



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica para el casco urbano del municipio Francisco Pizarro: Salahonda

María Paula Ávila Guzmán

Proyecto de Grado para optar al título de:
Ingeniera Civil

Director
Juan Manuel Lizarazo Marriaga, PhD.

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia
2020

*A mis padres: María del Pilar y Guillermo.
A mi hermano José Luis.*

Agradecimientos

Le agradezco a todas las personas que han hecho parte de este trayecto. Mi familia en primera instancia, por su apoyo y amor.

A mi director: Juan Manuel Lizarazo, por haberme guiado y colaborado en la ejecución del presente proyecto.

Al grupo de trabajo “Estudios para la implementación de acciones para mitigar los efectos por amenaza de tsunami y cambio climático en los municipios de Tumaco y Francisco Pizarro (Salahonda), departamento de Nariño”, por la experiencia y los conocimientos aportados. Así como a mis compañeros del proyecto, Cristian Arias y Miguel Rivas, que me orientaron y me mostraron lo bonito de la investigación en equipo.

A los habitantes de Salahonda que contaron sus vivencias y testimonios del sismo de 1979 y a Willian Caicedo, estudiante de la UN, por colaborarme en la recolección de estos.

A todos mis profesores que compartieron sus conocimientos y buscan día a día que Colombia sea un país mejor.

Finalmente, no podría dejar de agradecer a la Universidad que me abrió sus puertas y hoy me permite presentar este trabajo: la Universidad Nacional de Colombia.

Resumen

Evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica para el casco urbano del municipio Francisco Pizarro: Salahonda

El Pacífico sur colombiano, donde se localiza el municipio de Francisco Pizarro, es una región que ha sufrido eventos sísmicos de gran magnitud acompañados de tsunamis como los de Tumaco de 1906 y 1979. Salahonda es la cabecera municipal de Francisco Pizarro, tiene una población de aproximadamente 5,500 habitantes (DANE, 2018), sus viviendas son en su mayoría de madera, pero la información sobre las condiciones del municipio y la respuesta estructural ante los eventos naturales mencionados es muy limitada. Por eso, este trabajo que se enmarca en un proyecto mayor que adelanta la Universidad Nacional de Colombia con la DIMAR (Dirección General Marítima de Colombia), busca hacer un aporte desde la academia al entendimiento de una zona geográfica del país que ha sido históricamente olvidada por distintas instancias gubernamentales e incluso científicas.

El objetivo fundamental de este proyecto es evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural de Salahonda y para cumplirlo se llevaron a cabo cuatro etapas principales: la evaluación de la amenaza, el ajuste del modelo de exposición, la selección de las curvas de fragilidad y la evaluación de daños, esta última como medida directa de la vulnerabilidad estructural.

La amenaza se modeló empleando el software libre Openquake, tanto por el método probabilista (PSHA) como por el método determinista, para los escenarios de los mencionados sismos de Tumaco de 1906 y 1979. En cuanto a la exposición, de Salahonda hay poca información sobre cartografía catastral por lo que se recurrió a información primaria como fotografías para ajustar el modelo de exposición. En la etapa de selección de curvas de fragilidad, se realizó una exhaustiva búsqueda de las curvas que, de acuerdo con los materiales, sistema estructural y técnicas constructivas, se asemejaran y representaran mejor la posible respuesta de las estructuras de Salahonda frente a eventos sísmicos. De estas, se seleccionaron las propuestas por HAZUS, que es un modelo de análisis de riesgos abierto, desarrollado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de Estados Unidos (FEMA).

Finalmente, en la evaluación de daños se obtuvieron colapsos teóricos en aproximadamente el 30% de las viviendas para el escenario probabilista, 20% y 17 % de colapsos para los escenarios de 1906 y 1979 respectivamente. Los resultados del escenario de 1979 se contrastaron con los casos reales, mediante entrevistas realizadas a habitantes del municipio que vivieron el evento. Ellos reportaron que pudieron salir de sus viviendas y que, aunque estas no sufrieron daños graves, la mayoría quedaron ladeadas o hundidas probablemente a causa de la licuación del suelo. Se concluye entonces, que los modelos permiten obtener resultados cercanos a las condiciones reales y como aspecto práctico, que la madera de la región, proveniente del manglar, es un material que tiene un buen comportamiento estructural frente a los sismos, incluso mejor que otras estructuras como mampostería simple y concreto no tecnificado, por lo cual es importante realizar mayores estudios de estos materiales propios de la región.

Palabras Clave: amenaza, exposición, fragilidad, daños, vulnerabilidad, Salahonda.

Abstract

Preliminary assessment of seismic vulnerability in the urban area of the Francisco Pizarro municipality: Salahonda

The Colombian South Pacific coast, where the municipality of Francisco Pizarro is located, is a region that has suffered seismic events of great magnitude accompanied by tsunamis such as those of Tumaco in 1906 and 1979. Salahonda is the urban area of Francisco Pizarro, it has a population of approximately 5,500 inhabitants, their houses are mostly made of wood, but the information on the conditions of the municipality and the structural response to the mentioned natural events is very limited. For this reason, this work, which is part of a larger project carried out by the National University of Colombia with the DIMAR (Maritime Management Office of Colombia) seeks to make a contribution from the academy for a better understanding of a geographical area of the country that has historically been forgotten by different governmental and even scientific entities.

The main objective of this project is to evaluate the structural seismic vulnerability of Salahonda and to fulfill it, four main stages were carried out: hazard evaluation, adjustment of the exposure model, selection of the fragility curves and evaluation of damage, this one as a direct measure of structural vulnerability.

Hazard was modeled using Openquake free software, both by the probabilistic method (PSHA) and by the deterministic method, for the scenarios of the aforementioned Tumaco earthquakes of 1906 and 1979. Regarding the exposure, there is lack of information about cadastral cartography from Salahonda, so primary information such as photographs was used to adjust the exposure model. In the fragility curves selection stage, an exhaustive search was carried out for the curves that according to the materials, structural system, and construction techniques, would resemble and better represent the possible response of the Salahonda structures to seismic events. From these, the ones proposed by HAZUS were selected, which is an open risk analysis model, developed by the Federal Emergency Management Agency of the United States (FEMA).

Finally, in the damage assessment, theoretical collapses were obtained in approximately 30% of the dwellings for the probabilistic scenario and 17% for the 1979 scenario. The results of this scenario were contrasted with real cases, through interviews with inhabitants of the municipality that lived the event. They reported that they were able to evacuate from their homes and that, although they were not seriously damaged, most were lopsided or sunken, probably due to the liquefaction of the soil. It is concluded then, that models allow obtaining results close to the real conditions and as a practical aspect, that local wood (mangrove) is a material that has good structural behavior against earthquakes, even better than other structures such as simple masonry and non-engineering concrete structures, for which it is important to carry out further studies of these type of local materials.

Keywords: hazard, exposure, fragility, damages, vulnerability, Salahonda.

Contenido

Resumen.....	4
Abstract.....	5
Lista de figuras.....	8
Lista de tablas.....	9
Introducción.....	10
1 Objetivos.....	11
1.1 Objetivo general.....	11
1.2 Objetivos específicos.....	11
2 Marco Teórico.....	12
2.1 Ubicación y características de Salahonda.....	12
2.2 Eventos sísmicos históricos.....	15
2.2.1 Sismo de 1906.....	15
2.2.2 Sismo de 1979.....	15
2.3 Mecanismo focal.....	16
2.4 Conceptos asociados a la evaluación del riesgo sísmico.....	16
2.5 La probabilidad en la evaluación de daños estructurales.....	17
2.5.1 Curvas de fragilidad.....	18
3 Metodología.....	19
3.1 Modelación de la amenaza.....	20
3.2 Metodología para selección de curvas de fragilidad.....	22
3.3 Evaluación de daños.....	24
4 Evaluación de la amenaza.....	27
4.1 Escenarios de falla homogénea.....	27
4.2 Análisis de amenaza sísmica probabilista.....	28
4.3 Mapas de amenaza.....	29
5 Exposición.....	31
6 Fragilidad.....	34
6.1 Aplicación de la metodología de selección de curvas.....	34
6.2 Modelo de fragilidad.....	38
7 Vulnerabilidad.....	41
7.1 Análisis de daños por eventos.....	41
7.1.1 Sismo 1906.....	41
7.1.2 Sismo 1979.....	44
7.1.2.1 Método analítico.....	44

7.1.2.2	Entrevistas	47
7.2	Análisis probabilista de daños	47
8	Análisis general de resultados.....	49
9	Conclusiones.....	51
10	Recomendaciones	51
	Referencias	53
A.	Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas	57
B.	Anexo B: Entrevistas	67

