observa que la concentración de estos materiales es ligeramente mayor en la margen izquierda. Esto quiere decir que las viviendas que han invadido la margen izquierda están optando por construir viviendas de albañilería. Se puede observar también que en la zona A con tipo de suelo blando, la mayor parte de las viviendas son de ladrillo.

La distribución del material adobe, en la Figura 7.5, se puede apreciar que hay un escenario contrario ya que la margen derecha del cauce presenta mayor distribución de adobe. Esto puede deberse a la antigüedad de estas viviendas ya que los márgenes del río comenzaron a ocuparse por la margen derecha y en los últimos años la invasión ha crecido por la margen izquierda. Otro punto importante que podemos notar es la poca presencia de adobe en la zona D, la zona más alta caracterizada por la accesibilidad de recursos para la construcción de viviendas de adobe, pero se observa que se está perdiendo la práctica de construcciones de adobe y los albañiles se están dedicado a las obras de ladrillo y cemento.

La distribución respecto al material predominante de la Figura 7.6 se observa se puede comprobar que la margen izquierda se presenta ligeramente mayor distribución de ladrillo y la margen derecha se presenta mayor distribución de adobe. En cuanto al número de pisos, en la Figura 7.7 se observa que en la zona D la mayoría de viviendas poseen de 1 a 3 pisos, mientras que la zona C presenta viviendas hasta de 4 pisos. Finalmente, en la Figura 7.8 se observa que la distribución del stock total con una ligera concentración en la margen derecha.



Figura 7.3. Distribución espacial de la intensidad de material en las edificaciones en la zona del río Seco. LADRILLO (Ton/m²)

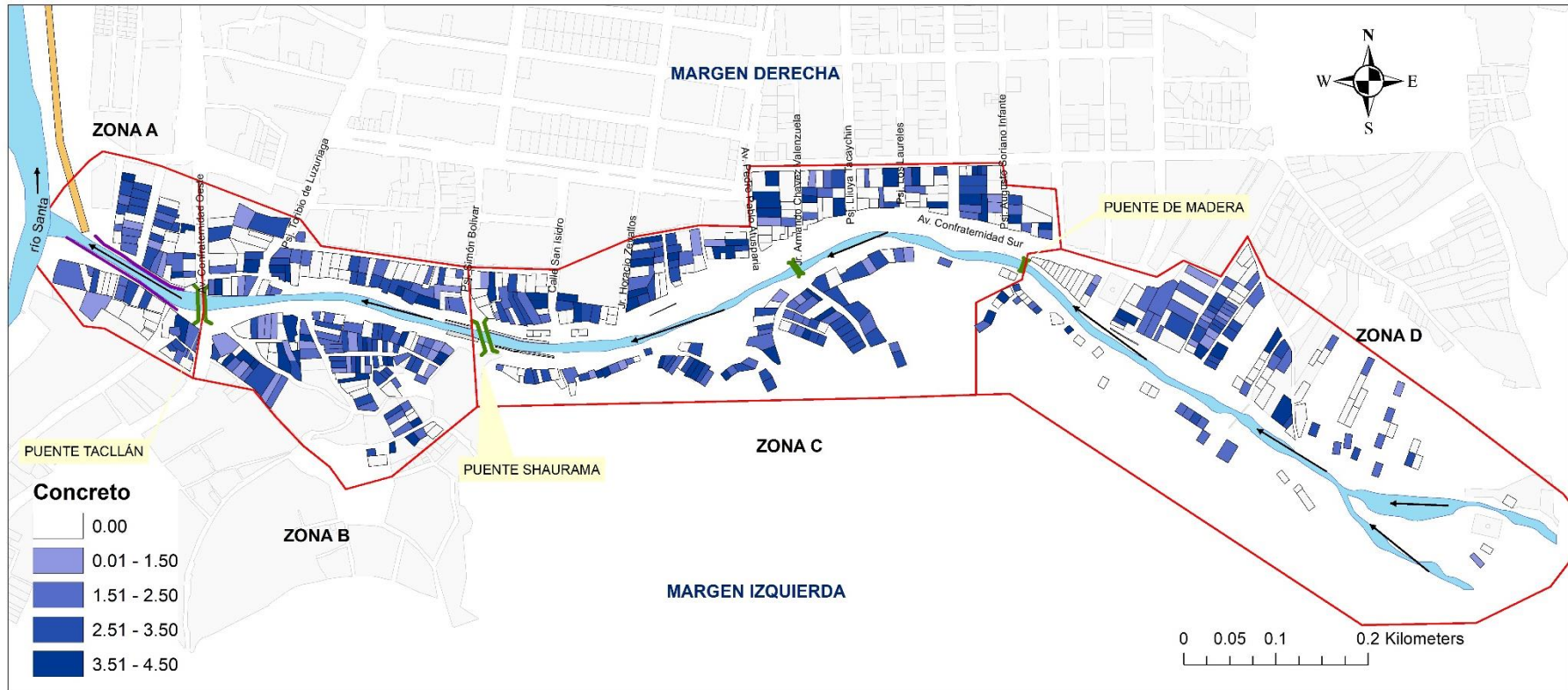


Figura 7.4. Distribución espacial de la intensidad de material en las edificaciones en la zona del río Seco. CONCRETO (Ton/m^2)

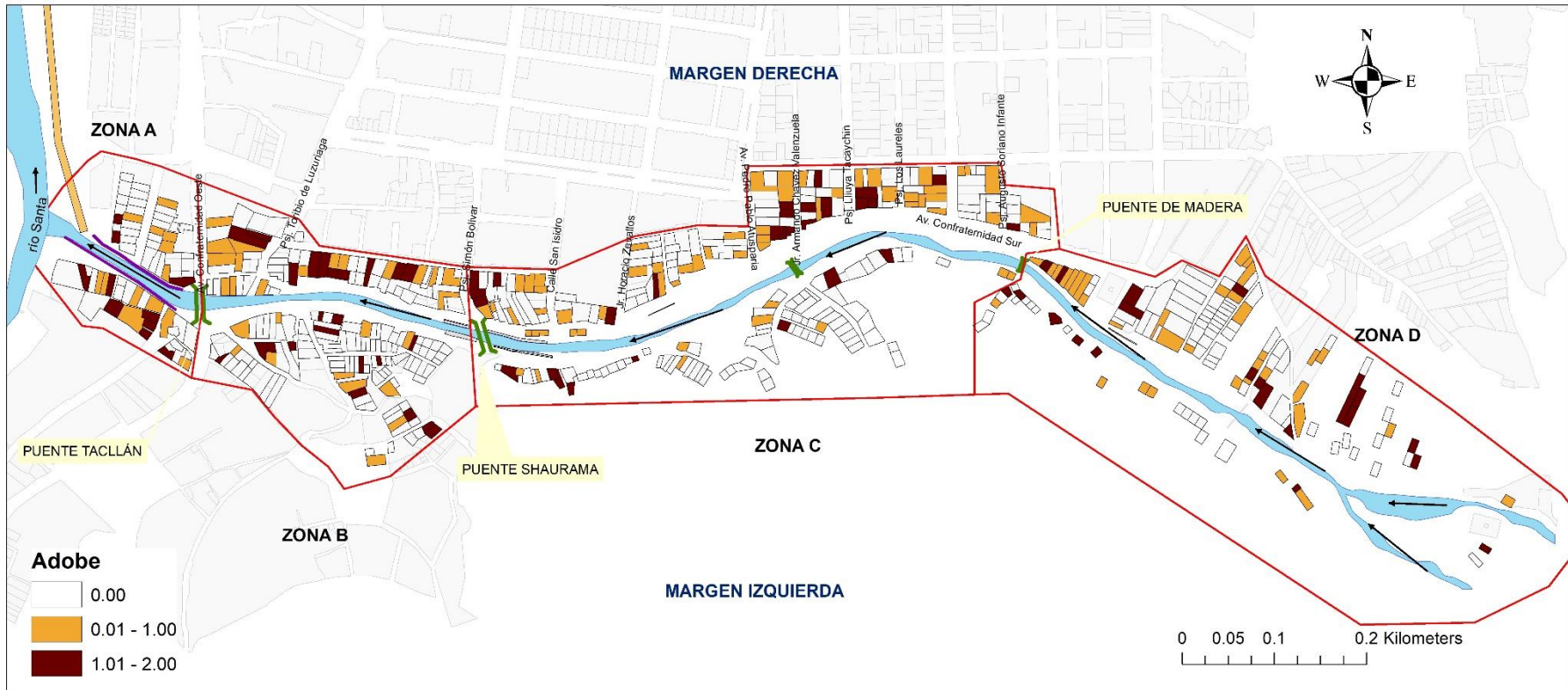


Figura 7.5. Distribución espacial de la intensidad de material en las edificaciones en la zona del río Seco. ADOBE (Ton/m²)

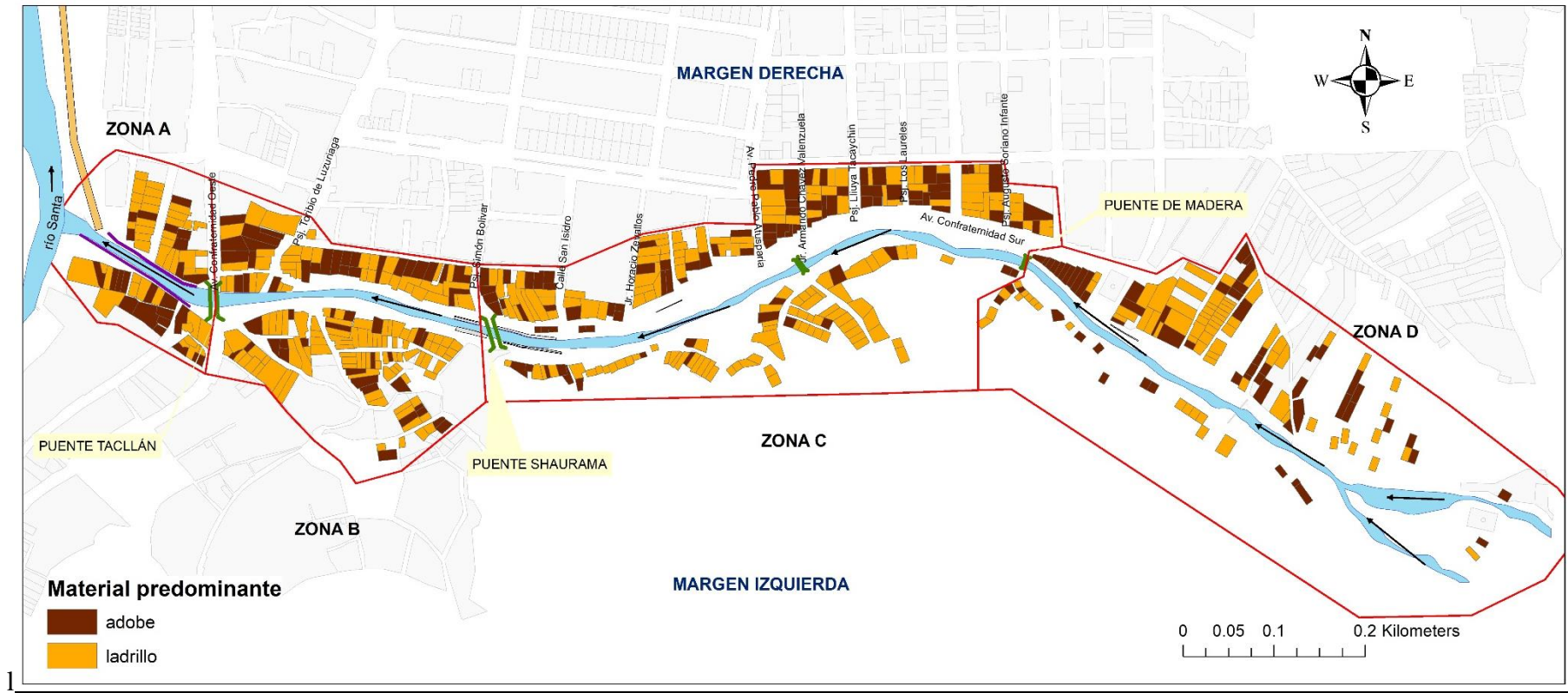


Figura 7.6. Distribución espacial del material predominante en las edificaciones en la zona del río Seco

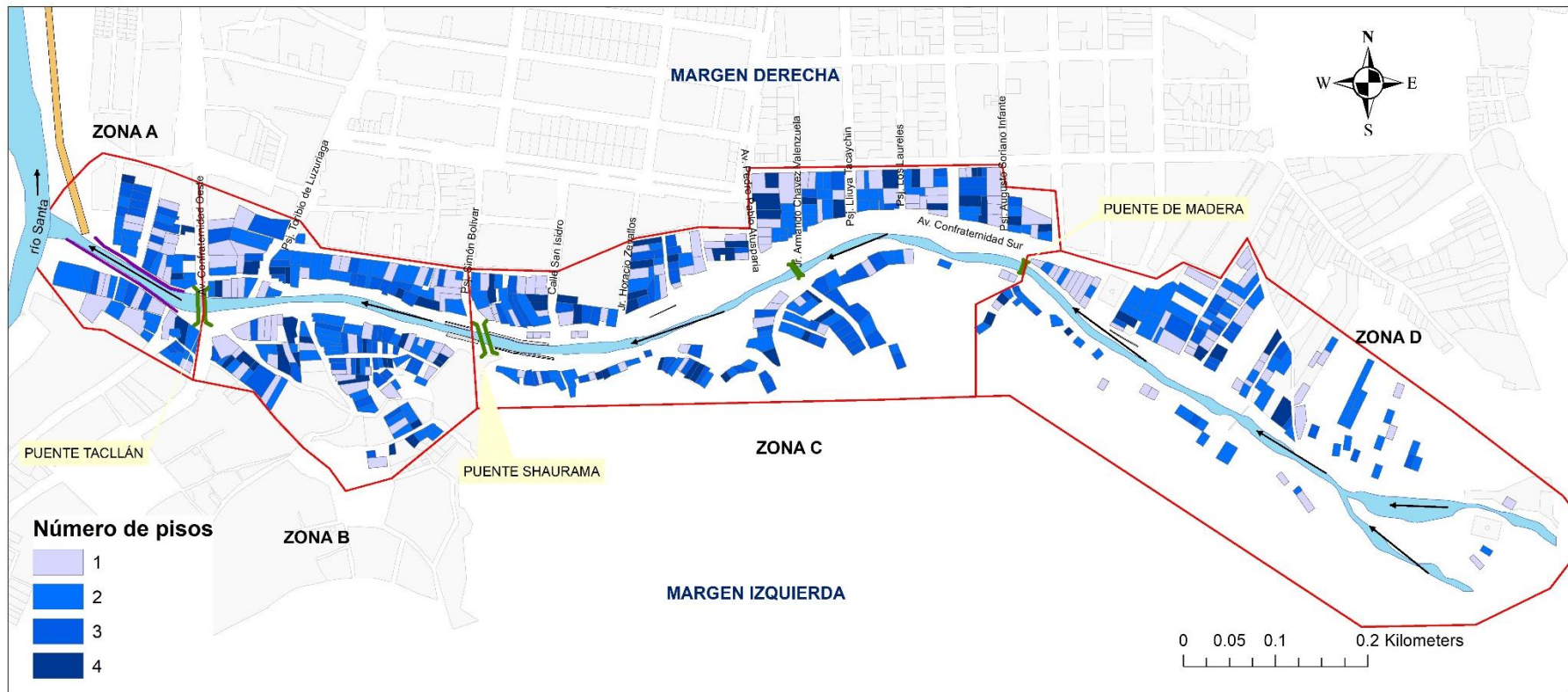


Figura 7.72. Distribución espacial del número de pisos de las edificaciones en la zona del río Seco

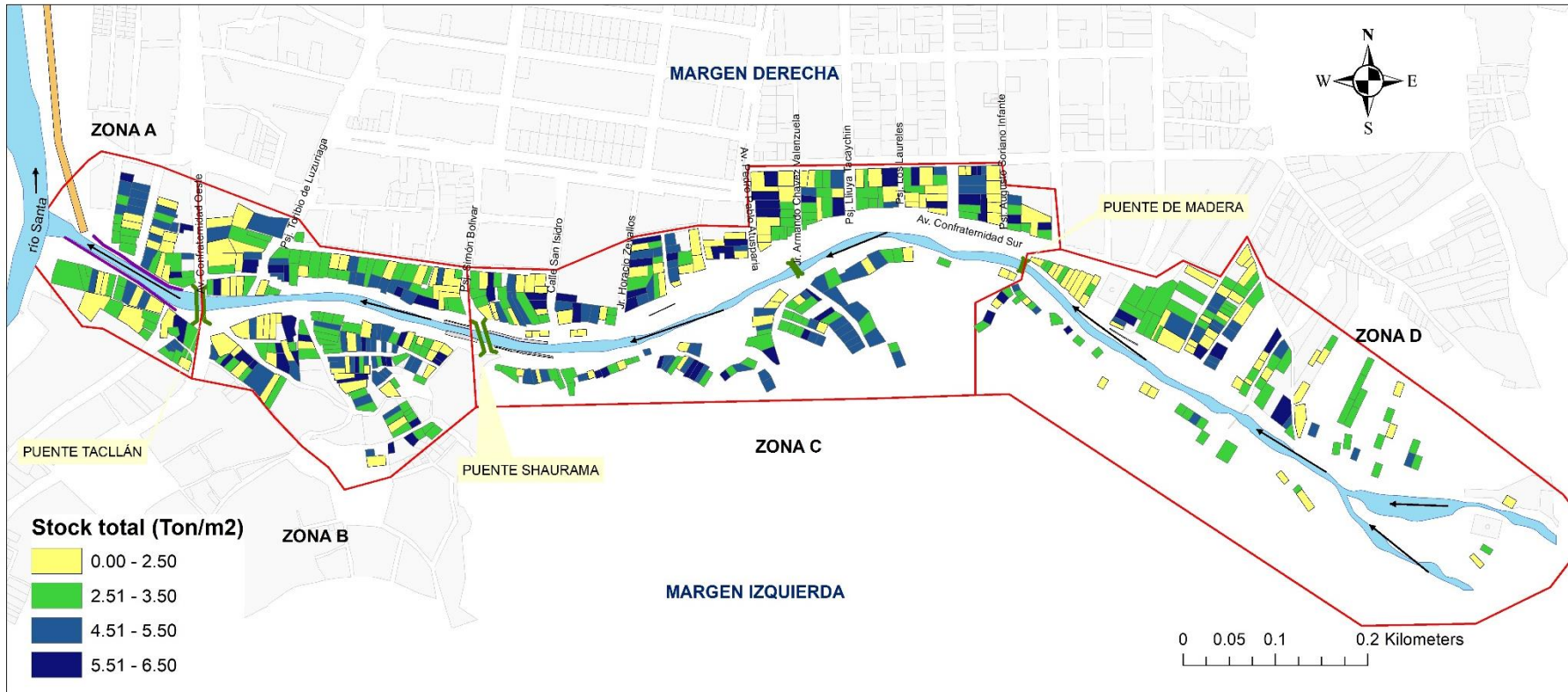


Figura 7.8. Distribución espacial del Stock de material de construcción de las edificaciones en la zona del río Seco (Ton/m²)

7.2. Evaluación del riesgo sísmico basado en escenarios

El análisis de riesgo sísmico en la plataforma CAPRA-GIS dió como resultado el porcentaje de escombros de cada vivienda para los escenarios seleccionados. En las Figuras 7.9 y 7.10 se muestran el porcentaje de escombros que son las pérdidas con respecto al stock de materiales de construcción. En los mapas podemos apreciar que las viviendas de la margen derecha presentan mayores porcentajes de escombros. Además, en la Tabla 7.1 se presenta los rangos de porcentaje de escombros para las diferentes tipologías y escenarios, donde las viviendas de adobe presentan mayores porcentajes. Además, en la Tabla 7.2 nos muestra el nivel de daño estructural de las tipologías donde efectivamente las viviendas de adobe son las que presentan mayores niveles de daños.

Tabla 7.1. Porcentaje de escombros de las viviendas por tipología y escenario

Escenario Tr=45 años				
Daño estructural	Tipología			
	ADOB	ALB1	ALB2	ALB3
Mínimo	48.6%	2.1%	11.0%	17.7%
Máximo	57.5%	7.0%	15.7%	45.5%
Escenario Tr=100 años				
Daño estructural	Tipología			
	ADOB	ALB1	ALB2	ALB3
Mínimo	53.7%	8.2%	15.1%	20.6%
Máximo	63.1%	12.2%	16.5%	50.9%

Tabla 7.2. Nivel de daño estructural de las viviendas por tipología y escenario

Escenario Tr=45 años				
Daño estructural	Tipología			
	ADOB	ALB1	ALB2	ALB3
Mínimo	32.1%	0.5%	3.1%	11.7%
Máximo	41.2%	1.1%	6.0%	38.2%
Promedio	37.2%	0.8%	4.3%	19.6%
Desviación estándar	3.4%	0.2%	1.2%	8.8%
Escenario Tr=100 años				
Daño estructural	Tipología			
	ADOB	ALB1	ALB2	ALB3
Mínimo	36.6%	5.6%	8.2%	16.0%
Máximo	46.9%	8.0%	10.2%	46.2%
Promedio	42.2%	6.6%	9.1%	24.1%
Desviación estándar	3.6%	1.0%	0.8%	9.4%

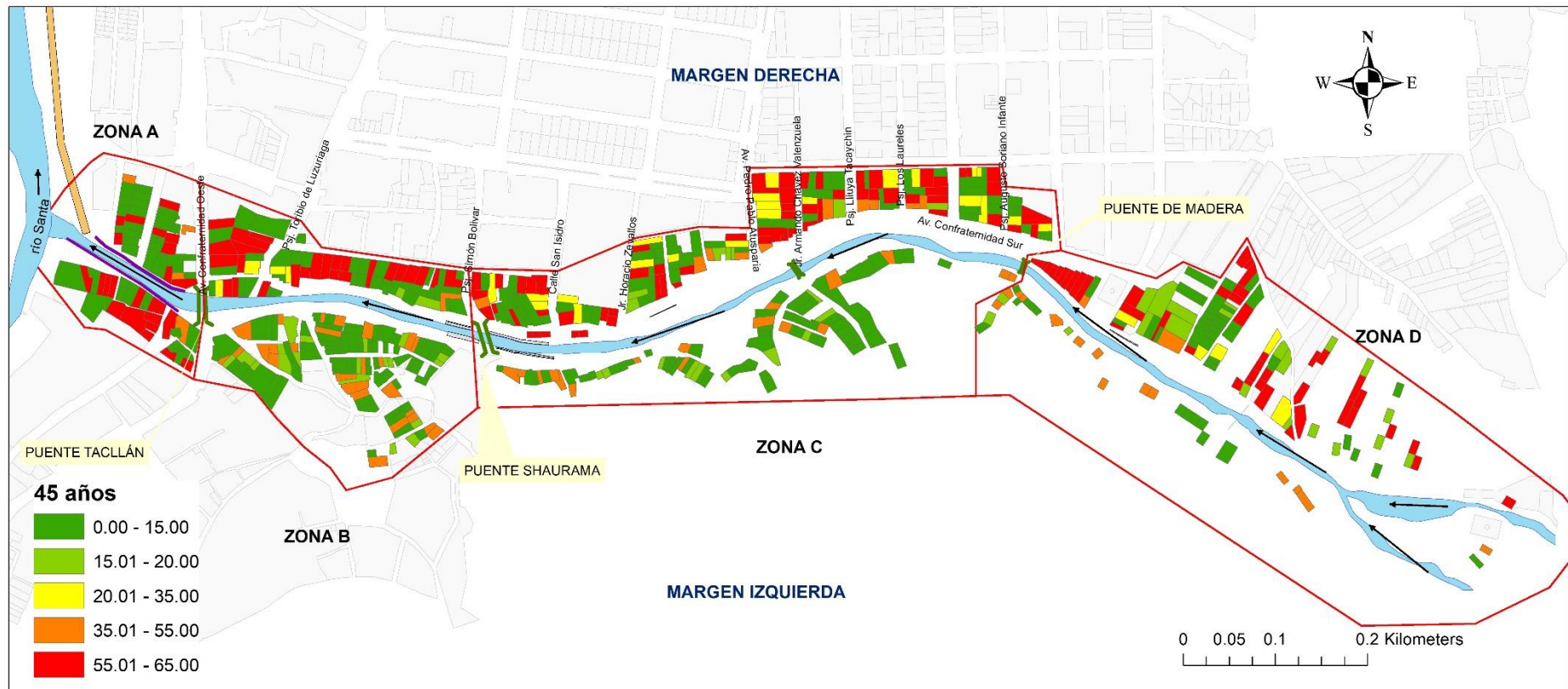


Figura 7.9. Distribución espacial de los escombros con respecto al stock de materiales en las edificaciones de la zona del río Seco de Huaraz. Escenario 45 años (%)

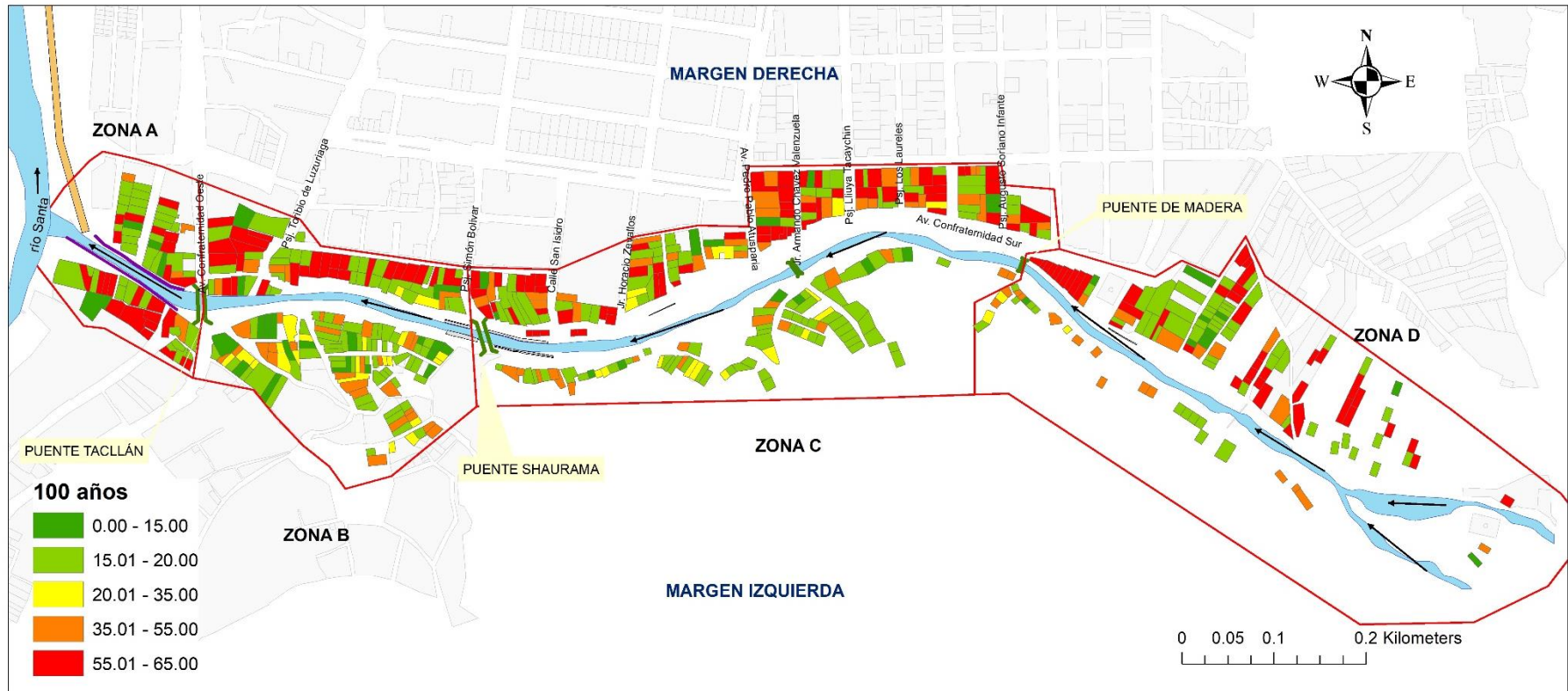


Figura 7.103. Distribución espacial de los escombros con respecto al stock de materiales en las edificaciones de la zona del río Seco de Huaraz. Escenario 100 años (%)

7.3. Pérdidas en el stock de materiales de construcción o volumen de escombros probables

7.3.1. Pérdidas del stock de materiales por el tipo de material de construcción

Las pérdidas también se pueden expresar por el tipo de material de construcción, según la Figura 7.11, se observa que las mayores pérdidas están conformadas por los materiales adobe y concreto con 25.41 y 9.24 miles de toneladas para el escenario 45 años, y con 27.74 y 13.66 miles de toneladas para el escenario 100 años, respectivamente.

Las pérdidas de ladrillo también contribuyen en importantes cantidades y representa el 10.02 y 11.62 miles de toneladas para el escenario 45 años y el escenario 100 años, respectivamente.

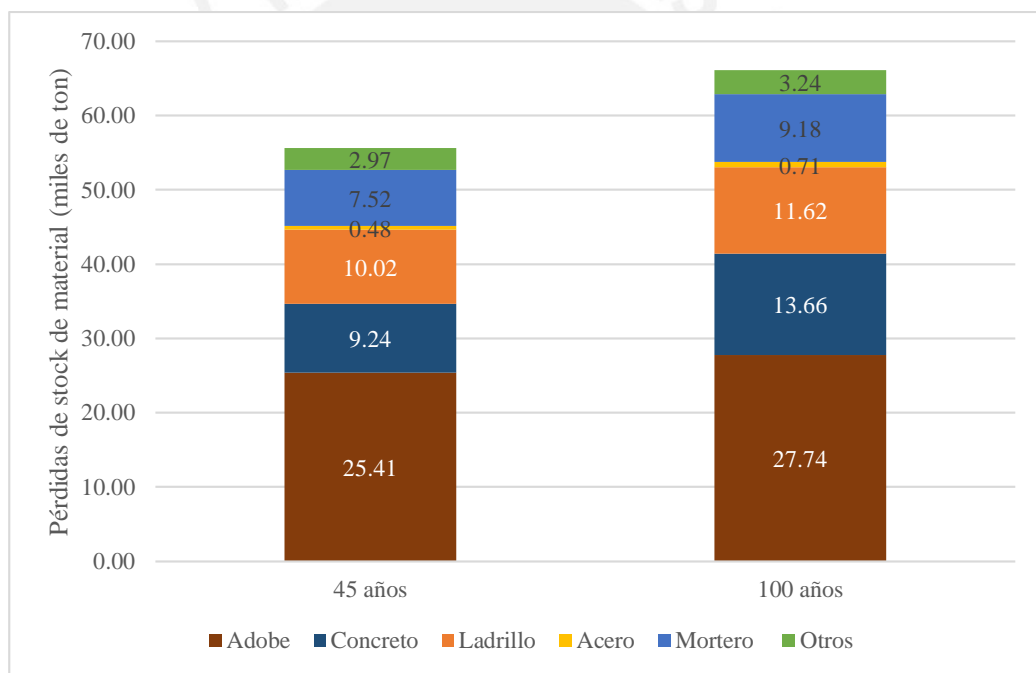


Figura 7.11. Pérdidas del stock de materiales por el tipo de material de construcción

7.3.2. Pérdidas materiales por tipología

El valor esperado de las pérdidas de materiales por las cuatro tipologías consideradas en este estudio se muestra en la Figura 7.12, donde las pérdidas totales son 55.6 mil toneladas y 66.1 mil toneladas y una ratio de 0.27 y 0.33 ton/m² construido, para el escenario 45 años y para el escenario 100 años, respectivamente. También se observa que la tipología ADOB contribuye en mayor cantidad a las pérdidas con 28.4 y 31 mil toneladas seguido de la tipología ALB2 con 13.5 y 18.4 mil toneladas en el escenario

45 años y 100 años, respectivamente. Además, hay que recordar que hay mayor cantidad de viviendas de estas tipologías.