Lista de figuras

Figura 2-1: Ubicación de Francisco Pizarro-Salahonda.....	12
Figura 2-2: Fuentes sísmicas para Colombia	13
Figura 2-3: Geología de Salahonda.....	13
Figura 2-4: Fotografía de construcciones palafíticas en Salahonda.....	14
Figura 2-5: Fotografía de viviendas de paneles de madera en Salahonda	15
Figura 2-6: Mecanismo focal de un sismo	16
Figura 2-7: Curvas de fragilidad	18
Figura 3-1: Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad en el proyecto	20
Figura 3-2: Esquema general del proceso de cálculo de la amenaza por escenario en Openquake.....	21
Figura 3-3: Esquema general del proceso de cálculo de la amenaza probabilista (PSHA)	21
Figura 3-4: Metodología de selección de curvas de fragilidad	22
Figura 3-5: Curva de fragilidad W1-Low Code.....	24
Figura 3-6: Modelo de entrevista	26
Figura 4-1: Vs para diferentes profundidades.....	29
Figura 4-2: Mapa de amenaza, escenario 1906 en términos de aceleraciones PGA	30
Figura 4-3: Mapa de amenaza, escenario 1979 en términos de aceleraciones PGA	30
Figura 4-4: Mapa de amenaza probabilista, TR = 475 años con aceleración en PGA	31
Figura 5-1: Modelo de exposición con ubicación de los puntos de fotografías.....	32
Figura 5-2: Fotografías de Salahonda	33
Figura 5-3: Tipología de vivienda en Salahonda.....	33
Figura 5-4: Modelo de exposición Salahonda.....	34
Figura 6-1: Curvas de fragilidad palafitos	35
Figura 6-2: Curvas de fragilidad para estructuras de madera.	36
Figura 6-3: Curvas de fragilidad para mampostería no reforzada	37
Figura 6-4: Curvas de Fragilidad construcciones de concreto, no tecnificados.....	37
Figura 6-5: Curvas de fragilidad seleccionadas. Representación daño Leve	38
Figura 6-6: Curvas de fragilidad seleccionadas. Representación daño Moderado.....	39
Figura 6-7: Curvas de fragilidad seleccionadas- Representación daño Severo	39
Figura 6-8: Curvas de fragilidad seleccionadas. Representación de Colapso.....	40
Figura 7-1: Daños para escenario de 1906.....	42
Figura 7-2: Colapsos por manzana, escenario 1906	43
Figura 7-3: Estructura en la plaza central del pueblo, manzana que presentaría 100% de colapso.....	43
Figura 7-4: Estado de daño predominante, escenario de 1906.....	44
Figura 7-5: Daños por escenario de 1979.....	45
Figura 7-6: Colapsos por manzana, escenario de 1979.....	45
Figura 7-7: Estado de daño predominante, escenario de 1979.....	46
Figura 7-8: Daños amenaza probabilista, TR=475 años	48
Figura 7-9: Viviendas en colapso, PSHA TR=475 años.....	48
Figura 7-10: Estado de daño predominante, PSHA TR=475 años.....	49

Lista de tablas

Tabla 3-1: Descripción de la metodología para la selección de las curvas de fragilidad.	23
Tabla 3-2: Puntuación de acuerdo con el criterio.....	24
Tabla 3-3: Ejemplo de cálculo para la evaluación de daños	25
Tabla 4-1: Características sismos de 1906 y 1979	27
Tabla 4-2: Modelos de atenuación para escenarios de 1906 y 1979	27
Tabla 4-3: Modelos de atenuación para cada fuente sísmica	28
Tabla 4-4: Parámetros para los efectos de sitio.....	29
Tabla 6-1: Curvas de fragilidad seleccionadas	38
Tabla 6-2: Parámetros para definir estados de daño.	40
Tabla 6-3: Definición de estados de daño según HAZUS	41
Tabla 7-1: Estado de daño predominante por manzana, escenario de 1906	44
Tabla 7-2: Estado de daño predominante por manzana, escenario de 1979	46

Abreviaturas

Abreviatura	Término
DIMAR	Dirección General Marítima de Colombia
FEMA	Federal Emergency Management Agency
PATTS	Proyecto de estudios para la implementación de acciones para mitigar los efectos por amenaza de tsunami y cambio climático en los municipios de Tumaco y Francisco Pizarro (Salahonda), departamento de Nariño

Introducción

El municipio de Francisco Pizarro, cuya cabecera municipal es Salahonda, se localiza al sur de departamento de Nariño en la costa Pacífica Colombiana. Esta región hace parte de la zona de confluencia de las Placas Nazca y Suramericana, en la cual se han registrado numerosos sismos, entre ellos el de Tumaco de 1906 de magnitud $M_w = 8.5$ y el de 1979 de magnitud $M_w = 8.3$. (Poveda & Pulido, 2019a), ambos acompañados de tsunami y causantes de desastres en términos de pérdidas de vidas humanas y daños materiales.

A partir de eventos ya ocurridos, se resalta la necesidad de identificar las zonas que, por su ubicación, exposición o construcción son vulnerables ante eventos sísmicos futuros. Esto con el fin de tomar decisiones para la prevención y gestión del riesgo. Actualmente la Universidad Nacional junto con la DIMAR (Dirección General Marítima de Colombia), adelantan el proyecto de “Estudios para la implementación de acciones para mitigar los efectos por amenaza de tsunami y cambio climático en los municipios de Tumaco y Francisco Pizarro (Salahonda), departamento de Nariño”. Como parte de este estudio se requiere la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de la zona y en esta fase del proyecto se enmarca el presente trabajo.

Gran parte de las construcciones en Salahonda son de madera, algunas de tipo palafítico, es decir con pilotes de madera hincados que sobresalen de la superficie del terreno y en general están en la zona de cambio de marea. También hay viviendas de paneles, que consisten en pórticos con muros de entramados de madera. Ambas tienen un sistema estructural similar, la diferencia radica en la elevación con respecto al nivel del terreno. Sin embargo, de la respuesta sísmica de estos sistemas constructivos propios de la zona hay poca información, por lo cual en este trabajo se realiza la identificación de las curvas de fragilidad que más se ajustan a las edificaciones del Salahonda.

La fragilidad, junto con la exposición de las edificaciones y la amenaza sísmica conforman los insumos esenciales para evaluar los daños potenciales de las edificaciones. Estos tres procesos se describen en la fase de metodológica del documento y posteriormente se presentan los resultados de la modelación de cada uno de ellos. El presente trabajo consta de ocho capítulos. En el primero se exponen los objetivos del proyecto. El segundo capítulo es el Marco Teórico donde se describe la ubicación y características de Salahonda, eventos sísmicos históricos, caracterización general de los sismos, conceptos asociados a la evaluación de riesgo sísmico y la probabilidad en la evaluación del riesgo. En el capítulo tres se presenta la Metodología que describe las etapas y procesos que se realizan hasta la evaluación de daños. En el capítulo 4 se presentan los resultados y los análisis de la Modelación de la amenaza, en el 5 se presentan los análisis de la exposición, en el capítulo 6 se desarrolla el análisis de fragilidad, en el capítulo 7 se realizan los análisis de vulnerabilidad, en el cual se incluyen los resultados de daños de la modelación de los escenarios de los sismos de 1906 y 1979, así como del análisis probabilista. Finalmente, en el octavo capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica para el casco urbano del municipio Francisco Pizarro: Salahonda.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar las curvas de fragilidad que mejor se ajusten a las edificaciones de Salahonda
- Desarrollar el modelo de exposición de las edificaciones de Salahonda.
- Evaluar el daño de las edificaciones debido a la amenaza sísmica.

2 Marco Teórico

2.1 Ubicación y características de Salahonda

El municipio Francisco Pizarro se ubica al suroccidente del departamento de Nariño y junto con Tumaco integran la subregión del Pacífico Sur. La cabecera municipal recibe el nombre de Salahonda y se localiza en las riberas del río Patía y el río Rosario, en sus desembocaduras al Océano Pacífico. Limita al sur con el municipio de San Andrés de Tumaco, al oriente con el municipio de Roberto Payán y al norte con el municipio de Mosquera como se muestra en la Figura 2-1.

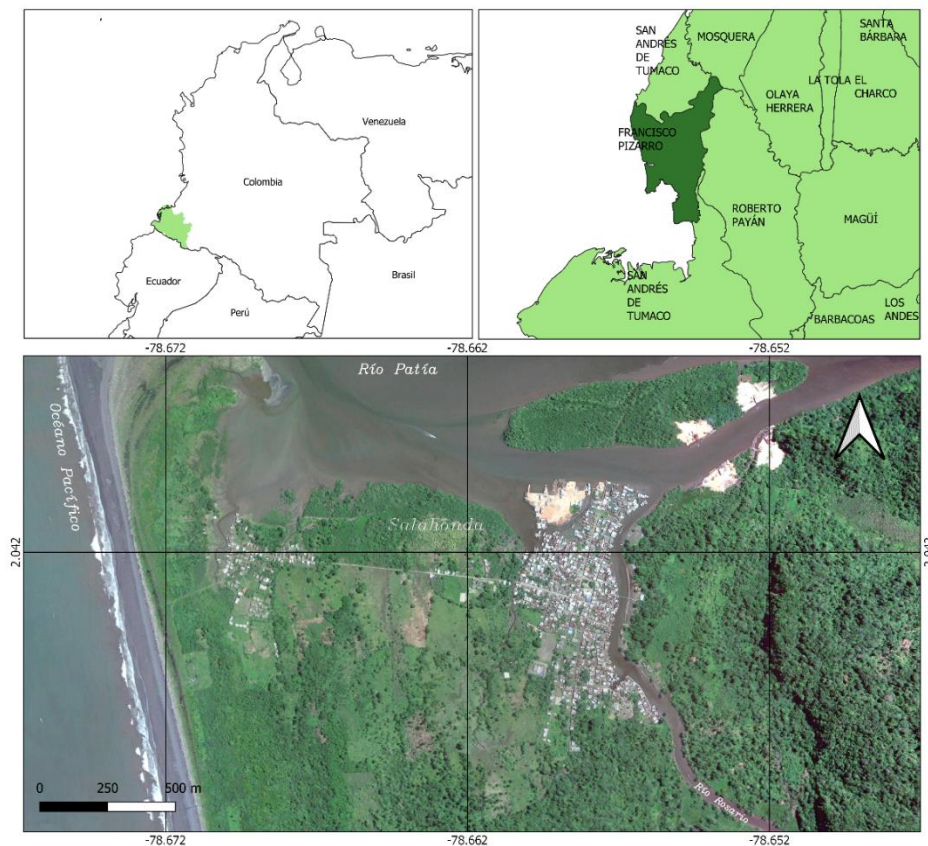


Figura 2-1: Ubicación de Francisco Pizarro-Salahonda

Fuente: Elaboración propia

Esta región del Pacífico Sur Colombiano está catalogada como un área de alta amenaza sísmica por encontrarse en la zona de subducción de la placa de Nazca en el Pacífico Colombo-Ecuatoriano y es allí donde se han presentado los sismos de mayor magnitud en el país, como el sismo de 1906 de magnitud 8.5 Mw y el sismo de 1979 de magnitud 8.3 Mw (Poveda & Pulido, 2019a).