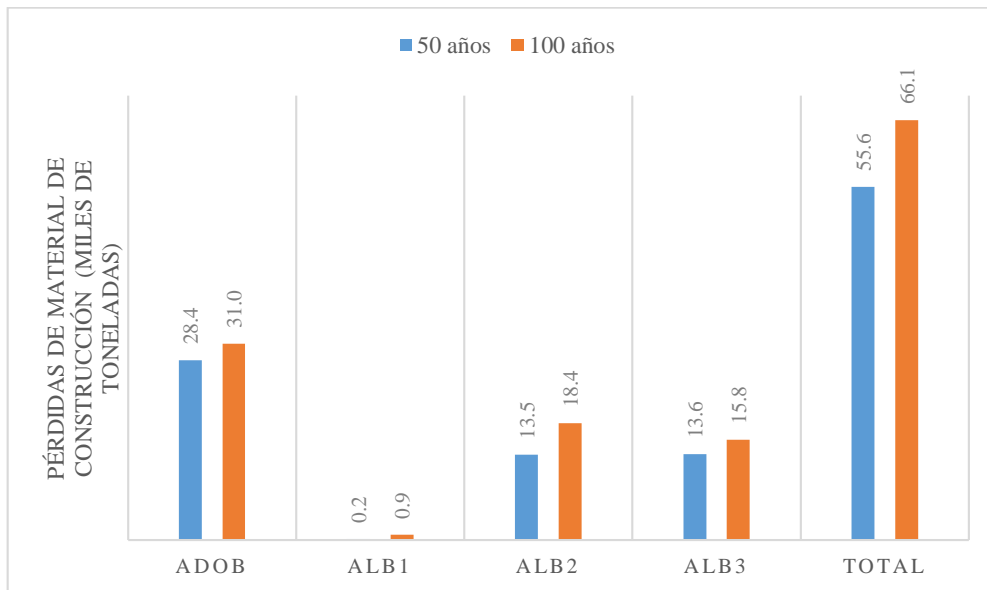


Figura 7.12 Pérdidas de material de construcción por tipología y por escenarios

Comparando con el stock expuesto total de 216.2 mil toneladas, las pérdidas de materiales del escenario de 45 años representa el 25.7% del mismo y 30.6% del escenario 100 años.

Para las viviendas de albañilería con tipologías ABL1, ALB2 y ALB3 el stock de materiales es de 8.2, 107.4 y 48.2 mil toneladas respectivamente, las pérdidas de materiales en el escenario de 45 años de periodo de retorno representan el 3%, 12.5% y 28.1% respectivamente; y en el escenario de 100 años de periodo de retorno representa el 10.9%, 17.1% y 32.9% respectivamente. Sobre todo, la tipología ALB3 presenta mayores pérdidas.

En el caso de las viviendas de adobe el stock inicial es de 52.4 mil toneladas, las pérdidas de materiales en el escenario de 45 años de periodo de retorno representa el 54.2% y el 59.2% para el escenario de 100 años de periodo de retorno.

Posteriormente la estimación de los escombros generados en unidades de masa (toneladas) fueron convertidas a unidad de volumen (m^3) mediante el factor de conversión de 1.6 que se encuentra dentro del rango de conversión entre (1.53-3.06) propuestos por FEMA, (2010). Entonces en la Figura 7.13 se observa que el valor esperado del volumen de escombros total es de 89 mil m^3 para el escenario de 45 años y 105.8 mil m^3 para el escenario de 100 años.

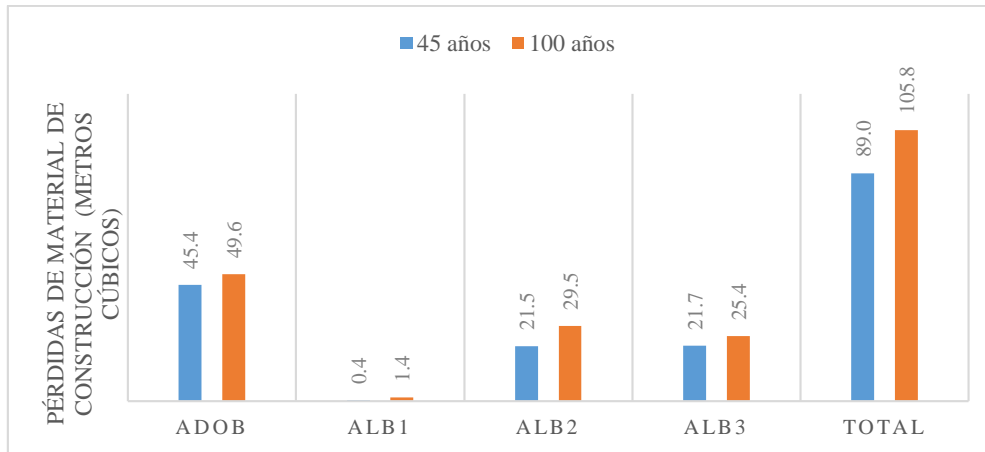


Figura 7.13. Pérdidas de material de construcción expresadas en miles de m³

Según la Figura 7.14 para el escenario de 45 años se obtiene pérdidas de 145 m³/vivienda y 172 m³/vivienda para el escenario de 100 años. En cuanto a las tipologías ABL1, ALB2 y ALB3, para el escenario de 45 años las pérdidas son 8 m³/vivienda, 81 m³/vivienda y 285 m³/vivienda respectivamente; y 31 m³/vivienda, 110 m³/vivienda y 334 m³/vivienda respectivamente para el escenario de 100 años. En cuanto a las viviendas de adobe, para el escenario de 45 años, las pérdidas son 203 m³/vivienda y 221 m³/vivienda para el escenario de 100 años. Entonces se obtiene mayor volumen de escombros de las tipologías ALB3 y ADOB en ambos escenarios.

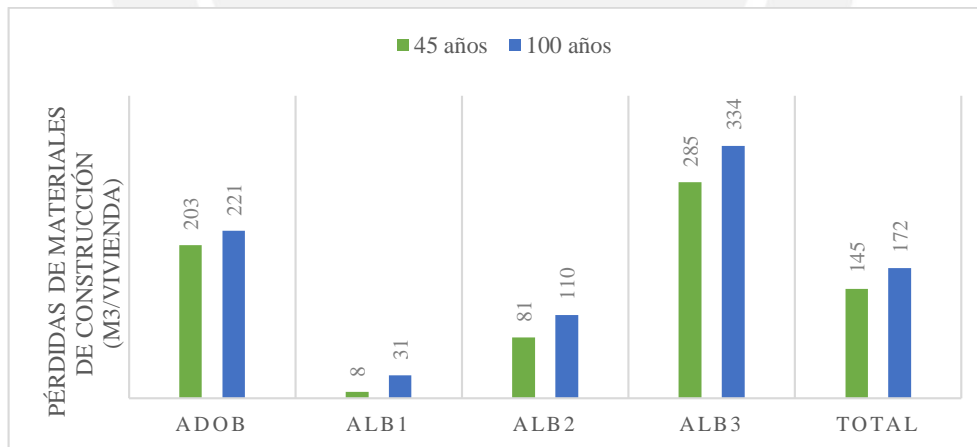


Figura 7.14. Pérdidas de material de construcción expresadas en m³/ vivienda

Los valores expresados en ton/vivienda también son importantes y expresan la cantidad de escombros en toneladas por vivienda, estos se observan en la Figura 7.15, donde para el escenario de 45 años es de 90.6 ton/vivienda y 107.7 ton/vivienda para el escenario de 100 años. Estos valores pueden ser útiles para calcular un monto aproximado de escombros para toda la ciudad de Huaraz.

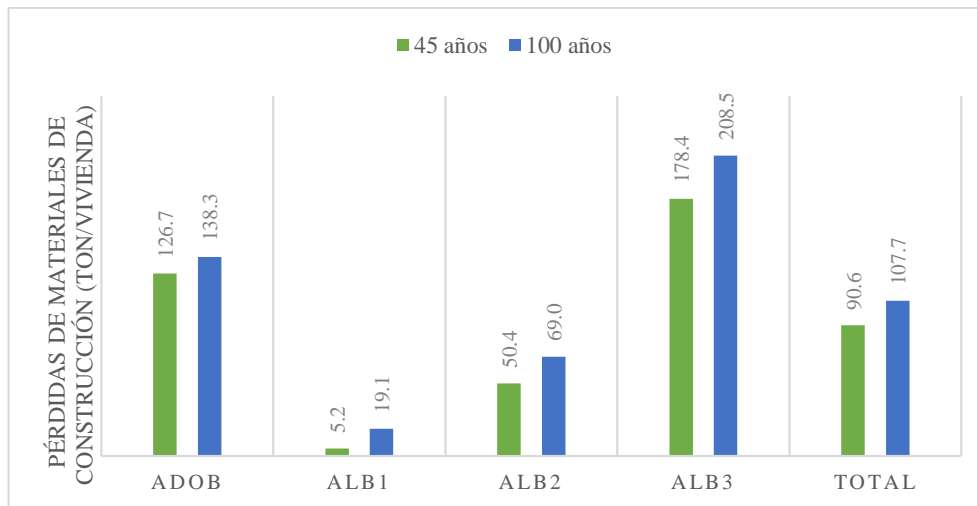


Figura 7.15. Pérdidas de material de construcción expresados en ton/ vivienda

Finalmente, el resultado del análisis estadístico de la prueba t de Student de la media de dos muestras que son los escenarios de 45 años y 100 años de periodo de retorno se muestra en la Tabla 7.3. En la tabla, el valor “P(T<=t) dos colas” es menor a 0.05, entonces existe diferencias significativas, lo que significa que las muestras fueron bien modeladas y el resultado es confiable.

Tabla 7.3. Prueba t de la media de los escenarios estudiados

	45 años	100 años
Media	83.9238191	103.471236
Varianza	8137.78565	10546.5716
Observaciones	614	614
Coefficiente de correlación de Pearson	0.99776046	
Diferencia hipotética de las medias	0.05	
Grados de libertad	613	
Estadístico t	-34.5614342	
P(T<=t) una cola	2.287E-146	
Valor crítico de t (una cola)	1.64734317	
P(T<=t) dos colas	4.574E-146	
Valor crítico de t (dos colas)	1.96384144	

7.3.3. Distribución espacial de las pérdidas materiales

Gracias a la distribución espacial de las pérdidas se puede identificar las zonas más afectadas después de un sismo, es decir, las zonas que tendrían mayor cantidad de escombros después de un evento sísmico.

En las Figuras 7.16 y 7.17 se puede apreciar la distribución espacial de las pérdidas de materiales expresadas en ton/área construida de los escenarios estudiados. Se puede apreciar que las viviendas que presentan mayores pérdidas por área

construida son las que se encuentran ubicadas en la margen derecha del cauce y en la zona A donde el río desemboca en el río Santa. Esto se debe, por un lado, a que en la margen derecha hay mayor cantidad de viviendas de adobe que son altamente vulnerables a sismos por lo que proporcionan mayores cantidades de escombros, por otro lado, la zona A es una zona de suelo flexible y recibe mayores amplificaciones y debido a ello mayores pérdidas.

Al presentar mayores escombros en la margen derecha del cauce ocasionaría la interrupción de las vías principales y posiblemente se perdería el acceso a la margen izquierda. En la zona A se encuentra la av. Confraternidad que es una vía de acceso principal donde se encuentra el puente Taclán, si este colapsara se perdería el acceso principal a la ciudad de Huaraz.

Comparando la Figura 7.17 y 7.19 algunos lotes presentan mayores valores cuando esta expresado en Ton/m² y presenta menores valores cuando se expresa en Ton, esto se debe al área techada pequeña donde hay más cantidad de escombros por m² construido y ocurrirá lo contrario cuando el área construida es más grande habrá menos escombros por m² construido.

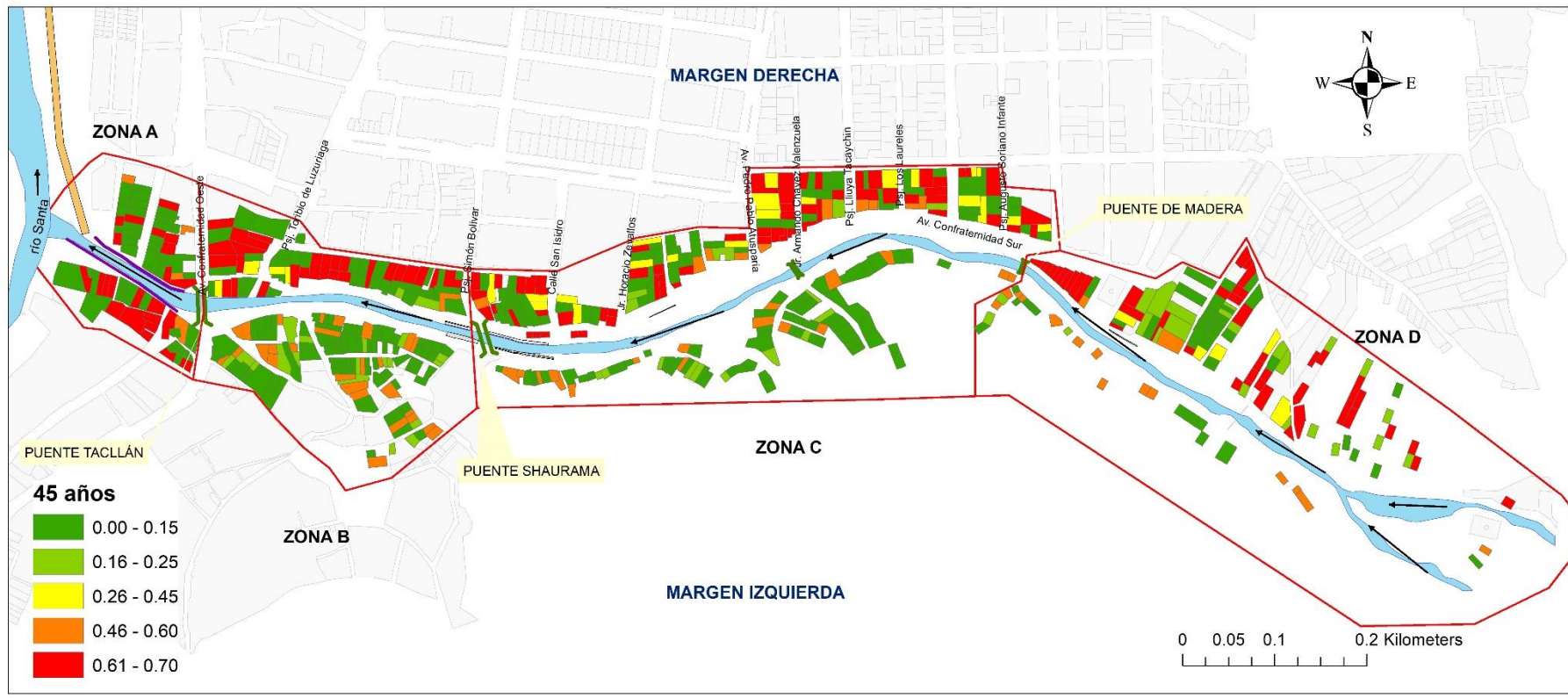


Figura 7.16. Distribución espacial de las pérdidas de materiales por área construida en las edificaciones de la zona del rio Seco de Huaraz. Escenario 45 años Ton/m²