La zona de subducción se divide en una zona de contacto superficial denominada como zona de interfaz y una zona más profunda denominada Zona de Benioff. Estas, junto con

las fuentes corticales describen a grandes rasgos el ambiente tectónico de Francisco Pizarro.

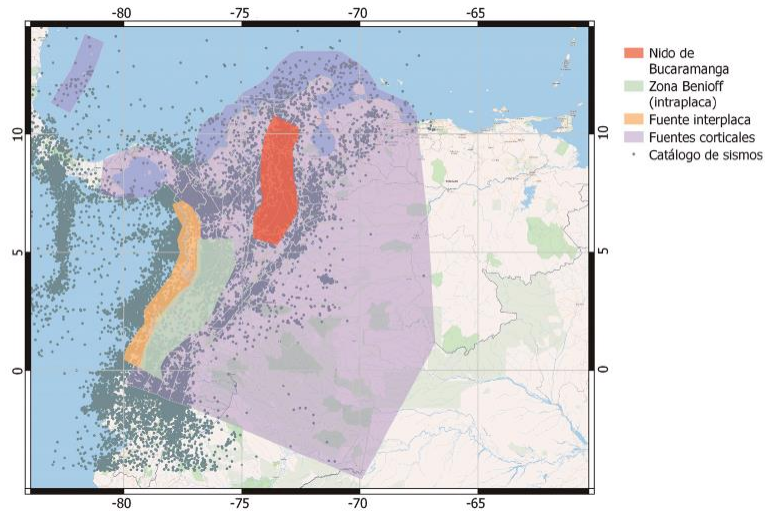


Figura 2-2: Fuentes sísmicas para Colombia

Fuente: (SGC & GEM, 2020)

La geología de la Salahonda está caracterizada predominantemente por depósitos litorales. En la Figura 2-3 se observan principalmente dos formaciones: Q2p y Q2ib. La primera es un depósito de Playas compuesto por arenas finas conglomeráticas acumuladas por acción de las olas y las segundas corresponden a la formación Isla Barrera y son arenas bien seleccionadas de grano medio a grueso acumulada por la migración en la playa (SGC, 2002).

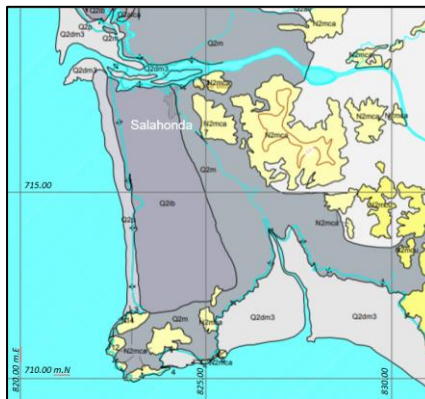


Figura 2-3: Geología de Salahonda.

Fuente: SGC (2002)

De acuerdo con algunas perforaciones realizadas por el Consorcio GHC (2020) el perfil estratigráfico del suelo hasta una profundidad de seis metros, está compuesto principalmente por una capa vegetal, seguido de arena con limos de densidad media a alta.

Con respecto a su población, al año 2018, en el municipio de Francisco Pizarro el DANE contabilizó una población de 14,193 habitantes (DANE, 2018), de los cuales el 61.8 % se ubica en la zona rural y el 38,2% (5,423 habitantes) en la cabecera municipal: Salahonda. Su población es principalmente afrodescendiente (90.4%) y el 0.38 % es población indígena.

Dada su cercanía al manglar, la principal materia prima de las edificaciones en Salahonda es la madera. Estas pueden clasificarse en palafitos (ver Figura 2-4), los cuales están elevadas con respecto al nivel del terreno y en zonas de marea variable y los paneles (ver Figura 2-5) que se encuentran a nivel del terreno, las viviendas en su mayoría son construidas bajo métodos tradicionales y sin mayores parámetros ingenieriles. Hay algunas edificaciones en mampostería y concreto pero su proporción es menor con respecto a las de madera.



Figura 2-4: Fotografía de construcciones palafíticas en Salahonda

Fuente: Fuente: PATTS (UNAL, 2020)



Figura 2-5: Fotografía de viviendas de paneles de madera en Salahonda

Fuente: PATTS (UNAL, 2020)

2.2 Eventos sísmicos históricos

En el Siglo XX se presentaron dos sismos de gran magnitud e importancia en la zona, que de hecho, son los mayores sismos que se han registrado en Colombia. El primero ocurrió en 1906 y el segundo en 1979.

2.2.1 Sismo de 1906

Fue un terremoto ocurrido a las 10:36 de la mañana del 31 de enero de 1906, con epicentro en la frontera entre Colombia y Ecuador (Instituto Geofísico-Escuela Politécnica Nacional, 2012) de magnitud $M_w = 8.5$. Los relatos indican que fue un terremoto de larga duración y estuvo acompañado después de un evento de tsunami. Se estima que hubo alrededor de 1500 víctimas fatales (Mejía, 2017).

2.2.2 Sismo de 1979

Hacia las 3 a.m del 12 de diciembre de 1979 ocurrió un sismo de magnitud $M_w = 8.3$ en el Pacífico colombiano, en el suroeste de la costa de Tumaco. Causó la pérdida de al menos 450 vidas humanas, 1000 heridos, 3000 edificaciones destruidas y 2000 edificaciones averiadas (Suárez Méndez et al., 2014).

Estuvo acompañado de un tsunami que alcanzó alturas de ola de hasta 3 metros en los municipios costeros, generando gran destrucción en los municipios de Tumaco, El Charco, Iscuandé, San Juan de la Costa y Olaya Herrera. En Salahonda los reportes indican que hubo una sola víctima fatal (Chavez, 2019). Dentro de los reportes, se cuenta principalmente con información de daños en Tumaco, donde indican que las viviendas que más sufrieron daños fueron aquellas construidas en materiales rígidos (OSSO, 2003a) y

específicamente en el sector de la Calle del Comercio, se encuentran datos que en esa época aproximadamente el 50 % de las viviendas eran de concreto, de las cuales sufrieron daños alrededor del 90 %; el 25 % sufrieron colapso total y el 75 % restante daños considerables (OSSO, 2003b).

2.3 Mecanismo focal

Un sismo puede caracterizarse principalmente por su magnitud, su mecanismo focal y el punto donde ocurrió, es decir el hipocentro. La magnitud se determina a partir de los registros sísmicos y es función de la energía liberada por el sismo. El mecanismo focal describe el tipo de falla, a partir de uno o más planos según sea el caso. Para describir un plano de la falla, se parte primero por seleccionar un bloque como referencia, considerado como el bloque fijo o “*footwall*”, que para el esquema que se presenta en la Figura 2-6 sería el bloque izquierdo, el bloque derecho que tendrá el movimiento relativo al *footwall* se denomina bloque móvil o “*hangingwall*”. Hecho esto se tienen en cuenta tres ángulos:

- Strike o Rumbo: Define la orientación del plano con respecto al norte.
- Dip o Buzamiento: La orientación del plano con respecto a la horizontal.
- Rake o Dislocación: Ángulo desde el lineamiento hasta la dirección de movimiento del bloque, permite identificar el tipo de falla.

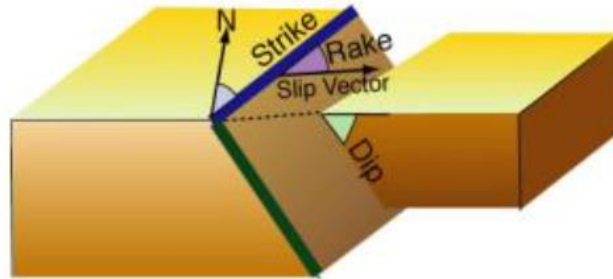


Figura 2-6: Mecanismo focal de un sismo

Fuente: (UCSD, 2018)

2.4 Conceptos asociados a la evaluación del riesgo sísmico

Los impactos generados por un fenómeno natural pueden ser diferentes dependiendo de las condiciones físicas y sociales de la zona donde ocurre. La amenaza, es decir, el fenómeno natural por sí solo no siempre representa una condición de riesgo; se requiere además identificar los elementos expuestos y su respuesta ante el evento.

Porter (2014) describe el riesgo como la relación entre la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Aunque no hay una definición unificada del

término riesgo, este suele expresarse como el resultado de la combinación entre la amenaza y la vulnerabilidad y comúnmente está asociado a una escala cuantitativa en términos de pérdidas, por ejemplo, pérdidas humanas, económicas, ambientales, entre otras.

Los términos y definiciones son variables, pero, para resumir los aspectos clave en la evaluación de riesgo sísmico se tienen:

- **Amenaza natural:** Un fenómeno natural que representa una condición peligrosa y puede ocasionar impactos negativos en las vidas humanas, la infraestructura y en general las dinámicas del sector (UNISDR, 2009).
- **Exposición:** presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales, recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura, que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza (Yamin et al., 2013).
- **Fragilidad:** Propensión de un elemento a superar umbrales de daño y no funcionar satisfactoriamente en un estado límite, cuando se somete a una intensidad sísmica (Erberik, 2015).
- **Vulnerabilidad:** considerada como la probabilidad de que ocurran consecuencias inmediatas, por ejemplo, la probabilidad que las estructuras alcancen diferentes estados de daño ante una amenaza dada (Faizian et al., 2006).
- **Modelo de consecuencias:** Porcentajes en términos de pérdidas asociados a cada estado de daño. Con las curvas de fragilidad y el modelo de consecuencias, se pueden construir curvas de vulnerabilidad que representen la tasa de pérdidas en función de la intensidad.

2.5 La probabilidad en la evaluación de daños estructurales

Como de los eventos naturales y sus consecuencias no se tiene certeza absoluta, la probabilidad juega un papel muy importante en la evaluación de los daños, pues se emplea desde la definición de la amenaza, pasando por la clasificación de los elementos en una tipología general y la asignación de una respuesta a estos elementos para una intensidad de la amenaza. Todo esto implica que la evaluación de daños sea un proceso probabilista.

Partiendo por la evaluación de la amenaza, esta tiene principalmente dos enfoques: el probabilista y el determinista. El enfoque determinista (DSHA por sus siglas en inglés) propone una metodología para el diseño basado en escenarios, pues pretende evaluar un sismo que produzca los efectos más severos o un movimiento que sea comparable con el obtenido a partir de la metodología probabilista. Por su parte, con la metodología probabilista (PSHA) se estima la probabilidad de experimentar cierto sismo para un periodo de análisis específico, en su mayoría este corresponde con la vida útil de las estructuras. (Bulajic & Manic, 2006).

Para ambas metodologías se emplean los mismos insumos, la diferencia radica en el tratamiento de esta información. Los insumos son:

- **Modelo de fuentes:** Describe la geometría y ubicación de las fuentes sísmicas que pueden afectar el sitio de interés.

- **Modelos de atenuación:** Aproximar la respuesta de aceleración con respecto al punto de ruptura. Dependen de las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona, el tipo de falla, la magnitud del sismo.
- **Registros históricos:** Con base en eventos históricos se pueden simular eventos futuros, pues por medio de estocásticos, se pueden modelar variables como la distribución de eventos y su magnitud, en el tiempo.

2.5.1 Curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad expresan la probabilidad de excedencia de estados de daño en función de intensidades sísmicas. En la Figura 2-7 se expone una gráfica de curvas de fragilidad, la variable independiente es la intensidad, de un sismo para este caso y la variable dependiente es la probabilidad de exceder algún estado de daño. Así, cada curva representa un estado de daño para una misma tipología, siendo ds1 el menor daño y por ende el que tiene mayor probabilidad de excederse y ds4 el daño más grave, que tiene menores probabilidades de superarse dada una intensidad.

Estas funciones de fragilidad pueden ser discretas o continuas y suelen representarse por la función de distribución acumulada log-normal de la forma (Porter, 2015).

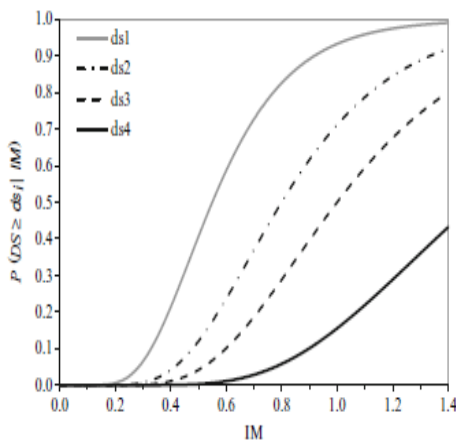


Figura 2-7: Curvas de fragilidad

Fuente: (Rossetto et al., 2014)

$$F_d(x) = P[D \geq d | X = x] \quad d \in \{1, 2, \dots, n_D\} \quad (2-1)$$

$$F_d(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x/\theta_d)}{\beta_d}\right) \quad (2-2)$$

$P[A|B]$ = probabilidad que A sea verdadero dado que B es verdadero.

D : Estado de daño para un elemento, como un edificio, por ejemplo.

d = Estado de daño particular de D .

n_D = número de estados de daño posibles.

X = excitación incierta, por ejemplo, aceleración espectral para un periodo determinado.

x = Valor particular de X .

$F_d(x)$ = Función de fragilidad para el estado de daño d evaluado en x .

Φ_s = Función de distribución acumulativa normal estándar.

θ_d = Media para el estado de daño d .

β_d = Desviación estándar logarítmica para el estado de daño d .

Existen diferentes métodos para obtener las curvas de fragilidad: el método basado en expertos, métodos empíricos, métodos analíticos y métodos híbridos(Nazri, 2018). La obtención del primero consiste en aplicar a un panel de expertos, un cuestionario sobre los posibles daños ante diferentes magnitudes de eventos sísmicos, sin embargo, resulta un método muy subjetivo.

Las curvas empíricas se obtienen de caracterizar los estados de daño de las estructuras luego de un determinado evento sísmico real, son apropiadas en tanto exponen los verdaderos efectos de un sismo en las estructuras, pero así como el método basado en expertos, puede llegar a ser subjetivo en el momento de clasificar las estructuras en determinados estados de daño.

Los métodos analíticos requieren la generación de un modelo estructural, así como un modelo de amenaza a partir de movimientos del suelo o espectros de respuesta; con ellos se lleva a cabo un análisis no lineal para obtener la respuesta de la estructura frente a diferentes niveles de intensidad de sismo. Este tipo de curvas tienen la ventaja que son menos sesgadas, pero requieren mayores tiempos de computación. Finalmente, en los métodos híbridos se cuenta con información post-evento que se emplea para calibrar un modelo analítico que también se desarrolla para generar las curvas.

3 Metodología

El análisis conjunto de amenaza, exposición y fragilidad permite reconocer la sensibilidad o vulnerabilidad de la zona ante el fenómeno dado. Siguiendo el planteamiento de Faizian (2006), el impacto, en este caso enfocado hacia los daños, es considerando como una forma de cuantificar la vulnerabilidad y resulta en un primer acercamiento a la evaluación del riesgo. Para realizar esta última, se requiere también un modelo de consecuencias que asocie el daño a una escala de pérdidas. Con base en esto, se presenta en la Figura 3-1 la metodología del presente proyecto.

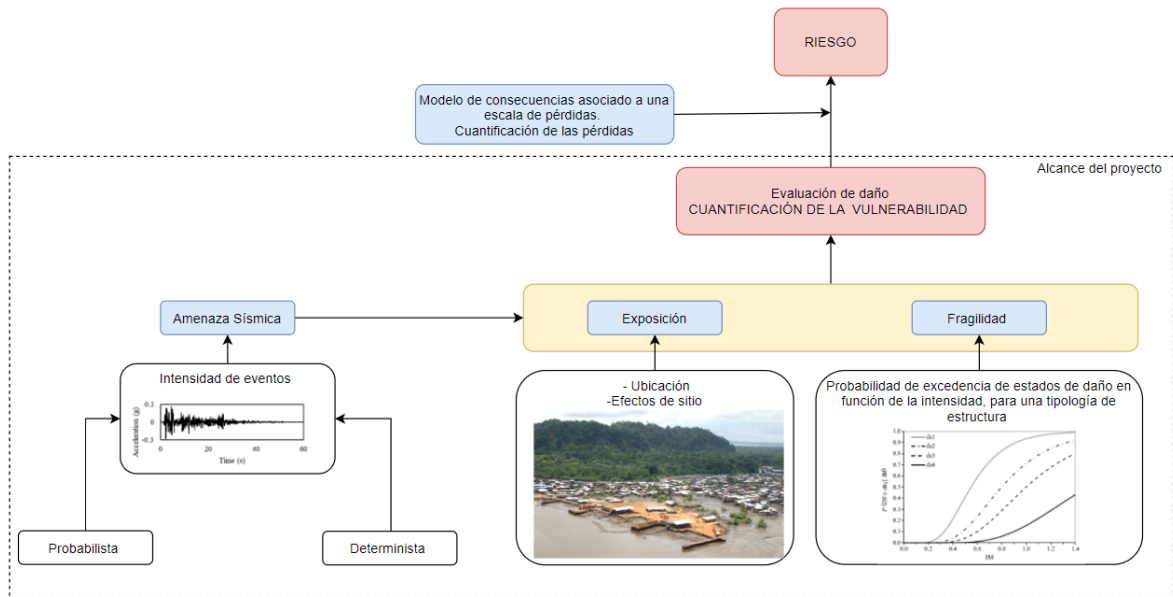


Figura 3-1: Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad en el proyecto

Fuente: Elaboración propia

La amenaza se modeló empleando el software Openquake, por el método probabilista y para dos escenarios deterministas que corresponden a los sismos de 1906 y 1979.

Seguida de la evaluación de la amenaza, se desarrolla el modelo de exposición el cual consiste en la identificación y clasificación de las estructuras en tipologías características. El modelo preliminar desarrollado por PATTS (UNAL, 2020), indica que hay cuatro tipologías principales: palafitos, paneles de madera, mampostería y construcciones no tecnificadas de concreto, esta información se verificó por medio de imágenes e información adicional del Proyecto.