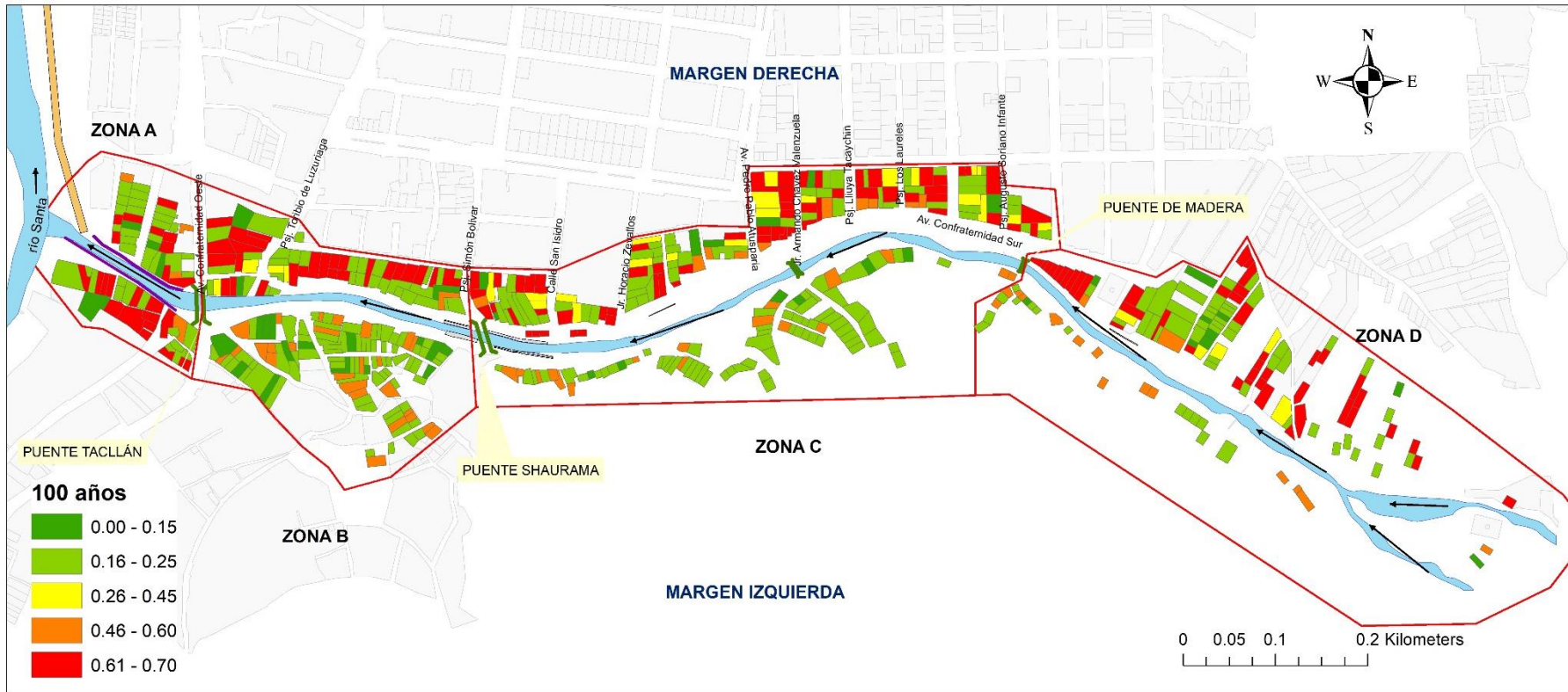


Figura 7.17. Distribución espacial de las pérdidas de materiales por área construida en las edificaciones de la zona del río Seco de Huaraz. Escenario 100 años Ton/m²



Figura 7.18. Distribución espacial de las pérdidas de materiales en las edificaciones de la zona del río Seco de Huaraz. Escenario 45 años (Toneladas)

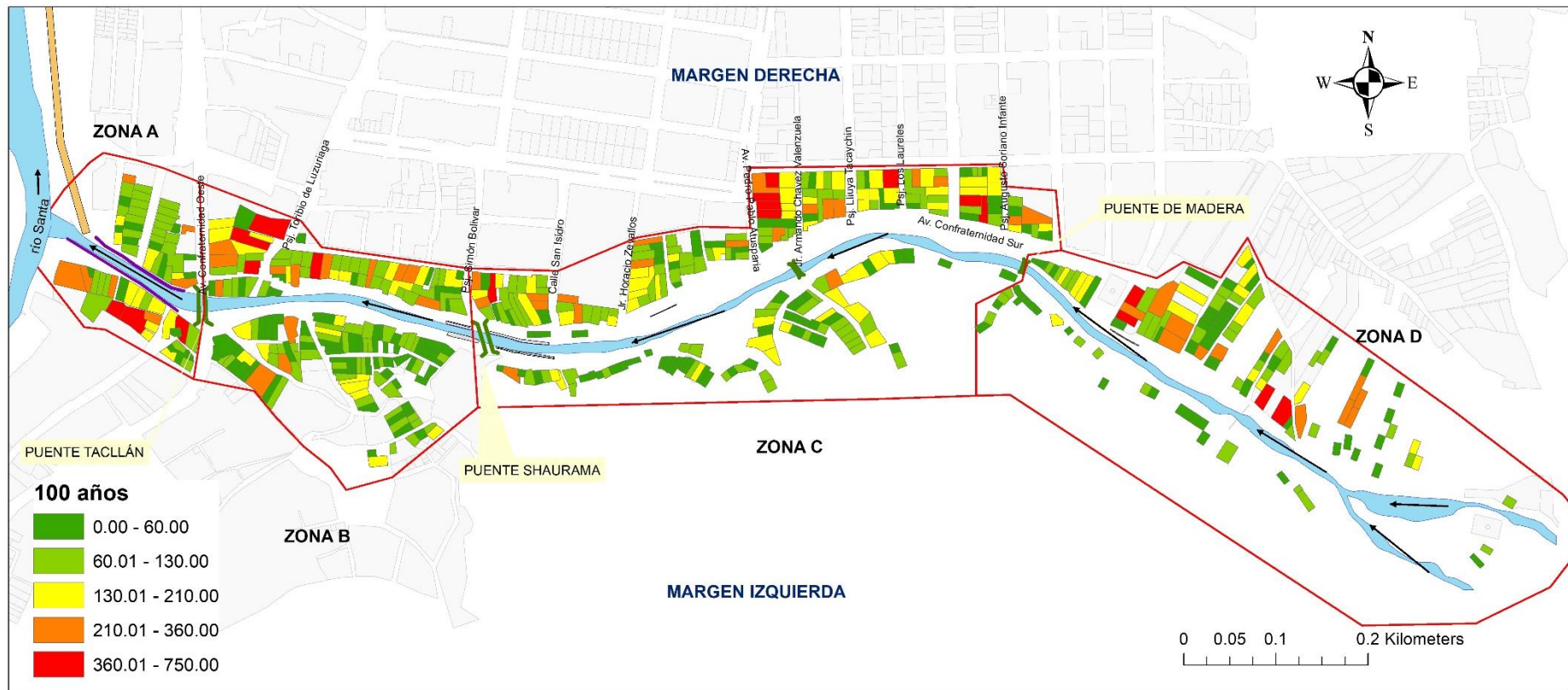


Figura 7.19. Distribución espacial de las pérdidas de materiales en las edificaciones de la zona del río Seco de Huaraz. Escenario 100 años (Toneladas)

7.4. Análisis de flujo de materiales

En la Figura 7.20 se presenta el análisis de flujo de materiales para el concreto del escenario 100 años de periodo de retorno para visualizar las entradas y salidas de materiales durante las etapas pre y posdesastre. En los últimos años, la zona del río Seco ha tenido un crecimiento urbano donde ha ido almacenando una cantidad de 163,766 ton de concreto que se encuentra contenido en las viviendas de albañilería. Ante la ocurrencia de un evento sísmico un porcentaje del stock se convierte en escombros donde se generaron 13,657 ton de escombros de concreto. Posterior a ello estas pérdidas deben pasar por un manejo de escombros por medio de actividades de recolección, almacenamiento y disposición final. En la etapa de almacenamiento los escombros deben pasar por una clasificación y luego el reciclaje. Para este ejemplo podemos considerar que el 30% de estos escombros, 4,097 ton, son reciclados y el 70%, 9,560 ton, pasan a disposición final.

En la actualidad, el botadero principal de la ciudad de Huaraz recibe diariamente 150 ton diarias. La cantidad de escombros de concreto que iría a disposición final sería 9,560 ton que es mucho mayor a lo que recibe diariamente el botadero. Debemos tener en cuenta que ante un eventual sismo no solo habría escombros en la zona del río Seco sino en toda la ciudad de Huaraz lo que la cantidad de escombros sería mucho mayor. Por lo tanto, esta situación nos hace ver la importancia de elaborar planes de manejo de escombros y evitar que estos terminen en el cauce del río.

Para la etapa de reconstrucción es necesario reemplazar parcial o totalmente la vivienda dañada por lo que es necesario una cantidad de 22,534 ton de concreto. Por un lado, este monto es mayor que los escombros generados debido a que consideramos que las viviendas de adobe serían reemplazadas por viviendas de ladrillo. Por otro lado, la cantidad de escombros de adobe, 27,738 ton, pueden ser reutilizados y reconstruirse nuevamente una vivienda de adobe siempre y cuando estas viviendas se construyan siguiendo los lineamientos de la norma E.080 y mejor si cuentan con algún tipo de reforzamiento antisísmico ya que es muy probable que la población vuelva a construir viviendas de adobe ya que no demanda de muchos recursos económicos, genera gran demanda de mano de obra y puede aliviar la actual desocupación y recesión económica.

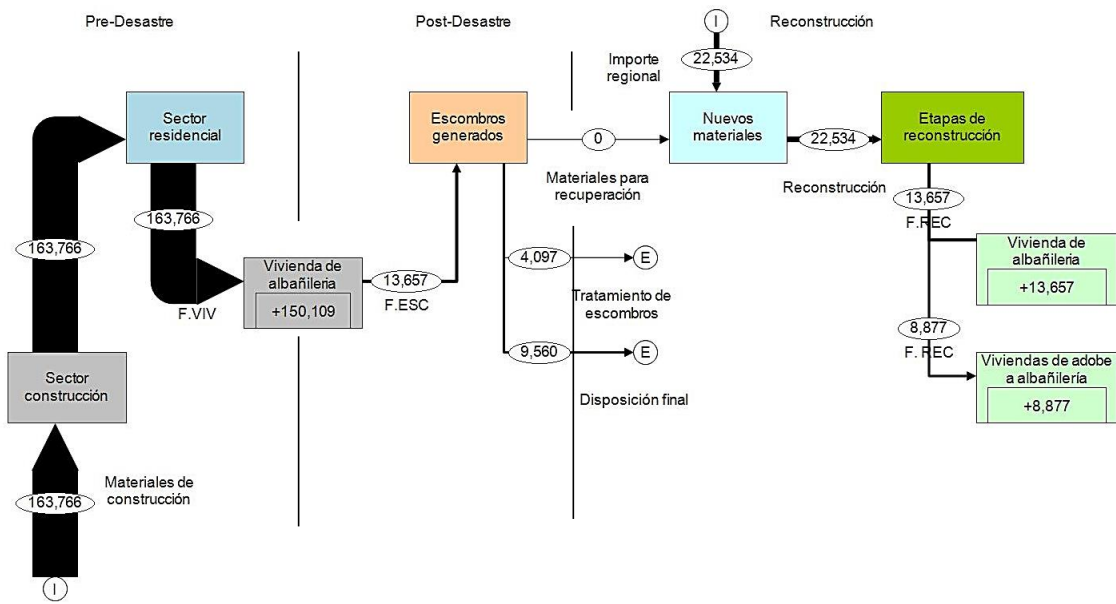


Figura 7.20. Análisis de flujo de materiales: Concreto (Ton), Escenario 100 años

7.5. Recomendaciones para el manejo de escombros en la zona del río Seco

A continuación, en la Figura 7.21 se presentan las actividades de manejo de escombros en una línea de tiempo que incluye las fases de predesastre y posdesastre ante un sismo.

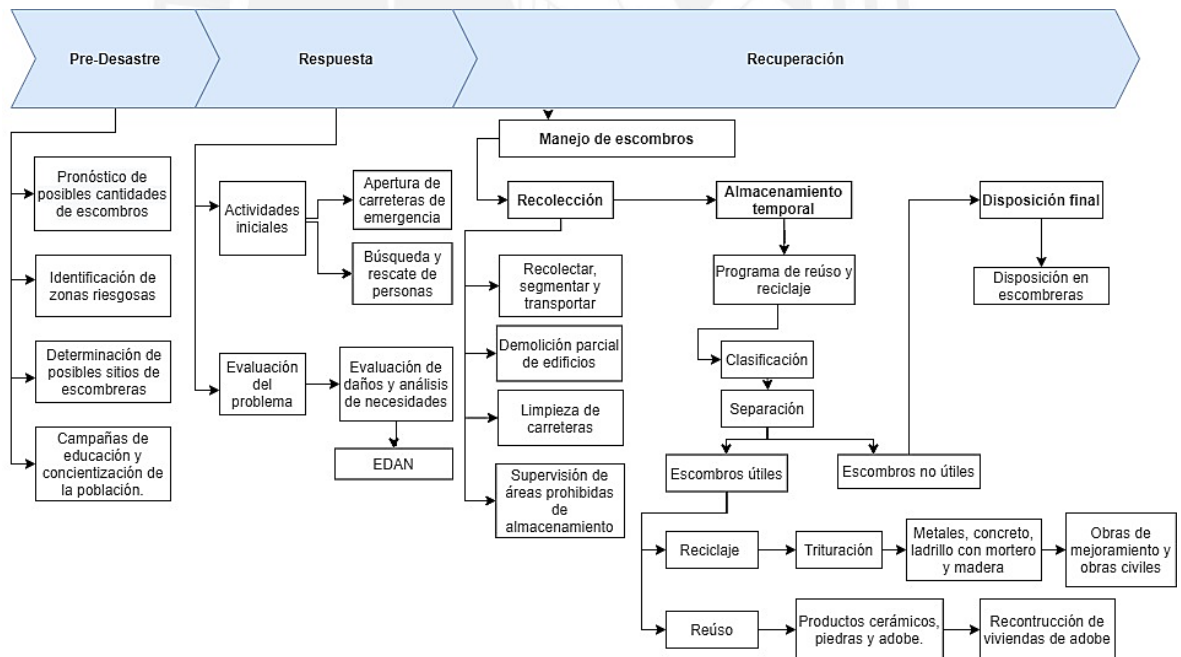


Figura 7.21. Diagrama de las fases pre y postsismo para el manejo de escombros

Es de suma importancia tener un plan de manejo de escombros para anticipar la ubicación de materiales de alto riesgo, identificar sitios de almacenamiento temporal y escombreras, y planificar las actividades para el aprovechamiento de escombros.