A cada tipología de estructura se le asocia una fragilidad, la cual permite junto con la amenaza, describir la probabilidad de exceder estados de daño y posteriormente realizar la evaluación de daños. En el numeral 3.2 se expone la metodología para la selección de curvas de fragilidad, pues se requiere realizar un análisis exhaustivo de las curvas de fragilidad que mejor se ajusten a la tipología de edificaciones de Salahonda para obtener resultados de daños que se acerquen a la realidad.

Finalmente, con los tres insumos de amenaza, exposición y fragilidad, se realizó la evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural en términos de daños en Salahonda.

3.1 Modelación de la amenaza

En el presente inciso, se expondrá el análisis por medio de la metodología basada en escenario y la probabilista (PSHA). Se resalta que para la evaluación de amenaza por escenarios se consideraron dos sismos ya ocurridos en la zona: el sismo de Tumaco de 1906 y el sismo de Tumaco de 1979, para simular sus efectos y también contrastar con lo reportado en la literatura. Los tres casos se simularon a partir del software *Openquake*

(GEM, 2020), el cual es un software libre desarrollado por el Global Earthquake Model y está compuesto por un motor, un plataforma y herramientas que se utilizan para la evaluación del riesgo.

Para la evaluación de estos escenarios en Openquake (Figura 3-2), se requiere brindarle al programa los parámetros de ruptura del sismo y realizar un archivo de configuración en el cual se incluyen los puntos en los cuales se evaluará la amenaza, efectos de sitio y número de simulaciones.

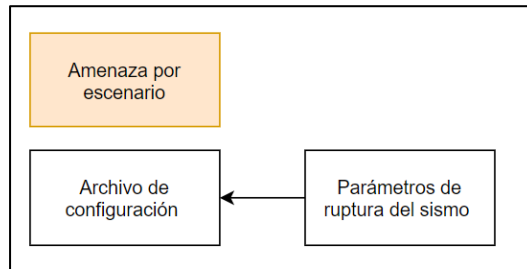


Figura 3-2: Esquema general del proceso de cálculo de la amenaza por escenario en Openquake
 Fuente: Adaptado de (GEM, 2020)

Los archivos requeridos para realizar la evaluación de amenaza sísmica probabilista en el software Openquake (GEM, 2020) se presentan en la Figura 3-3.

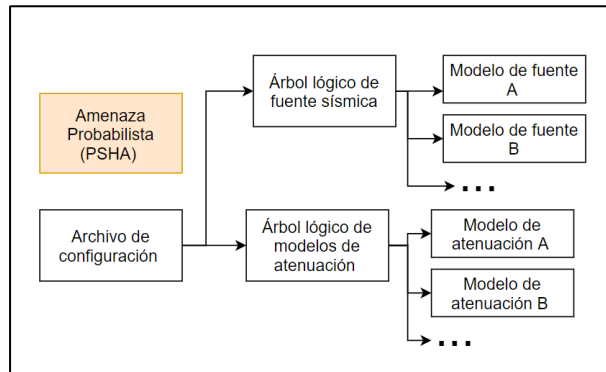


Figura 3-3: Esquema general del proceso de cálculo de la amenaza probabilista (PSHA)
 Fuente: Adaptado de (GEM, 2020)

- **Árbol lógico de fuente sísmica:** Incluye las fuentes que generarán los eventos para la zona de estudio.
- **Árbol lógico de modelos de atenuación:** Contiene los modelos de atenuación (GMPE) y el peso ponderado de cada uno
- **Archivo de configuración:** Dentro del archivo de configuración se indica el área en la cual se realizará el análisis, el método empleado (PSHA para este caso), los parámetros de condiciones de sitio que son:

Vs30: Velocidad de onda en los primeros 30 metros del perfil
z1.0: indica la profundidad a la cual se alcanza una velocidad de onda S igual a 1 km/s.

z2.5: la profundidad a las cual Vs es mayor a 2.5 km/s.

Vs roca: La velocidad de onda que se considera ya es roca y no suelo.

Para la PSHA se agregan otros valores como probabilidades de igual excedencia para espectros de amenaza uniforme, cuantiles, entre otros.

3.2 Metodología para selección de curvas de fragilidad

El procedimiento de selección de las curvas de fragilidad se llevó a cabo a partir de la metodología propuesta por Rossetto et al. (2014), realizando algunas modificaciones.

La metodología de selección de curvas originalmente comprende calificación por relevancia, con parámetros representativos de las curvas tales como estados de daño, tipo de edificación e intensidad. En cuanto a la calidad de las curvas se considera la calidad de los datos de entrada para la elaboración de las curvas, la racionalidad y la calidad de la documentación (Figura 3-4).

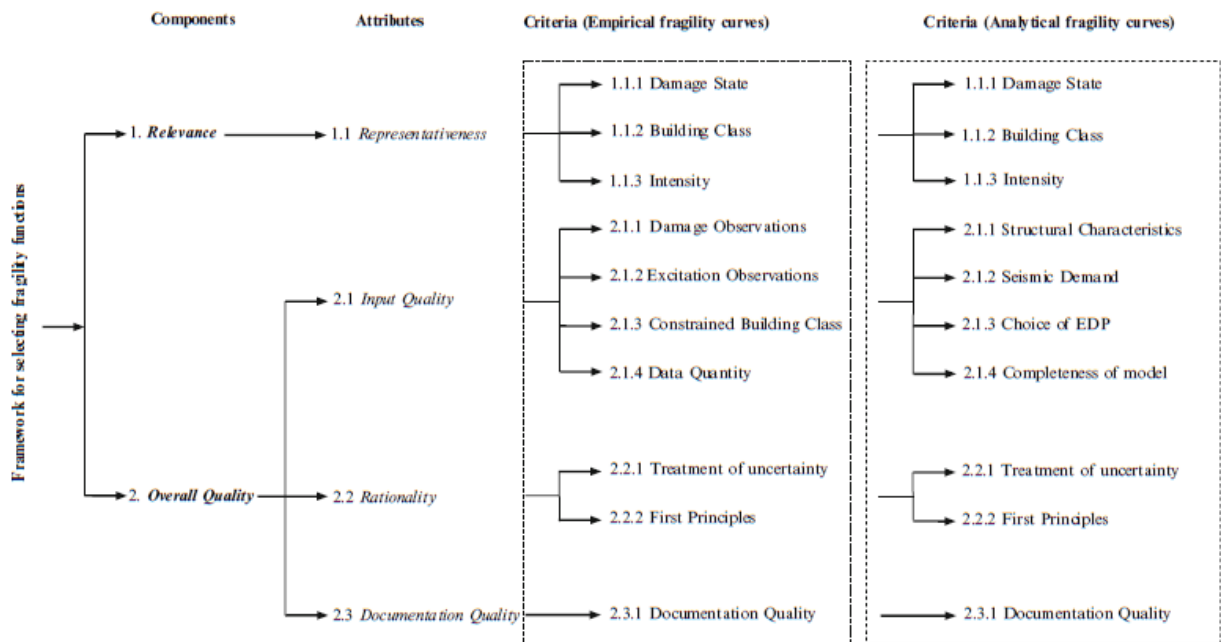


Figura 3-4: Metodología de selección de curvas de fragilidad

Fuente: Rossetto et al. (2014)

En el presente estudio se tuvieron en cuenta únicamente los parámetros “representativos” propuestos por Rosseto et al. (2014) al considerar que abarcaban la mayoría y los factores más relevantes para la selección de las curvas. Una explicación detallada de los criterios se resume en la Tabla 3-1.

SELECCIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD (Rossetto et al., 2014)			
Atributo	Criterio	Condición	Puntuación
1.1 Representativos	1.1.1 Estado de daño	1.1.1.1 Estados de daño	A: Corresponde a los requerimientos del estudio M: No corresponde a los requerimientos del estudio, pero su armonización es posible. B: No corresponde a los requerimientos del estudio y su armonización no es posible.
	.2 Tipo de estructura	Tipología de la estructura	A: La descripción cualitativa del tipo de edificación y la región para la cual las curvas fueron obtenidas es exactamente la misma a la requerida. M: La tipología de edificación de la curva es un subconjunto o incluye a clase requerida. Lo mismo aplicado a la región. B: La descripción cualitativa del tipo de edificación y la región para la cual las curvas fueron obtenidas es muy diferente a la requerida.
		Variabilidad en las características de la edificación	A: Múltiples edificaciones o propiedades geométricas y de los materiales aleatorias. M: Limitado número de edificaciones. B: Una sola edificación
	.3 Intensidad	Tipo de medida de intensidad	A: Idéntica a la requerida para la aplicación M: Presenta una ecuación de conversión apropiada B: No presenta ecuación de conversión
		Niveles de intensidad	A: Incluye los IM requeridos. M: El nivel requerido es 20 % más grande o más pequeño que el mínimo o máximo valor del rango de IM. B: No incluye los IM requeridos.
		Movimientos del suelo	A: <u>Movimiento del suelo:</u> Se tiene en cuenta su variabilidad y la base de datos en la ubicación de la edificación. <u>Nivel regional de los espectros:</u> Espectro tomado de registros existentes para el área requerida y la variabilidad de los movimientos del suelo es tenida en cuenta. M: <u>Movimiento del suelo:</u> Se tiene en cuenta su variabilidad y el registro sintético es compatible con el espectro. <u>Nivel regional de los espectros:</u> Se tiene en cuenta un modelo de amenaza uniforme y la variabilidad de los movimientos del suelo. L: <u>Movimiento del suelo:</u> La base de datos en la ubicación de la edificación no se relaciona. <u>Nivel regional de los espectros:</u> Espectro estándar. No se tiene en cuenta la variabilidad de movimientos del suelo.
2. Comparación con eventos históricos			A: 10% Por encima o por debajo del valor reportado. B: 20% por encima o por debajo del valor reportado. C: Más de 20% de diferencia con lo reportado.