Pre-desastre

Antes de que ocurra un desastre se requiere que cada ciudad determine posibles escenarios de desastre para así pronosticar las posibles cantidades de escombros. Co base a estos pronósticos se identificas zonas vulnerables, posibles zonas de escombreras.

Se debe realizar campañas de educación y concientización a la población sobres los efectos que traerían si los escombros son vertidos en el cauce de un río en caso de sismo y en caso de inundación. Gestionar planes de reforzamiento de viviendas para reducir la vulnerabilidad. También campañas de educación sobre el reciclaje y reúso de las pérdidas de materiales de construcción y para la reconstrucción charlas sobre la correcta construcción de viviendas de adobe y los tipos de reforzamiento ante sismo.

Respuesta

Esta fase se da las actividades iniciales de respuesta inmediata de remoción de escombros más agudos con el objetivo de facilitar el rescate y salvar vidas por parte de los residentes locales y oficiales de emergencias. Ya que cualquier otra consideración en esta etapa es secundaria.

Se debe realizar una evaluación de daños y análisis de necesidades de la zona del desastre (EDAN) para determinar la gravedad de los efectos del desastre para la toma de decisiones con las autoridades correspondientes. Considerar que se deba incluir una estimación aproximada de los escombros.

Recuperación

Recolección

- Establecer protocolos para conocer los materiales que se puede aprovechar, determinar el equipo necesario para la recolección y el transporte, el valor aproximado de los materiales recuperados y el mercado para colocarlos (Organización Panamericana de la Salud, 2003).
- Capacitar a la población para que clasifiquen los escombros in situ para disminuir costos en el transporte. Tener en cuenta que los escombros calculados de este estudio solo escombros de materiales de construcción.

- La recolección se puede dar en el marco de un programa de trabajo dirigido los residentes locales que quieran ayudar en los trabajos de limpieza de las viviendas afectadas.
- Debe evitarse depositar los escombros en el cauce del río. Para ello la municipalidad debe implementar una ordenanza municipal con una multa de 1 UIT e internamiento temporal del vehículo (Flores, 2019).
- Trabajos de encausamiento en la quebrada del río Seco y limpieza de cunetas.
- Durante los periodos de lluvias se debe establecer un estricto control de erosión que prevenga el paso de sedimento de suspensión hacia los cuerpos naturales de agua.
- Se debe levantar información sobre los títulos de propiedad porque si en un futuro se necesita dar apoyo o dar el aporte de los beneficios de un bono.

Transporte

- Implementar estrategias de rutas de transporte priorizando las zonas más afectadas. En la zona del río Seco las zonas más afectadas son la margen derecha y la zona oeste (zona A) donde se encuentra la av. Confraternidad que es una vía principal de acceso.
- El tiempo de viaje que tomaría hacia una posible zona de escombrera en Huamarín sería de 30 minutos (solo ida) y consideramos un tiempo de carga y descarga de 10 minutos. Si consideramos que un ciclo de viaje consiste en:

$$T_{\text{ciclo}} = T_{\text{carga}} + T_{\text{ida}} + T_{\text{descarga}} + T_{\text{regreso}}$$

$$T_{\text{ciclo}} = 10 + 30 + 10 + 30 = 80 \text{ min}$$

Teniendo como base el Informe de viaje de evaluación del sismo en Moquegua (Sandoval, 2001), donde usaron 18 volquetes de 15 m^3 para remover $66,000 \text{ m}^3$ de escombros por 20 días con 10 horas de trabajo por día.

Entonces, si trabajan 10 horas por día, el número de viajes sería 6

$$\frac{10 * 60}{80} = 7.5 = 8 \text{ viajes por día}$$

Si un volquete tiene la capacidad de 15 m^3 , entonces 1 volquete en 1 día podrá transportar:

$$n^{\circ} \text{ viajes} * \text{cap. del volquete} * n^{\circ} \text{ volquete} = 8 * 15 * 1 = 112.5 \text{ m}^3$$

Si son 18 volquetes en 1 día:

$$n^{\circ} \text{ viajes} * \text{cap. del volquete} * n^{\circ} \text{ volquete} = 8 * 15 * 18 = 2025 \text{ m}^3$$

Si el 30% de los escombros se reciclan o reutilizan, el 70% pasaría la disposición final, $74,060 \text{ m}^3$. Entonces el número de días necesarios para transportar los escombros a la disposición final será:

$$\text{Si } 18 \text{ volquetes en } 1 \text{ día transportan } \rightarrow 2025 \text{ m}^3$$

$$18 \text{ volquetes en } X \text{ días transportarán } \rightarrow 74,060 \text{ m}^3$$

$$X = \frac{74,060}{2025} = 36.6 = 37 \text{ días}$$

Para estimar la cantidad de cargadores frontales de 3 m^3 de capacidad, tomando en cuenta un ciclo de trabajo de 1.3 min, una eficiencia de 90% y 10 horas de trabajo al día. Tenemos que:

$$\text{Tiempo efectivo por día} = 10 * 60 * 0.9 = 540 \text{ min}$$

$$n^{\circ} \text{ de } \frac{\text{ciclos}}{\text{día}} = 1.3 * 540 = 415 \text{ ciclos al día}$$

Entonces el rendimiento del cargador sería:

$$R_{\text{cargador}} = 415 * 3 \text{ m}^3 = 1246 \text{ m}^3/\text{día}$$

Y el rendimiento del volquete es:

$$R_{\text{volquete}} = 112.5 \text{ m}^3/\text{día}$$

Entonces para calcular el número de volquetes por un cargador, tenemos que:

$$1 \text{ volq} \rightarrow 112.5 \text{ m}^3$$

$$X \rightarrow 1246 \text{ m}^3$$

$$X = 11 \text{ volquetes por } 1 \text{ cargador}$$

Por lo tanto, se usarían 18 volquetes de 15 m^3 de capacidad y 2 o 3 cargadores frontales con lampones de 3 m^3 de capacidad como en el caso de Moquegua. El número de volquetes y el número de días puede variar, pero tampoco se debe estimar una gran cantidad de volquetes porque ocasionaría congestión vehicular. En el caso de la ciudad de Huaraz usando la ratio de $172 \text{ m}^3/\text{vivienda}$ y según el censo 2017 el número de viviendas en Huaraz de 15,430. Llegaría a generar aproximadamente 2.7 millones de m^3 ante un sismo de periodo de retorno 100 años llegando a generar preocupación porque la cantidad abismal de escombros sería difícilmente manejable.

Por lo tanto, es mejor pensar en opciones de reforzamiento de viviendas para disminuir la vulnerabilidad de estas y también tener diversas opciones de reciclaje

y reúso que disminuyan en gran medida la totalidad de los escombros generados por sismo.

Almacenamiento temporal

Ubicación de almacenes temporales

- No usar áreas destinadas para otros usos considerados en el mapa de zonas seguras y rutas de evacuación ante aluviones en Huaraz (Proyecto glaciares, 2016), como por ejemplo el Parque Perú ubicado a 350 metros aproximadamente del cauce del río Seco destinado como centro de acopio, el Parque Law Tennis a 300 metros del cauce del río y el campo deportivo de la P.NP destinados como refugio temporal. Además, en el mapa de rutas de evacuación río Seco-Shaurama, Pedregal, Villón, Bellavista (ANA, 2015), se encuentran 5 zonas seguras ubicadas en las partes más altas de la margen izquierda, estas zonas no deben ser destinadas como almacenamiento temporal.
- Tampoco se debe usar áreas que afecten las rutas de evacuación como son la calle San Isidro, la av. Pedro Pablo Atusparia, la calle Túpac Amaru y la av. Confraternidad Sur que se encuentran en la margen derecha ni la av. Confraternidad Oeste que es una vía principal.

Operación de los sitios de almacenamiento temporal

- Establecer convenios con empresas privadas con interés en el reciclaje de residuos de construcción y demolición.
- Si se encontrara en épocas de lluvia se debería aprovechar el reciclaje y reúso de los escombros y programar el movimiento de tierras para periodos secos (Flores, 2019).
- Debe considerarse la posibilidad de que parte de la población decida reusar los adobes y reconstruir sus viviendas de adobe, pero para ello la población debe recibir capacitación sobre la correcta construcción de viviendas de adobe siguiendo los lineamientos de la norma E.080 y las propuestas de reforzamiento.

Disposición final

Ubicación de sitios de disposición final o escombreras

- Tomando las consideraciones del estudio SIRAD (2011), una área mínima de 2 ha permite el almacenamiento de un volumen mínimo de 50,000 m³ asumiendo una altura promedio de 3 metros. Entonces, para albergar el 70% de escombros de la zona del río Seco ante un sismo de periodo de retorno 100 años, (74.1 mil m³ si el 30% es reciclado); el área aproximada de una escombrera sería de 3 ha.

$$2 \text{ ha} \rightarrow 50,000 \text{ m}^3$$

$$X \rightarrow 74,100 \text{ m}^3$$

$$X = 2.96 = 3 \text{ ha}$$

En el caso de la ciudad de Huaraz e Independencia usando la ratio de 172 m³/vivienda y según el censo 2017 el número de viviendas en Huaraz e Independencia es de 35,186. Llegaría a generar aproximadamente 6.1 millones de m³ ante un sismo de periodo de retorno 100 años. Entonces para albergar el 70% de los escombros sería necesario un área aproximada de 171 ha.

$$2 \text{ ha} \rightarrow 50,000 \text{ m}^3$$

$$X \rightarrow 4,270,000 \text{ m}^3$$

$$X = 170.8 = 171 \text{ ha}$$

Siendo un área demasiado grande se recomienda que las viviendas sean reforzadas en la etapa pre desastre y en la etapa posdesastre que se reciclen los escombros hasta un 50% o más.

- El sitio de disposición final se debe localizar fuera de zonas de inundación, a una distancia de 500 m como mínimo. Y deben ubicarse en sitios no mayor a 25 km del centro de la zona de desastre (SEMARNAT, 2017).
- Debe contar con un estudio de impacto ambiental aprobado por la autoridad competente.
- Evaluar la propuesta de Flores, (2019), un lugar para una escombrera ubicado en Huamarín, un terreno privado que demandaría un costo de S/. 10.00 por m². Este se encuentra a 30 minutos del control policial de Taclán.
- Establecer un programa de mantenimiento de la cobertura final, con actividades para la recuperación de la vegetación y control de erosión.

7.6. Presentación de los resultados a la Municipalidad Provincial de Huaraz

La reunión virtual se realizó el 14 de octubre del 2021 con la Ing. Magda Maguiña Salazar, responsable de la oficina de Gestión de Riesgo de Desastres y Defensa Civil (Figura 7.22). En dicha reunión se presentaron los resultados del stock de materiales de construcción, pérdidas y mapeo de los materiales, el análisis de flujo de materiales y las recomendaciones para un plan de manejo de escombros. Por último, se realizó un panel de discusión.

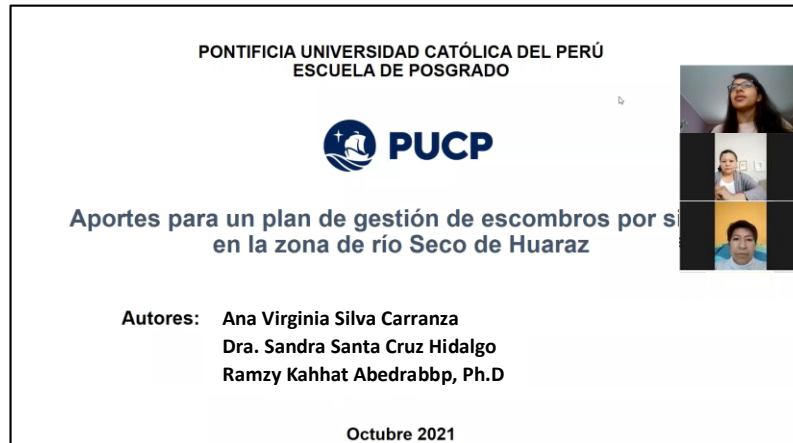


Figura 7.22. Captura de pantalla de la reunión virtual

La funcionaria indicó que los resultados son interesantes, de gran aporte y que el municipio tiene toda la voluntad de considerar las recomendaciones dadas. Con respecto a la propuesta de incentivo mencionó que era factible realizarse como también las campañas de concientización a la población. Además, que sería importante realizar otra reunión para informar sobre este trabajo a los demás funcionarios responsables en la gestión de riesgos naturales incluyendo al alcalde.

8. CONCLUSIONES

El stock total de materiales de construcción estimado de la zona del río Seco es de 329.7 mil toneladas, en el año 2020 y el stock de materiales per cápita es 46 ton/cap. Siendo el stock de material expuesto (superestructura) de 216.2 mil toneladas.

El nivel de riesgo es alto en la zona del río Seco, siendo las viviendas de adobe las que presentan altos índices de daño. Por lo tanto, el valor esperado de las pérdidas de materiales de construcción predice la generación de 55.6 y 66.1 miles de toneladas para los escenarios de periodo de retorno de 45 y 100 años y estas representan el 25% y 30% del stock de material de construcción expuesto, respectivamente. Estos resultados también fueron expresados en unidades de volumen de escombros, estimándose 89 mil m³ y 105.8 mil m³, con ratios de 0.27 ton/m² construido y 0.33 ton/m² construido para el escenario de 45 años y de 100 años respectivamente. Posteriormente, la distribución espacial muestra que las mayores acumulaciones de escombros se dan en la margen derecha y en la zona A (oeste), afectando la accesibilidad a la margen izquierda y afectando a una vía de acceso principal a la ciudad. Además, el análisis estadístico nos muestra que existe diferencias significativas entre las medias de las muestras (escenarios), lo que significa que las muestras fueron bien modeladas y el resultado es confiable.

Con el análisis de flujo de materiales del concreto se pudo estimar la cantidad de escombros para la disposición final encontrando que la ciudad de Huaraz no podría albergar tanta cantidad de escombros ya que sus botaderos están por colapsar. También se estimó el posible suministro de nuevos materiales de construcción en la etapa de reconstrucción. En cuanto al manejo de escombros en la etapa de reconstrucción, por un lado, el cálculo del número de maquinarias y días de transporte nos dice que se necesitarían más de un mes en transportar los escombros a la escombrera y solo de la zona del río Seco, además que la única vía principal (Puente Tacllán) para el transporte de volquetes probablemente se vea afectada. Por otro lado, es importante que la municipalidad analice más opciones de posibles sitios de escombreras. Ya que se estimó un área aproximada de 3 ha para los escombros de la zona del río Seco, pero al estimar una cantidad aproximada de los escombros de la ciudad de Huaraz resulta ser un problema mayor debido se necesitaría un área demasiado grande y resulta preocupante porque la municipalidad no cuenta con posibles zonas de escombreras aún.

Una vez obtenidas las herramientas, estas fueron expuestas ante una autoridad local encargada de la gestión de riesgos de la Municipalidad de Huaraz quienes demostraron interés en este tipo de estudio y en las recomendaciones presentadas para el manejo de escombros. Es necesario que las autoridades tomen las decisiones necesarias y urgentes para gestionar los escombros durante las fases de respuesta y reconstrucción ya que actualmente la ciudad de Huaraz no cuenta con posibles zonas de escombreras para escombros de sismo ni un plan de manejo de escombros posdesastre.