Tabla 3-1: Descripción de la metodología para la selección de las curvas de fragilidad.

Fuente: Adaptado de Rossetto et al (2014)

La calificación se realiza cuantitativamente asignando un valor a cada criterio de puntuación (Tabla 3-2). Una vez realizada la calificación se suman los valores y las curvas óptimas serán las de mayor puntuación.

Puntuación de la calificación	Valor
Alto (A)	3
Medio (M)	2
Bajo (B)	1

Tabla 3-2: Puntuación de acuerdo con el criterio

Fuente: Adaptado de Rosseto et al (2014)

Adicional a esta clasificación, se incorporó el parámetro de similitud de resultados de los daños reportados para el sismo de 1979 (OSSO, 2003b) y los obtenidos con las curvas, a este nuevo parámetro se le denominó Comparación con hechos históricos de la región.

3.3 Evaluación de daños

- **Método analítico**

Para realizar la evaluación de daños por el método analítico se debe contar con dos insumos: el primero es el valor de intensidad sísmica obtenido con el análisis de amenaza y el segundo corresponde a las curvas de fragilidad para cada tipología de estructura.

Las curvas de fragilidad permiten calcular la probabilidad de que una o varias edificaciones (dependiendo del nivel de análisis) superen un estado de daño ante la intensidad de un evento. En el presente proyecto, las curvas de fragilidad empleadas se aplican a grupos de edificaciones de cada tipología.

Se debe tener en cuenta que estas curvas contemplan probabilidades acumuladas y que para calcular la probabilidad propia de un estado particular de daño se requiere calcular la diferencia entre la probabilidad del estado de daño de interés y la probabilidad de exceder del siguiente nivel de daño. Esto se explica mejor con el siguiente ejemplo.

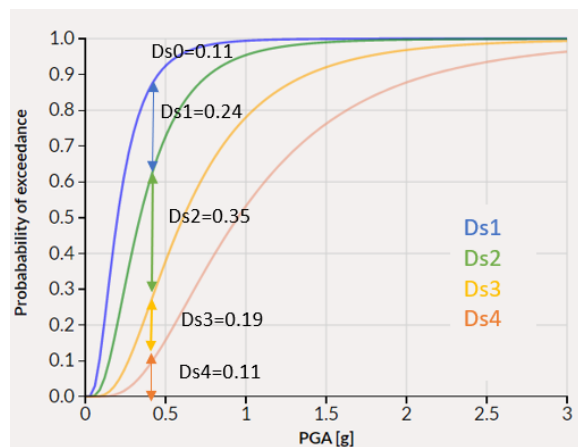


Figura 3-5: Curva de fragilidad W1-Low Code

Fuente: Adaptado de HAZUS (FEMA, 2020)

Para el ejemplo se tomarán las curvas de tipología paneles de madera (Ver Figura 3-5) y un valor de intensidad $PGA=0.43$ g. Con este valor de intensidad se evalúan las probabilidades de exceder los estados de daño (ver en la Tabla 3-9 -Probabilidad de excedencia). En este caso, para un estado de daño leve, la probabilidad de excedencia es del 88.7%, para un estado de daño moderado, la probabilidad de excedencia se reduce a 64.9% , para el estado de daño extensivo se tiene una probabilidad de 29.7 % y finalmente para el colapso la probabilidad se reduce a 11.0 %. Como se mencionó anteriormente, estas probabilidades son acumuladas porque las estructuras que se encuentren, en un estado de daño superior al leve, ya han pasado por los estados de daños menores.

En la fila “Fórmula para calcular la probabilidad de cada estado de daño” de la tabla Tabla 3-3 se expresan las ecuaciones en términos de probabilidades para calcular la fracción propia de cada estado de daño ($p(D_i)$), realizando la diferencia entre la probabilidad de excedencia del estado de daño de interés $P(D_i)$ y la probabilidad del estado de daño siguiente $P(D_{i+1})$.

$$p(D_i) = P(D_i) - P(D_{i+1}) \quad (3-1)$$

Los valores propios de probabilidad se pueden asociar también al porcentaje de estructuras que se encuentran en ese estado de daño. Por ello, luego de aplicar la ecuación (3-1) se obtuvo que, el 11 % de las edificaciones se encuentran en colapso y este valor es igual a la probabilidad de excedencia leída de la curva de fragilidad pues no hay un estado de daño superior. Para el caso de extensivo la probabilidad fue del 18.7 %, para daño moderado de 35.1 %, para daño leve 23.8 % y para no daño 11.3 %, estos porcentajes deben sumar el 100 % y son los valores se encuentran en la última fila de la Tabla 3-3 y pueden entenderse gráficamente a partir de la Figura 3-5.

EVALUACIÓN DE DAÑOS PARA HAZUS LOW CODE W1 - PGA=0.43 g					
	No daño	Leve	Moderado	Extensivo	Colapso
Probabilidad de excedencia		88.7%	64.9%	29.7%	11.0%
Fórmula para calcular la probabilidad de cada estado de daño	$1-P(Ds1)*100$	$P(Ds1)-P(Ds2)$	$P(Ds2)-P(Ds3)$	$P(Ds3)-P(Ds4)$	$P(Ds4)$
Edificaciones en cada estado de daño (%)	11.3%	23.8%	35.1%	18.7%	11.0%

Tabla 3-3: Ejemplo de cálculo para la evaluación de daños

Fuente: Elaboración propia

Así pues, dado el número de edificaciones del grupo que se está evaluando, se puede determinar la cantidad que está en cada estado de daño.

- **Recopilación histórica**

Con el fin de tener un mejor entendimiento de lo ocurrido en Salahonda para los eventos pasados se realizaron entrevistas a las personas que vivieron el sismo de 1979. Por medio de estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia, habitantes de Salahonda, se pudo llevar a cabo esta tarea.

Proyecto de trabajo de grado: Evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica para el casco urbano del municipio Francisco Pizarro: Salahonda.



Encuesta - entrevista para recopilación de información de los efectos generados por el sismo del 12 de diciembre de 1979 (Ocurrido hacia las 3 a.m.)

Fecha	Nombre y apellido										
2. Edad cuando ocurrió el sismo del 12 de diciembre de 1979?											
3. Lugar en el que se encontraba (Por ejemplo, centro de Salahonda, La Playa, etc)											
4. Tipo de construcción en la que se encontraba. Marcar con una x. La casa de Guanaba era un rancho de paja. La de La Playa era de madera.	<table border="1"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Otra, ¿cuál?</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.	<input type="checkbox"/>	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables	<input type="checkbox"/>	Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.	<input type="checkbox"/>	Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.	<input type="checkbox"/>	Otra, ¿cuál?
<input type="checkbox"/>	Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.										
<input type="checkbox"/>	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables										
<input type="checkbox"/>	Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.										
<input type="checkbox"/>	Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.										
<input type="checkbox"/>	Otra, ¿cuál?										
5. ¿Hubo posibilidad de evacuar? ¿Hubo alguna alerta por tsunamí?											
6. ¿Resultó usted o algún familiar, herido por el sismo?											
7. ¿Qué ocurrió con su vivienda luego del sismo?											
8. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del sismo? Respuesta: 9. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del tsunamí? Respuesta:	<table border="1"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>No daño: No hubo daños en la vivienda.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	No daño: No hubo daños en la vivienda.	<input type="checkbox"/>	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.	<input type="checkbox"/>	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.	<input type="checkbox"/>	Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.		
<input type="checkbox"/>	No daño: No hubo daños en la vivienda.										
<input type="checkbox"/>	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.										
<input type="checkbox"/>	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.										
<input type="checkbox"/>	Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.										
10. ¿Cómo fue su experiencia?. ¿Cómo quedó Salahonda después del sismo y después del tsunamí? comente con los detalles que quiera.											

*Nota: Los datos personales son utilizados solo para fines académicos.

Figura 3-6: Modelo de entrevista

Fuente: Elaboración propia

4 Evaluación de la amenaza

Como se mencionó en la sección de Metodología, la amenaza se modeló por medio del software Openquake, que permite obtener valores de intensidad de la aceleración tanto para escenarios deterministas como probabilistas. En los siguientes apartes, se expone los parámetros de entrada al modelo propios para las condiciones de Salahonda.

4.1 Escenarios de falla homogénea

Los datos del hipocentro se obtuvieron de (Pulido et al., 2020) publicación en la cual se desarrolla un modelo de slip o desplazamiento relativo de longitud de banda ancha para el terremoto de Ecuador- Colombia en 1906 (también conocido como el sismo de Tumaco de 1906), elaborado a partir de intensidades sísmicas y datos del tsunami. Los demás parámetros se obtuvieron de la modelación del *slip* para los escenarios de 1906, 1979 y el peor escenario en la zona de subducción colombo-ecuatoriana. (Poveda & Pulido, 2019a), Las características de estos sismos se describen en la Tabla 4-1.

Características		Sismo 1906	Sismo 1979
Magnitud (Mw)		8.5	8.3
Rumbo		30 °	30°
Buzamiento		15 °	15°
Dislocación		118°	118°
Hipocentro	Latitud	-79.347°	-79.276
	Longitud	0.988°	1.555
	Profundidad (km)	31	23.6

Tabla 4-1: Características sismos de 1906 y 1979

Fuente: (Poveda & Pulido, 2019b) y (Pulido et al., 2020)

Ambos sismos tienen un mismo mecanismo focal, pero el epicentro del sismo de 1906 está un poco más alejado de Tumaco y Salahonda que el de 1979. No obstante, hay que tener en cuenta que el sismo de 1979 fue más superficial y de menor magnitud que el de 1906.