Finalmente, los resultados nos muestran que el nivel de riesgo es alto en la zona del río Seco que ocasiona gran cantidad de escombros mostrando que su manejo sería una tarea muy complicada no solo para esta zona sino para toda la ciudad de Huaraz. Es por ello que se reafirma la importancia de gestionar planes de reforzamiento de viviendas en la etapa de pre desastre, en especial a las viviendas de adobe que presentan altos índices de daño. Con ello se espera reducir la vulnerabilidad sísmica mediante técnicas de reforzamiento de muros propuestas, charlas de capacitación a la población sobre reforzamiento de viviendas y por último la toma de conciencia de la población ante los efectos que traería el depósito de escombros en el cauce del río.

Contrastando la hipótesis, las pérdidas de materiales de construcción ante un evento sísmico de tipo ocasional es el 30% del stock de material expuesto siendo ser menores a las planteadas en la hipótesis, pero aun así el resultado nos muestra que en la etapa posdesastre estas cantidades tendrían un manejo muy complicado y puede ser posible que se pueda generar peligros inducidos por la acción humana debido al depósito de escombros en el cauce después de un evento sísmico de tipo ocasional.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ANA. (2015). *Mapa de rutas de evacuación río Seco-Shaurama, Pedregal, Villón, Bellavista-Huaraz.*
- ANA. (2016). *Diagnostico Sub Cuenca río Seco.*
- ANA. (2017). *Mapa de ubicación de poblaciones vulnerables por activación de la quebrada Río Seco del centro poblado Pedregal - Shaurama - Villón Alto y Bajo - Chuna Mará - Bellavista, departamento de Ancash.*
- ATC-13. (1985). Earthquake damage evaluation data for California. *Atc-13*, 492. <http://nisee.berkeley.edu/elibrary/Text/S22323>
- Ayres, R, Ayres, L. (2002). *A handbook of industrial ecology.* Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.
- Brown, C., & Milke, M. (2009). *Planning for disaster debris management.* 1–9.
- CENEPRED. (2015). *Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales.*
- COEN, & INDECI. (2021). *Reporte Complementario N° 239-14/1/2021/COEN-INDECI/18:15 horas. Precipitaciones pluviales en el Distrito de Huaraz-Ancash.*
- Consorcio CIRNA-PUCP. (2014). *Reporte 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.*
- Consorcio ERN América Latina. (2011). *Tomo I. Metodología de modelación probabilista de riesgos naturales.*
- Cornell, C. A. (1968). *Engineering seismic risk analysis. Bulletin of the Seismological Society of America.*
- Cucchi, C. (2021). *Caracterización geoespacial del stock de materiales en edificios de ciudades altoandinas: caso de estudio de Abancay, Perú.*
- Domaneschi, M., Paolo, G., & Scutiero, G. (2019). A simplified method to assess generation of seismic debris for masonry structures. *Engineering Structures*, 186(May 2018), 306–320. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.092>
- Federal Emergency Management Agency – FEMA. (1999). *HAZUS 99 – Earthquake Loss Estimation Methodology. Technical Manual.*
- FEMA-Federal Emergency Management. (2014). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology-Earthquake Model, HAZUS-MH MR5.*
- FEMA. (2007). *Public assistance debris management guide. Federal Emergency Management Agency. July.*
- FEMA. (2010). *Debris Estimating Field Guide. Federal Emergency Management Agency (FEMA), September.* https://www.fema.gov/pdf/government/grant/pa/fema_329_debris_estimating.pdf
- Ferro, V. (2006). *La evaluación del riesgo de desastre en la planificación del desarrollo de la ciudad de Huaraz, Áncash, 2006.*

- Flores, J. (2019). *Propuesta de una metodología para la disposición final sostenible de los residuos sólidos de construcción y demolición generados en el distrito de Huaraz, 2016*.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.006>
- Ge, Y., Zhang, J., & Guo, X. (2014). *Characteristics and Prevention of the Debris Flows following Wenchuan Earthquake in Jushui River Basin , An County , China. 2014*.
- Graedel, TE, Allenby, B. (2009). *Industrial Ecology and Sustainable Engineering. 3er Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall*.
- Grzeda, S., Mazzuchi, T. A., & Sarkani, S. (2014). *Temporary disaster debris management site identification using binomial cluster analysis and GIS*. 38(2), 398–419.
- Guerrero, P., & Luque, A. (2021). *Social Responsibility , Sustainability , and Public Policy : The Lessons of Debris Management after the Manab í Earthquake in Ecuador*.
- Hirayama, N., Shimaoka, T., Fujiwara, T., & Okayama, T. (2010). *Establishment of disaster debris management based on quantitative estimation using natural hazard maps. 1*, 167–178.
- Huamaní, Z. I. (2019). *Evaluación probabilista de riesgo sísmico de viviendas en la ciudad de Ayacucho con plataforma CAPRAGIS*.
- INDECI. (2003). *Proyecto INDECI-PNUD PER/02/051 Ciudades Sostenibles. Plan de Prevención ante desastres: Uso del suelo y medidas de mitigación ciudad de Huaraz*.
- INDECI. (2007). *Compendio estadístico de prevención de taención de desastres 2007*.
- INDECI. (2011a). *Estudio SIRAD – Espacios potenciales para escombreras en período de emergencia en el Área Metropolitana de Lima y Callao*.
- INDECI. (2011b). *Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental del sismo ocurrido el 15 de agosto de 2007*.
- INEI. (2018). *Resultados definitivos de los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, publicados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática*.
- Instituto de Ingeniería. (2007). *CRISIS2007 (Versión:7.6)*.
- Kim, J., Deshmukh, A., & Hastak, M. (2018). International Journal of Disaster Risk Reduction A framework for assessing the resilience of a disaster debris management system. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, January, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.01.028>
- Kleemann, F., Lederer, J., Rechberger, H., & Fellner, J. (2016). *GIS-based Analysis of Vienna ' s Material Stock in Buildings. 00(0)*, 1–13. <https://doi.org/10.1111/jiec.12446>

- Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza.*
- Liu, Z., & Sun, S. (2009). *The Disaster of May 12 th Wenchuan Earthquake and Its Influence on Debris Flows. 1(1), 26–30.*
- López, M. (2014). *Perú es el tercer país más vulnerable del mundo al cambio climático. 3–5.*
- Lorca, Á., Çelik, M., Ergun, Ö., & Hvnqrfdn, D. Q. G. (2015). *A decision-support tool for post-disaster debris operations Pre-disaster. 107, 154–167.* <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.069>
- Lovon, H., Tarque, N., Silva, V., & Yepes-Estrada, C. (2018). Development of fragility curves for confined masonry buildings in Lima, Peru. *Earthquake Spectra, 34(3), 1339–1361.* <https://doi.org/10.1193/090517EQS174M>
- Luther, L. (2008). Disaster Debris Removal After Hurricane Katrina: Status and Associated Issues, Congressional Research Service. *Congressional Research Service.* <https://fas.org/sgp/crs/misc/RL33477.pdf>
- Marulandia, M. C., Carreño, M. L., Cardona, O. D., Ordaz, M. G., & Barbat, A. H. (2013). *Probabilistic earthquake risk assessment using CAPRA : application to the city of Barcelona , Spain.* <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0685-z>
- Mastrucci, A., Marvuglia, A., Popovici, E., Leopold, U., & Benetto, E. (2016). cycle assessment of end-of-life scenarios at the urban scale. “*Resources, Conservation & Recycling.*” <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.07.003>
- Mesta, C. (2017). *Estimación de pérdidas en el stock de materiales de las edificaciones después de un terremoto. caso de estudio: ciudad de Chiclayo, Perú. Tesis de máster, Pontificia Universidad Católica del Perú.*
- Mesta, C., Kahhat, R., & Santa-Cruz, S. (2017). Quantification of lost material stock of buildings after an earthquake. *16th World Conference on Earthquake.*
- Mesta, C., Santa-Cruz, S., & Kahhat, R. (2020). Probabilistic Assessment of Earthquake-Induced Debris Generation Using Pbee Methodology. *17th World Conference on Earthquake Engineering.*
- Miatto, A., Schandl, H., Forlin, L., Ronzani, F., Borin, P., Giordano, A., & Tanikawa, H. (2019). Resources , Conservation & Recycling A spatial analysis of material stock accumulation and demolition waste potential of buildings : A case study of Padua. *Resources, Conservation & Recycling, 142(December 2018), 245–256.* <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.011>
- Organización Panamericana de la Salud. (2003). Gestión de Residuos Sólidos en Situaciones de Desastre. *Biblioteca Sede OPS, 1, 102.* <http://www.ods.org.pe/material-de-consulta/6-gestion-de-residuos-solidos-en-situaciones-de-desastre/file>
- Organización Panamericana de la Salud. (2010). *Terremoto de Pisco, Perú – A dos años del sismo, crónica y lecciones aprendidas en el sector salud.*
- Park, H., & Cox, D. T. (2019). Effects of advection on predicting construction debris for vulnerability assessment under multi-hazard earthquake and tsunami. *Coastal Engineering, 153(January), 103541.*

<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103541>

- Proyecto glaciares. (2016). *Mapa de zonas seguras y rutas de evacuación ante aluviones en Huaraz-Independencia*.
- Rafee, N., Karbassi, A. ., Nouri, J., Safari, E., & Mehrdadi, M. (2008). Strategic Management of Municipal Debris aftermath of an earthquake. *Int.J. Environ*, 2(2), 205–214.
- Ranghieri, F., & Ishiwatari, M. (2014). *Learning from Megadisasters. Lessons from the Great East Japan Earthquake*.
- Sandoval, L. (2001). *Informe de viaje de evaluación. Sismo de Moquegua, OPS/EPIS*.
- SEMARNAT. (2017). *Criterios para el manejo de los residuos de construcción y demolición generados por el sismo del 19 de septiembre para los estados de México, Morelos, Puebla y Ciudad de México*. 0–7.
- Silva, M. (2018). *Percepción social del peligro y vulnerabilidad física y ambiental ante desastres en la zona ribereña del río Seco de la Ciudad de Huaraz en el año 2015*.
- Silva, M., Reyes, R., Rodríguez, R., & Jara, G. (2016). *Análisis preliminar de la vulnerabilidad física ante desbordamientos en la zona de influencia de la quebrada río Seco de la ciudad de Huaraz en el año 2015*. 9(2), 193–204.
- Solis, G., Hightower, H., Sussex, J., & Kawaguchi, J. (1995). *Disaster Debris Management. June*.
- Soluciones Prácticas. (2012). *Análisis de riesgo de desastres Microcuenca del río Quillcay - Paria, distritos de Independencia y Huaraz, Ancash, Perú*.
- Tanikawa, H., Managi, S., & Lwin, C. M. (2014). *Estimates of Lost Material Stock of Buildings and Roads Due to the Great East Japan Earthquake and Tsunami*. 18(3), 421–431. <https://doi.org/10.1111/jiec.12126>
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zevallos, A., & Ishizawa, O. (2014a). *Evaluación del Peligro sísmico en Perú - Instituto geofísico del Perú*.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zevallos, A., & Ishizawa, O. (2014b). *Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú. Repositorio Institucional - IGP*. <http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/783>
- UNEP. (2012). *Managing post-disaster debris : the Japan experience*.
- Universidad de los Andes. (2018). *CAPRA-GIS (Versión: 2.4.0)*.
- Yang, Y., Moehle, J., Stojadinovic, B., & Der Kiureghian, A. (2009). *Performance evaluation of structural systems: theory and implementation. Journal of Structural Engineering*. 1146–1154.
- Yepes-estrada, C., & Silva, V. (2017). *Probabilistic Seismic Risk Assessment of the Residential Building*. 4(March 2020).

10. ANEXO

ANEXO I. PERMISO PARA LA REALIZACIÓN DE VISITAS TÉCNICAS PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

En este anexo se muestra los documentos entregados a la Municipalidad de Huaraz para solicitar permiso para realizar el levantamiento de información y solicitar el acceso a la información en la zona. Además, una vez obtenido los resultados del estudio se entregó otra carta para solicitar una charla para la presentación de los resultados.

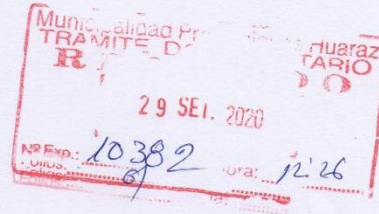


Lima, 28 de septiembre de 2020

CARTA N°042-2020-PUCP-DC

Señor
Eliseo Rori Mautino Angeles
Alcalde de la Municipalidad Provincial de Huaraz

Atención:
Señor
Ing. Erick Trejo Maguiña
Sub Gerente de ejecución de obras
Municipalidad Provincial de Huaraz
PRESENTE



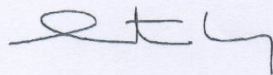
Es grato dirigirme a usted para saludarle y para presentar a Ana Silva Carranza, con DNI 70187542, alumna de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de Riesgos de la Pontificia Universidad Católica del Perú, quien está realizando su tesis en el tema de riesgos en la zona del río Seco de la ciudad de Huaraz. Por tal motivo la alumna realizará unas visitas de campo a la referida zona del 12 al 17 de octubre del presente año para realizar actividades de inspección visual exterior de las viviendas, estado del cauce y registro fotográfico.

Para la realización de su trabajo de tesis la alumna requiere información sobre los riesgos de la zona como: reportes sobre estudios de peligros, informes de daños previos y necesidades, EDAN, y plan de gestión de riesgos existentes a la fecha, por lo que le solicito amablemente que le facilite el acceso a la información que la Municipalidad tenga disponible.

Los resultados de este trabajo de tesis podrán ser de utilidad para justificar y priorizar medidas de mitigación en la zona de estudio por lo que el documento de tesis estará disponibles en el repositorio de tesis de la Universidad para su consulta por el público en general.

Sin otro particular me suscribo ante usted, agradeciéndole por su gentil atención

Atentamente,



Sandra Santa Cruz Hidalgo
Directora
Maestría en Ingeniería Civil
Pontificia Universidad Católica del Perú



Figura 10.1 (ANEXO I). Carta enviada a la Municipalidad de Huaraz para solicitar información sobre los riesgos de la zona



Lima, 6 de octubre de 2021

CARTA N°027-2021-PUCP-AZ

Señor
Eliseo Rori Mautino Angeles
Alcalde de la Municipalidad Provincial de Huaraz

Atención:

Señora
Ing. Magda Maguifia Salazar
Oficina de Gestión de Riesgo de Desastres y Defensa Civil
Municipalidad Provincial de Huaraz
PRESENTE.-

Es grato dirigirme a usted para saludarle y para presentar a Ana Silva Carranza, con DNI 70187542, alumna de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de Riesgos de la Pontificia Universidad Católica del Perú, quien realizó su tesis: "Propuesta para un plan de gestión de escombros por sismo en la zona de río Seco de Huaraz", asesorada por la Dr. Sandra Santa Cruz.

Para hacer esta tesis la alumna solicitó el apoyo de la municipalidad mediante la Carta n° 10382, apoyo que fue brindado por lo cual manifestamos nuestro agradecimiento. Cumpliendo con el compromiso de entregar los resultados de dicha tesis, le solicito una sesión virtual para que la alumna exponga dichos resultados al personal de la municipalidad que usted designe.

La charla tendrá la duración de una hora y consistirá en dos partes, la primera será la presentación de los resultados y la segunda consistirá en un panel de discusión sobre la gestión de desastres debido a posibles eventos futuros.