Se realizaron 11000 simulaciones, de acuerdo con lo presentado por Arias (2021) por ser el número óptimo de simulaciones para que la variación porcentual del modelo entre grupos de simulaciones aumentándolas de 1000 en 1000, fuera menor al 5 %.

La fuente de estos sismos es de tipo interplaca (Pararas-Carayannis, 2012) y los modelos de atenuación que mejor describen este tipo de región tectónica (SGC & GEM, 2020) son:

Tipo de región tectónica	GMPE	Peso del GMPE
Subducción interplaca	AbrahamsonEtAl2015SInter (N. Abrahamson et al., 2016)	0.437
	ZhaoEtAl2006SInterNSHMP2008 (Zhao et al., 2006)	0.348
	MontalvaEtAl2016SInter (Montalva et al., 2017)	0.215

Tabla 4-2: Modelos de atenuación para escenarios de 1906 y 1979

Fuente:(SGC & GEM, 2020)

4.2 Análisis de amenaza sísmica probabilista

- **Árbol lógico de fuente sísmica:** Las fuentes a tener en cuenta para Salahonda están de acuerdo al Modelo Nacional de Amenaza Sísmica para Colombia (SGC & GEM, 2020) en el que se tienen fuentes de tipo cortical, la zona de Benioff y la zona de interplaca. Específicamente se modeló con seis fuentes corticales tipo área, cinco fallas corticales activas, la fuente de subducción sur interplaca y la zona de Benioff.
- **Árbol lógico de modelos de atenuación:** Con base en (SGC & GEM, 2020) los modelos de atenuación que mejor aproximan la aceleración para los eventos sísmicos de la zona según cada región tectónica se presentan en la Tabla 4-3.

Tipo de región tectónica	GMPE	Peso del GMPE
Cortical	Idriss2014 (Idriss, 2014)	0.399
	CauzziEtAl2014 (Cauzzi et al., 2015)	0.389
	AbrahamsonEtAl2014 (N. A. Abrahamson et al., 2014)	0.211
Subducción interplaca	AbrahamsonEtAl2015SInter (N. Abrahamson et al., 2016)	0.437
	ZhaoEtAl2006SInterNSHMP2008 (Zhao et al., 2006)	0.348
	MontalvaEtAl2016SInter (Montalva et al., 2017)	0.215
Subducción Benioff	MontalvaEtAl2016SSlab (Montalva et al., 2017)	0.424
	AbrahamsonEtAl2015SSlab (N. Abrahamson et al., 2016)	0.365
	ZhaoEtAl2006SSlabNSHMP2014 (Zhao et al., 2006)	0.21

Tabla 4-3: Modelos de atenuación para cada fuente sísmica

Fuente:(SGC & GEM, 2020)

Archivo de configuración:

Producto de campañas de geofísica realizadas por el PATTS (UNAL, 2020), a través de ensayos de microtemores se obtuvo la velocidad de onda S en la sección superficial del perfil, que en los primeros 30 metros corresponde al Vs. Al lado oriental del río Rosario, existe un cerro, formación rocosa que al parecer se va profundizando a medida que se acerca a la playa. Por ello la velocidad de onda S en Salahonda, que está más cerca a este cerro, es mayor que la velocidad de onda S en el sector de La Playa.

Parámetros	Sector La Playa	Sector Salahonda	Centro-
Vs roca (m/s)	1000	1000	
Vs30 (m/s)	180	250	
vs30 \geq 1 km/s (z1.0)	180 m	180 m	
vs30 \geq 2.5km/s (z2.5)	5 km	5 km	

Tabla 4-4: Parámetros para los efectos de sitio

Fuente: PATTS (UNAL, 2020)

El valor de Vs para roca se indicó igual a 1000 m/s como un valor intermedio para lo reportado en el Título A de la NSR-10 (Ministerio de Ambiente, 2010) para perfiles de roca de rigidez media. En cuanto a la profundidad a la cual se alcanza esta velocidad, el valor estimado por el PATTS (UNAL, 2020) fue de aproximadamente 180 metros (z1.0). El valor z2.5 se obtuvo de los mapas presentados en la Figura 4-1, de la publicación de Poveda et al (2018), la cual propone una estructura de la velocidad cortical superior y media de los Andes colombianos a partir de una tomografía de ruido ambiental.

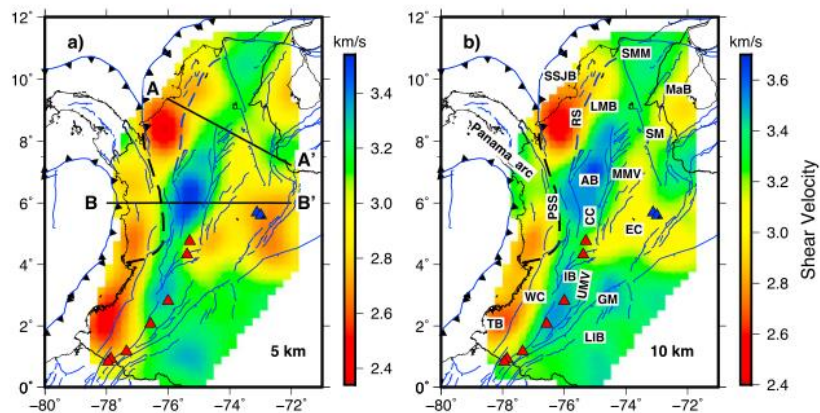


Figura 4-1: Vs para diferentes profundidades.

Fuente: (Poveda et al., 2018)

4.3 Mapas de amenaza

La amenaza se calculó en los centroides de cada manzana evaluada. El número de manzanas permitió que se pudiera realizar este procedimiento con el nivel de detalle indicado.

En la Figura 4-2 se presenta el mapa de amenaza para el escenario de 1906, del cual se obtuvieron valores de PGA entre 0.465-0.48 g en la zona de La Playa y 0.48 a 0.60 g en la zona de Salahonda.



Figura 4-2: Mapa de amenaza, escenario 1906 en términos de aceleraciones PGA

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4-3 presenta el mapa de amenaza para el escenario de 1979. Se evidencia una zonificación del valor de intensidad, tal como se presenta también para el escenario de 1906. Resultando los mayores valores para la zona de Salahonda (0.45 g-0.465 g) y menores para la zona de La Playa (0.435g-0.45 g).



Figura 4-3: Mapa de amenaza, escenario 1979 en términos de aceleraciones PGA

Fuente: Elaboración propia

En el análisis probabilista (ver Figura 4-4) se obtiene un panorama más homogéneo que para los escenarios de 1906 y 1979, resultando la mayoría de las manzanas en un intervalo de intensidad de 0.608 a 0.616 mientras que algunas manzanas en la parte más occidental reportan valores de 0.6 a 0.608 g. Esta es la modelación que mayores valores de aceleración presentó.

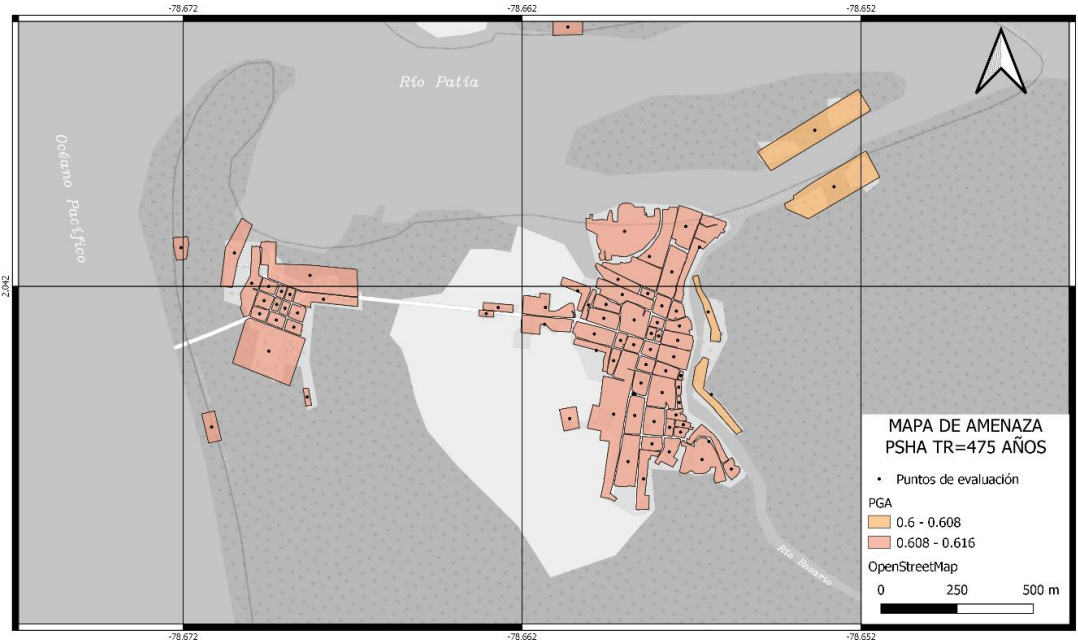


Figura 4-4: Mapa de amenaza probabilista, TR = 475 años con aceleración en PGA

Fuente: Elaboración propia

5 Exposición

En la exposición se identifican los elementos, tipologías y ubicación. Para Salahonda se clasificaron en cuatro tipologías constructivas, siguiendo la misma clasificación del proyecto para Tumaco (Medina, 2019):

- Palafitos: Estructuras de pórticos y muros elaborados con madera. Presentan pilotes que elevan la estructura principal, esto debido a que se encuentran en zonas inundables.
- Paneles de madera: Tienen un sistema estructural similar al de los palafitos, pero se encuentran contruidos a nivel del terreno.
- Mampostería: Edificaciones en mampostería simple, sin confinamiento ni refuerzo. Algunas viviendas presentan vigas de coronación.
- Pórticos de concreto: Sistema de pórticos de concreto reforzado con muros de relleno en mampostería.