Agradeceré que pueda enviar la respuesta a esta solicitud a la alumna con correo: ana.silvac@pucp.edu.pe, y con copia a mi persona: sntarque@pucp.edu.pe

Sin otro particular me suscribo ante usted, agradeciéndole por su gentil atención

Atentamente,

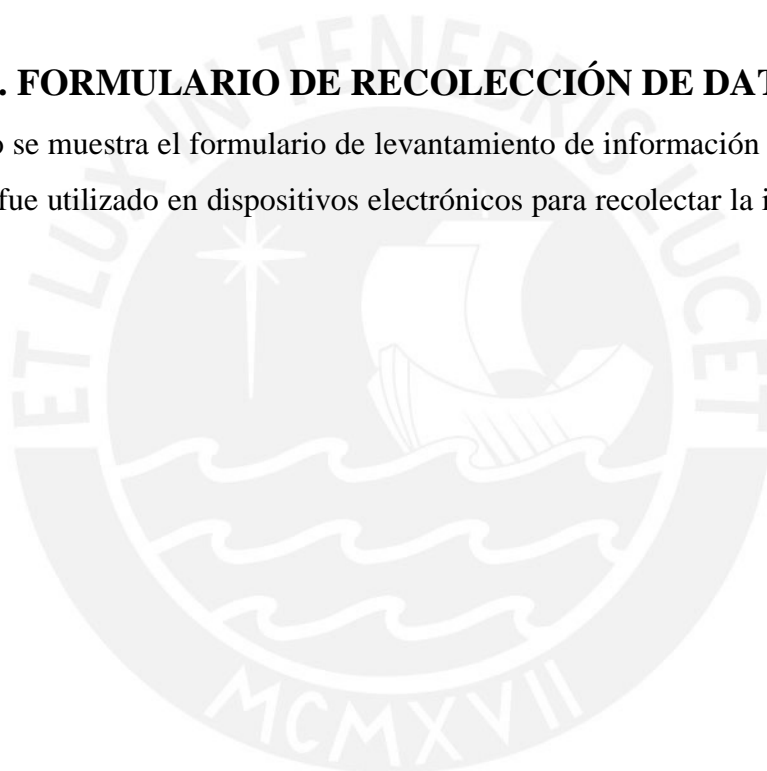


Nicola Tarque, Ph.D
Director de la Maestría en Ingeniería Civil
Escuela de Posgrado – PUCP

Figura 10.2 (ANEXO I). Carta enviada a la Municipalidad de Huaraz para solicitar charla para presentación de los resultados

ANEXO II. FORMULARIO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En este anexo se muestra el formulario de levantamiento de información de campo, este formato solo fue utilizado en dispositivos electrónicos para recolectar la información en digital.



Aportes para un plan de gestión de escombros de sismo en la zona del río Seco de Huaraz

Ficha de levantamiento de información para la tesis de Maestría de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

ana.silvac@pucp.edu.pe [Cambiar de cuenta](#)




El nombre y la foto asociados a tu cuenta de Google se registrarán cuando subas archivos y envíes este formulario. Tu correo no forma parte de tu respuesta.

Código de vivienda

Tu respuesta

Fotografía

 [Añadir archivo](#)

Sistema estructural

- Adobe
- Albañilería
- Albañilería confinada
- Concreto armado

Tipo de material en paredes

- Tapial/madera
- adobe
- ladrillo

Sistema de entrepiso

- Entramado madera/caña
- Vigas y entramado de madera
- Entramado metálico
- Concreto/metálico
- Losa de concreto armado

Número de pisos

- 4 o mas
- 3
- 2
- 1

Otros factores que inciden a la vulnerabilidad

- Humedad
- Cargas Laterales
- Colapso en elementos del entorno
- Debilitamiento de modificación
- Debilitamiento por sobrecarga
- Densidad de muros inadecuados
- Sobre terrazas con pircas

Configuración geométrica en planta

- Irregular
- Regular

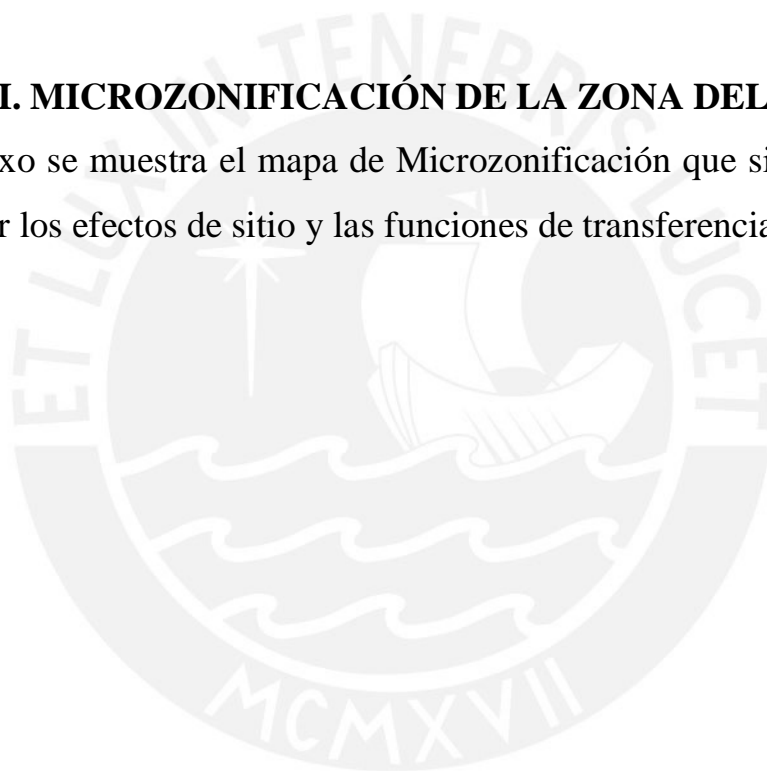
[Enviar](#) [Borrar formulario](#)

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

Figura 10.3. (ANEXO II) Modelo de formulario usado para el levantamiento de información de cada vivienda

ANEXO III. MICROZONIFICACIÓN DE LA ZONA DEL RÍO SECO

En este anexo se muestra el mapa de Microzonificación que sirvió de base para realizar los efectos de sitio y las funciones de transferencia.



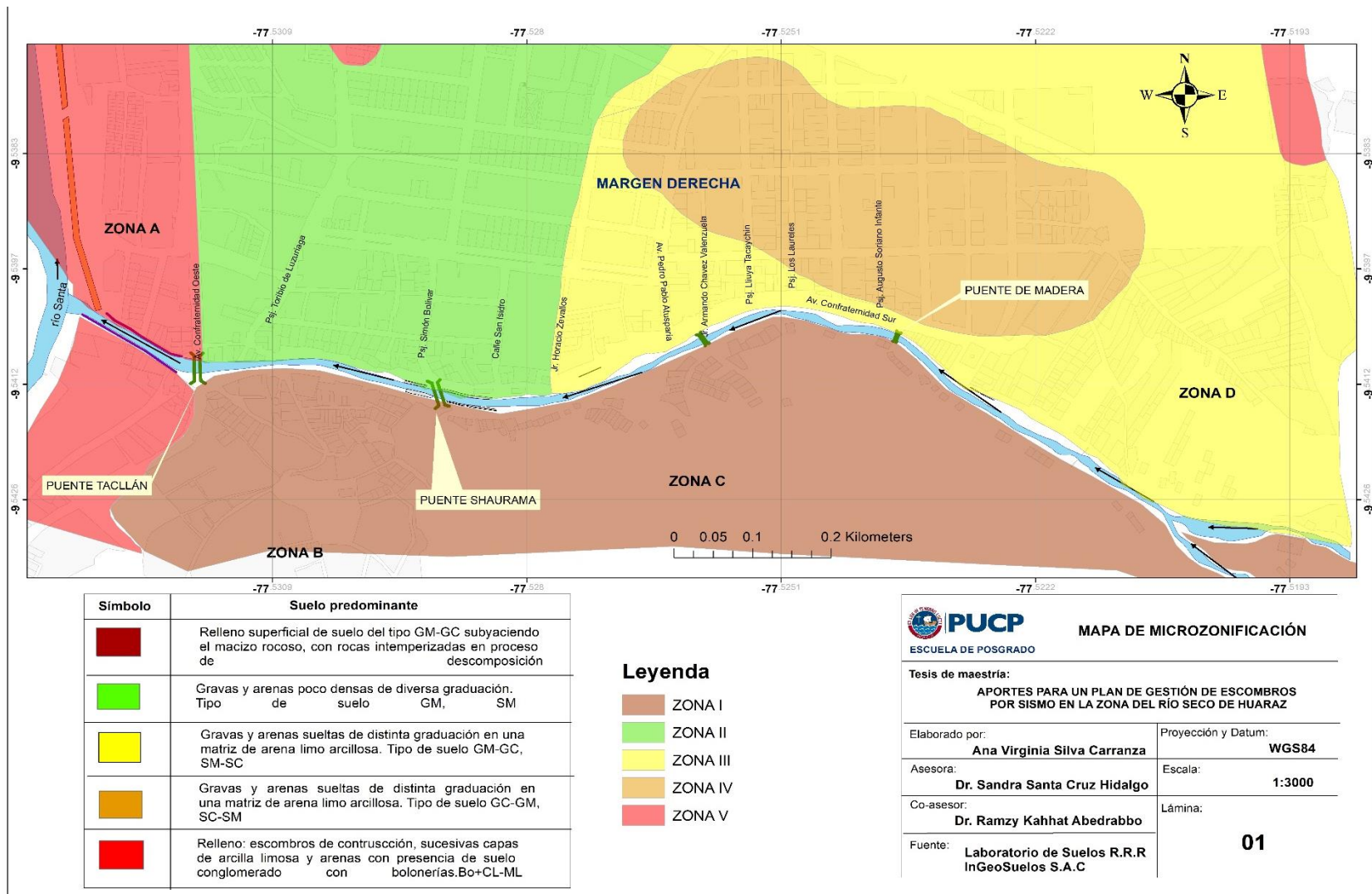
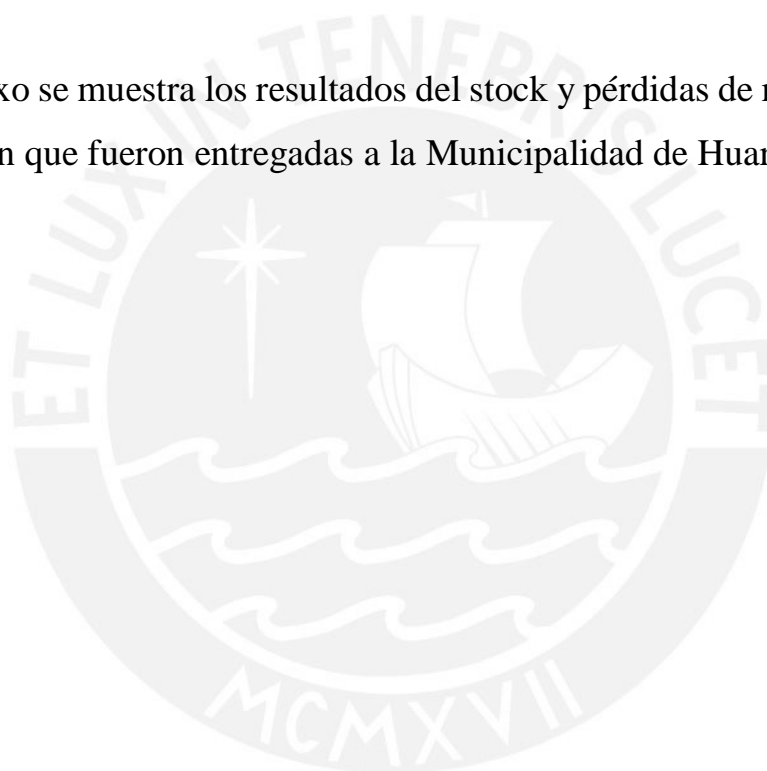


Figura 10.4. Mapa de microzonificación de la zona del río Seco

ANEXO IV. MAPAS DE RESULTADOS

En este anexo se muestra los resultados del stock y pérdidas de materiales de construcción que fueron entregadas a la Municipalidad de Huaraz.



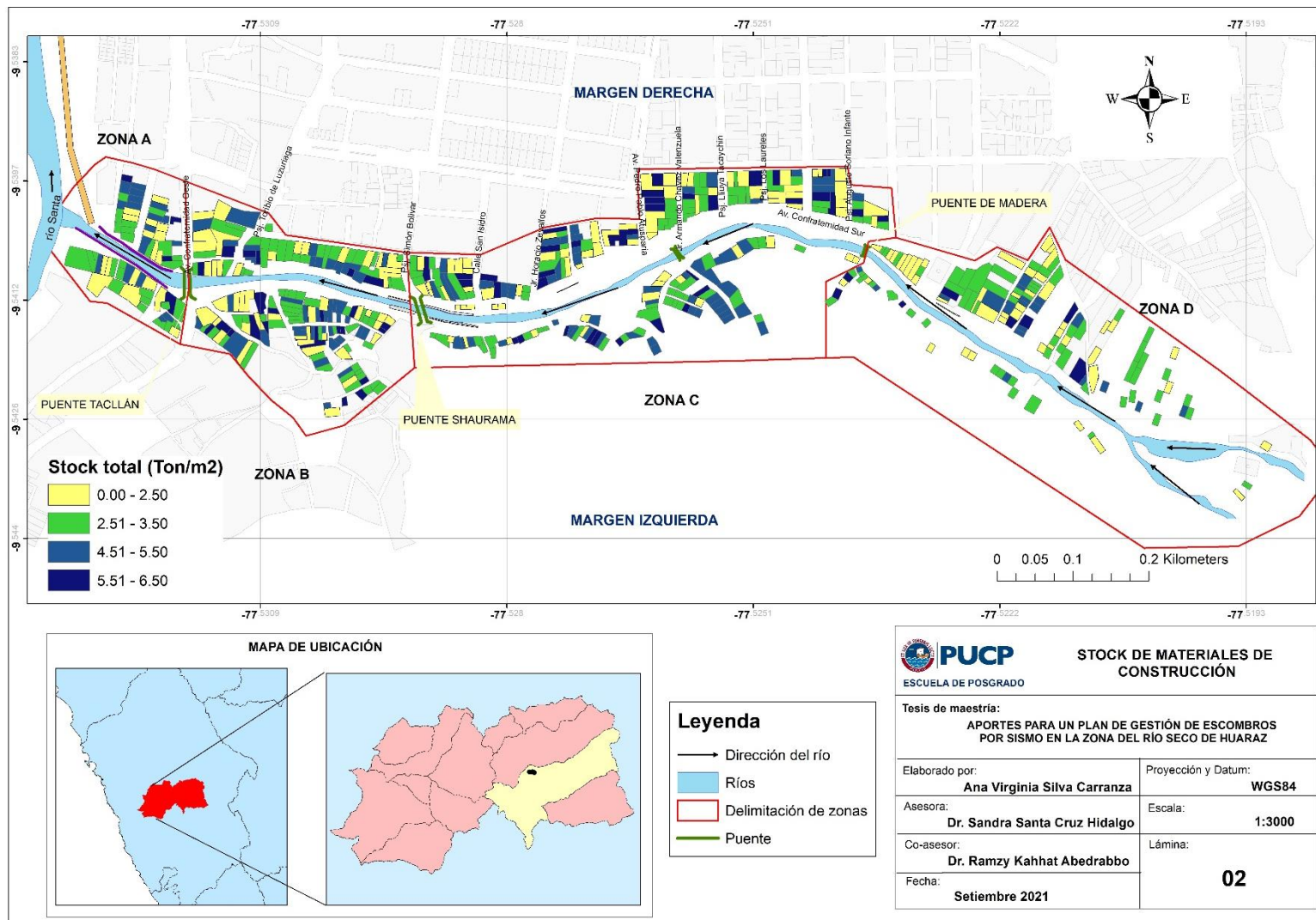


Figura 10.54. Stock global de materiales de construcción

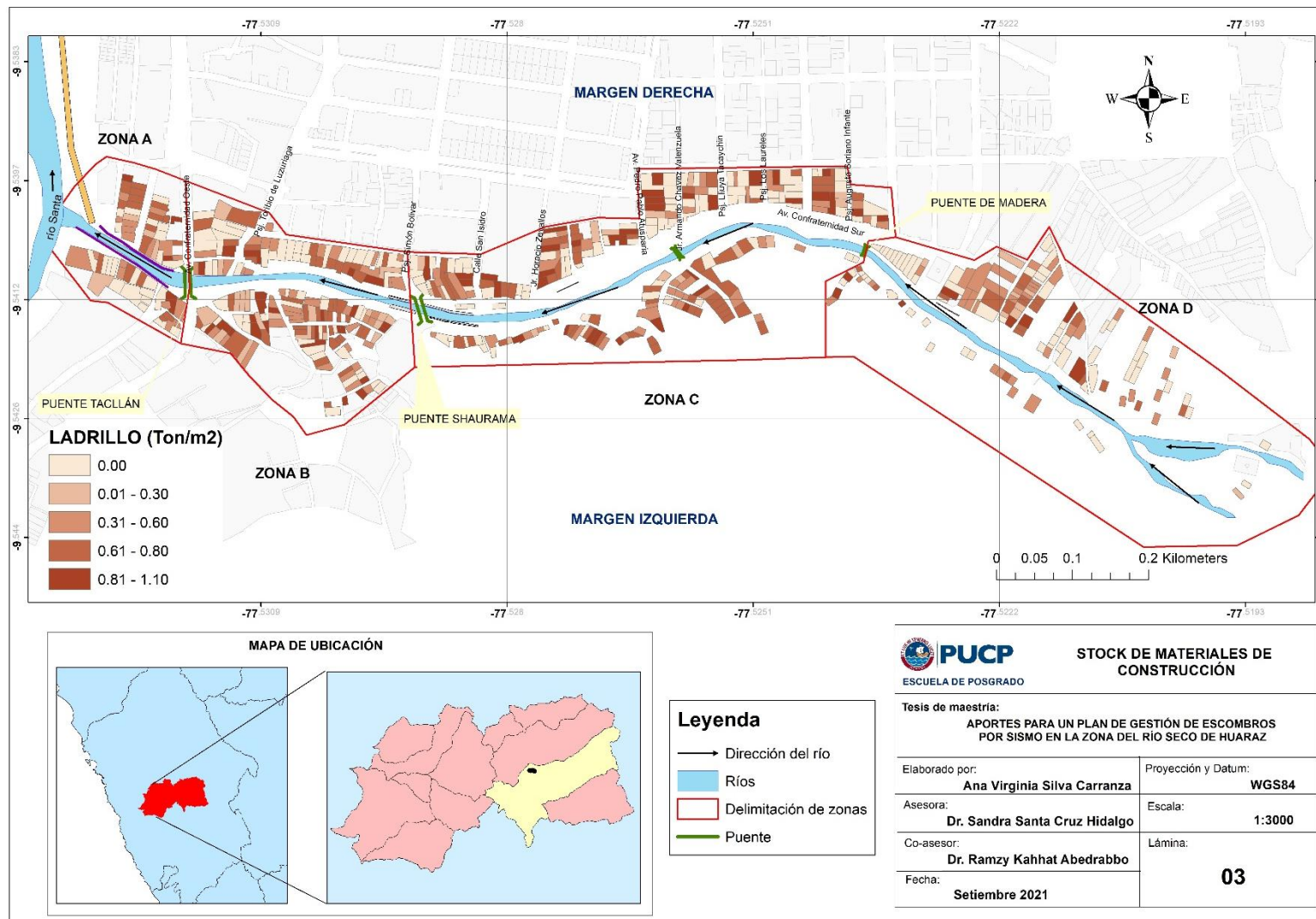


Figura 10.6. Distribución espacial del material ladrillo (Ton/m²)

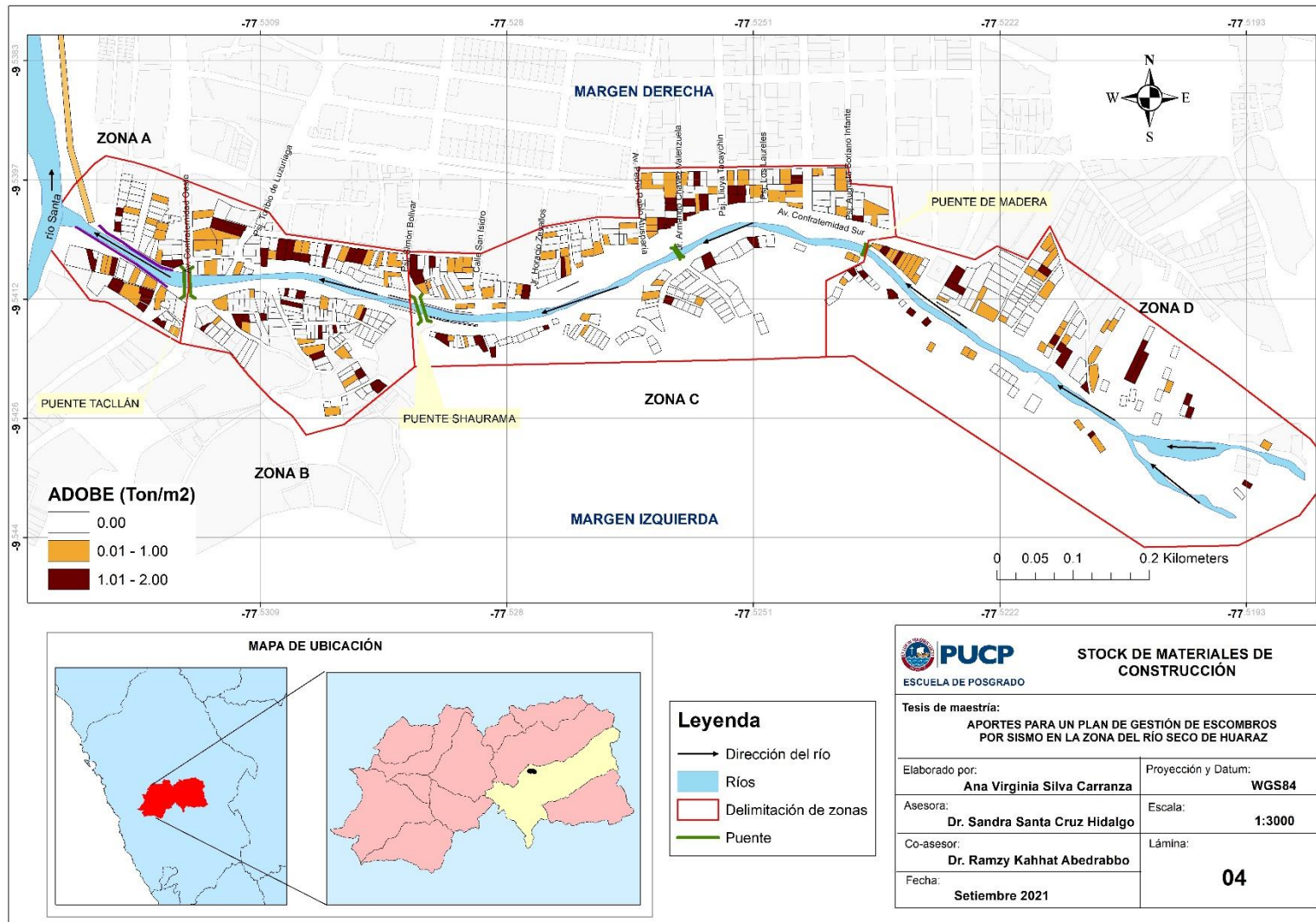


Figura 10.7. Distribución espacial del material adobe (Ton/m²)

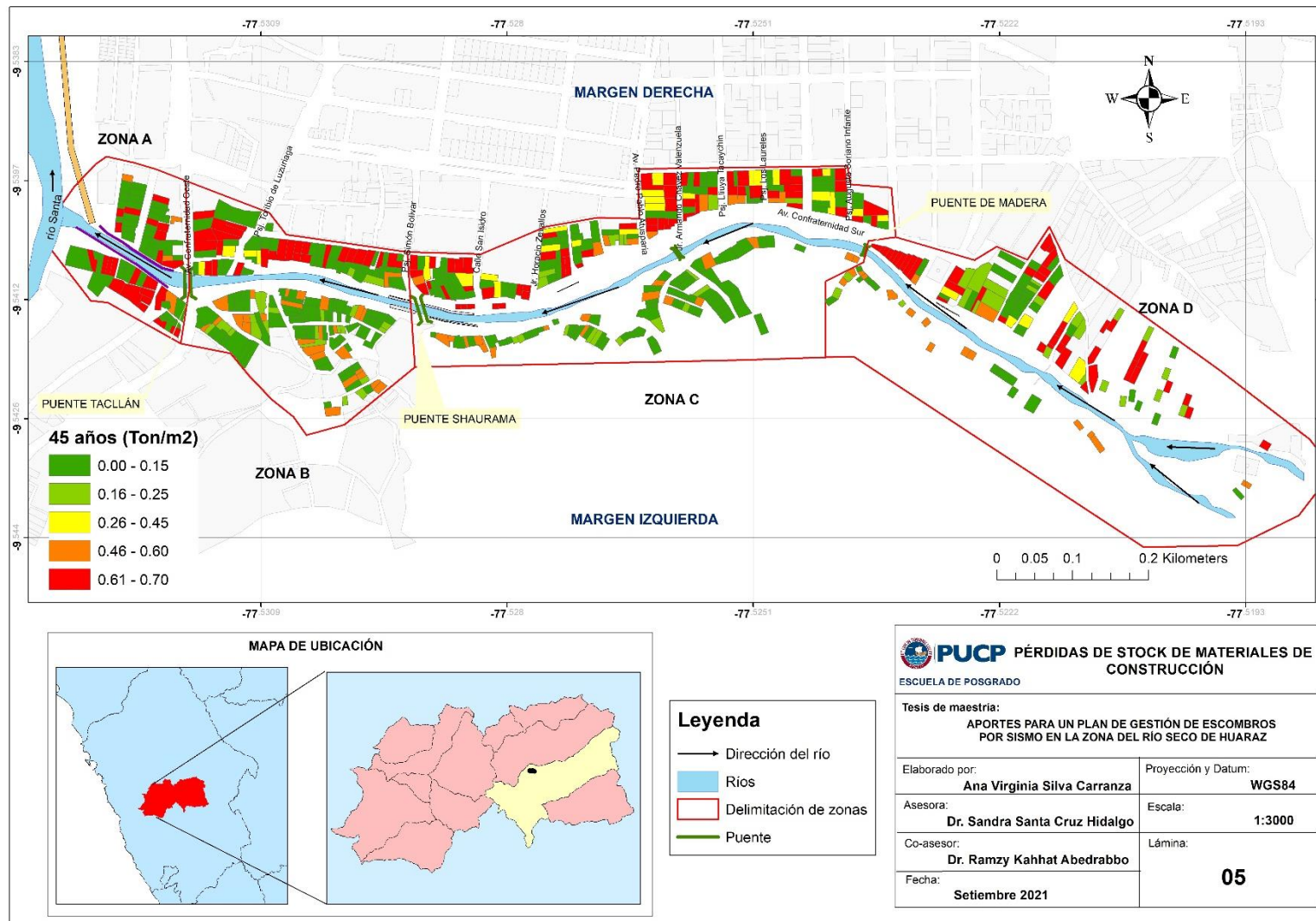


Figura 10.8. Distribución espacial de las pérdidas de materiales para el escenario 45 años (Ton/m²)

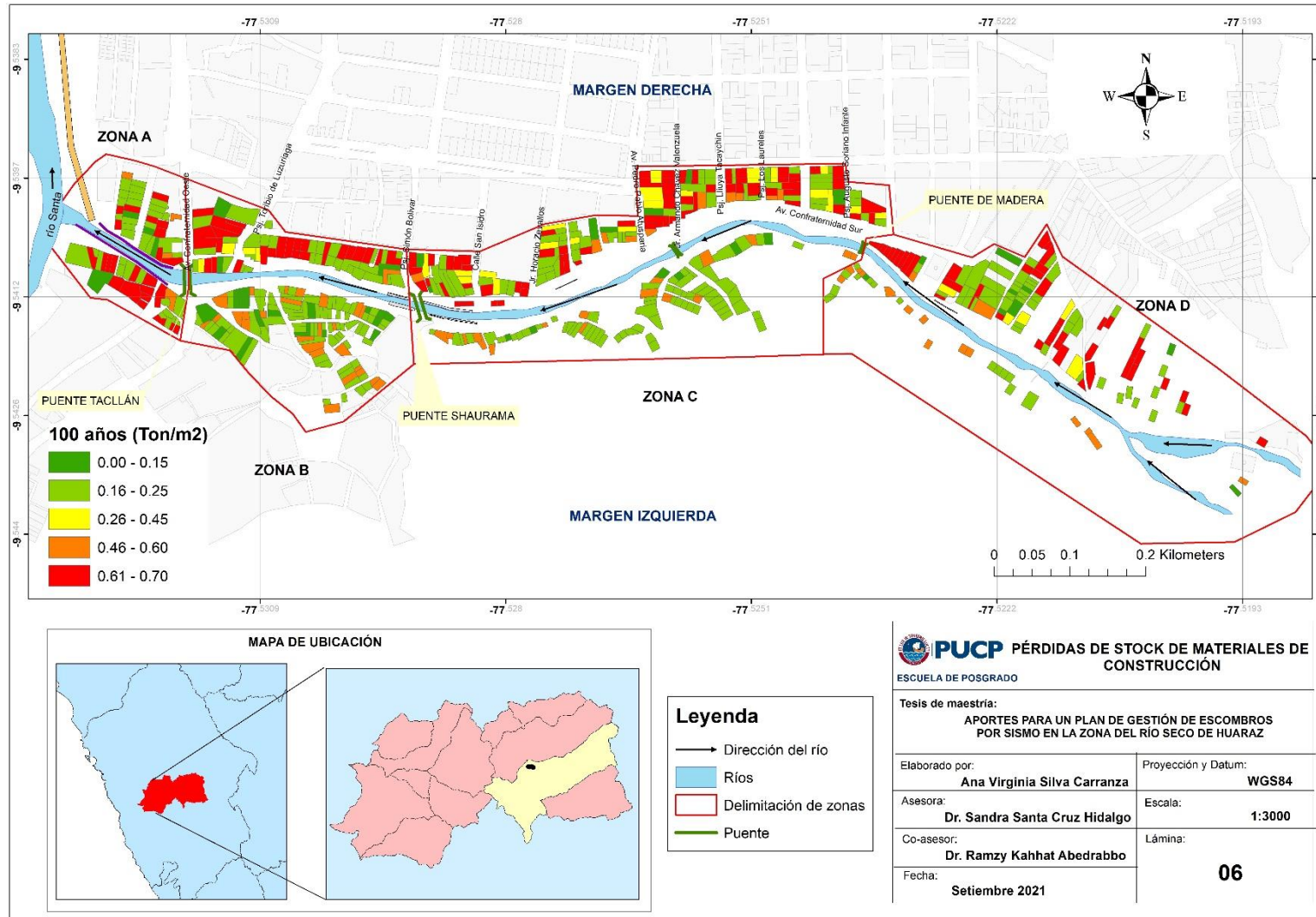


Figura 10.9. Distribución espacial de las pérdidas de materiales para el escenario 100 años (Ton/m²)