A partir de imágenes satelitales, ortofotos, contraste con mapas de inundación y fotografías en el PATTS (UNAL, 2020) desarrolló un modelo preliminar de la exposición en Salahonda.

Dada la falta de cobertura de plataformas en la zona para corroborar la información (por ejemplo, Google Street). En el presente trabajo, se contrastó la información con algunas

fotografías georreferenciadas más recientes (Ver Figura 5-1 y Figura 5-2). Para hacer más eficiente el proceso de evaluación de daños, las edificaciones se agruparon por manzanas, tomando como base las manzanas censales del Marco Geoestadístico Nacional. Se compatibilizó la información, realizando ajustes de algunos polígonos y añadiendo algunos otros, para finalmente obtener los resultados presentados en la Figura 5-4.

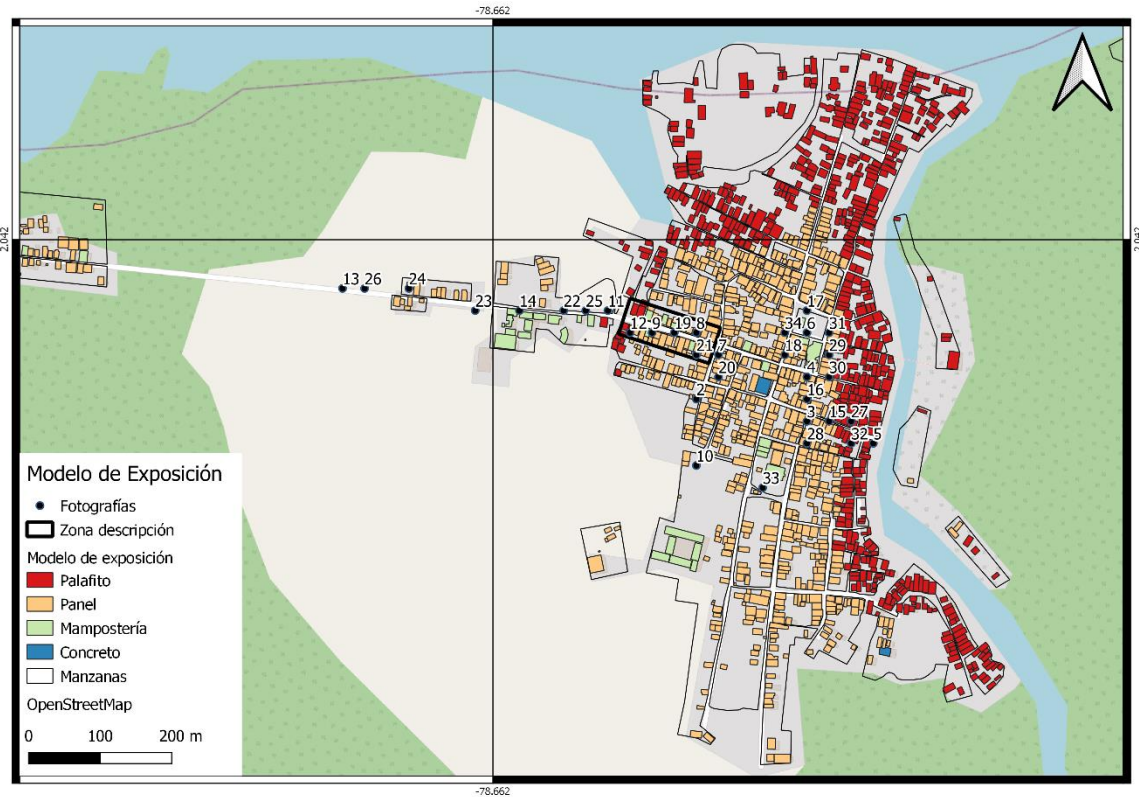


Figura 5-1: Modelo de exposición con ubicación de los puntos de fotografías

Fuente: Elaboración propia





Figura 5-2: Fotografías de Salahonda

Fuente: PATTS (UNAL, 2020)

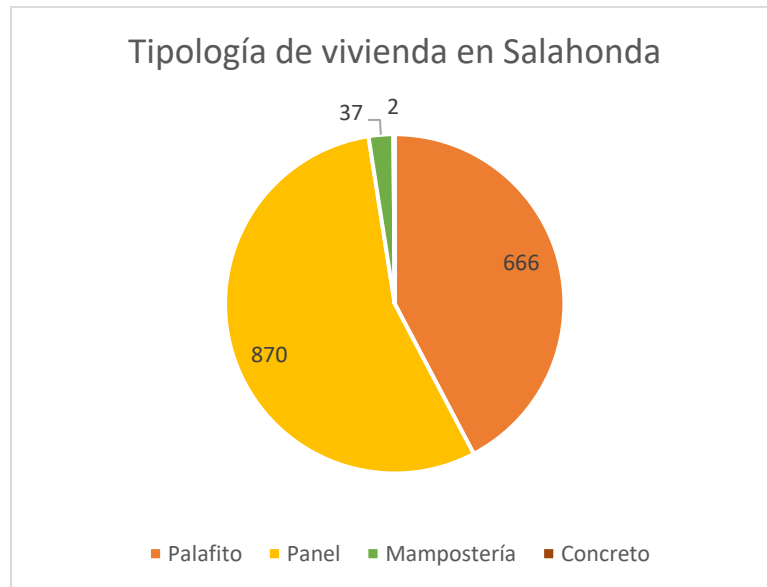


Figura 5-3: Tipología de vivienda en Salahonda

Fuente: Elaboración propia

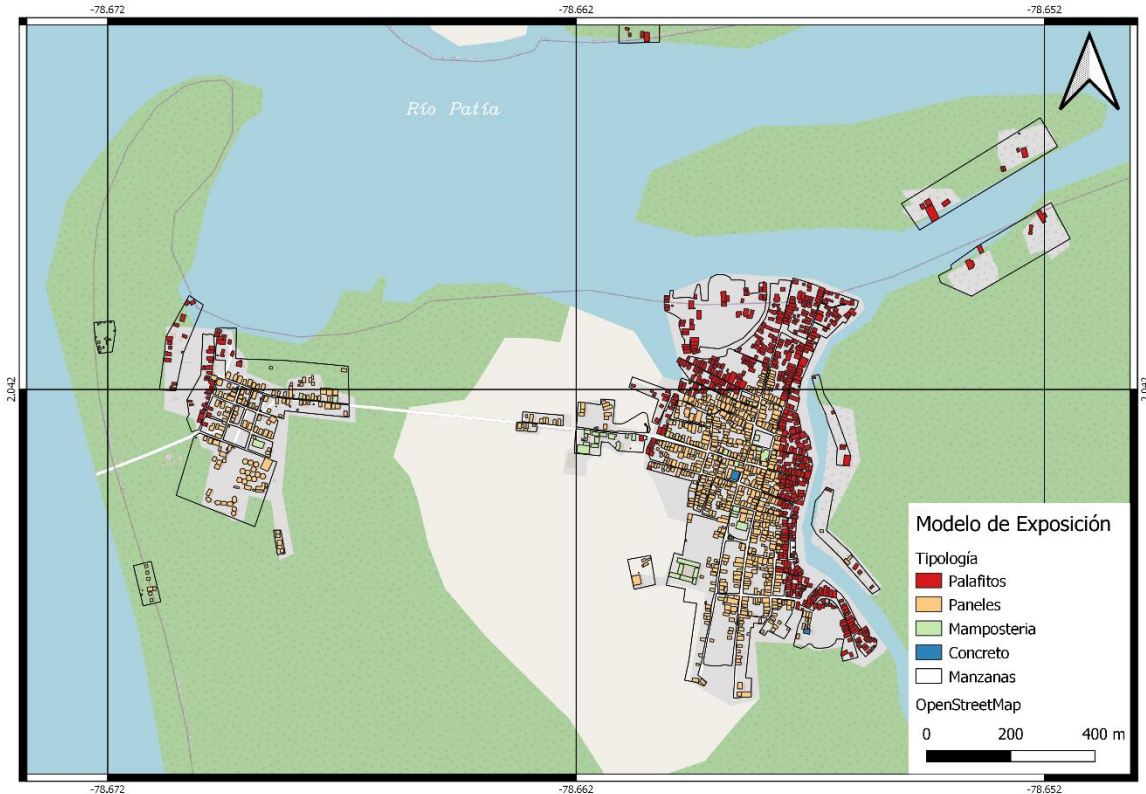


Figura 5-4: Modelo de exposición Salahonda

Fuente: Elaboración propia

6 Fragilidad

6.1 Aplicación de la metodología de selección de curvas

- **Palafitos**

Gran parte de las construcciones de Salahonda son de tipo palafítico o paneles de madera. Sin embargo, curvas de fragilidad de la primera tipología de edificaciones están poco documentadas en la literatura. En Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas se presentan algunas curvas encontradas, con su descripción y procedimiento de selección.

También, se realizó una gráfica para compilar las curvas encontradas cuyas unidades de intensidad pudieran unificarse. Se adicionaron las curvas obtenidas por Rivas (2020) desarrolladas para los palafitos de Tumaco como referencia para el estudio comparativo (Figura 6-1).

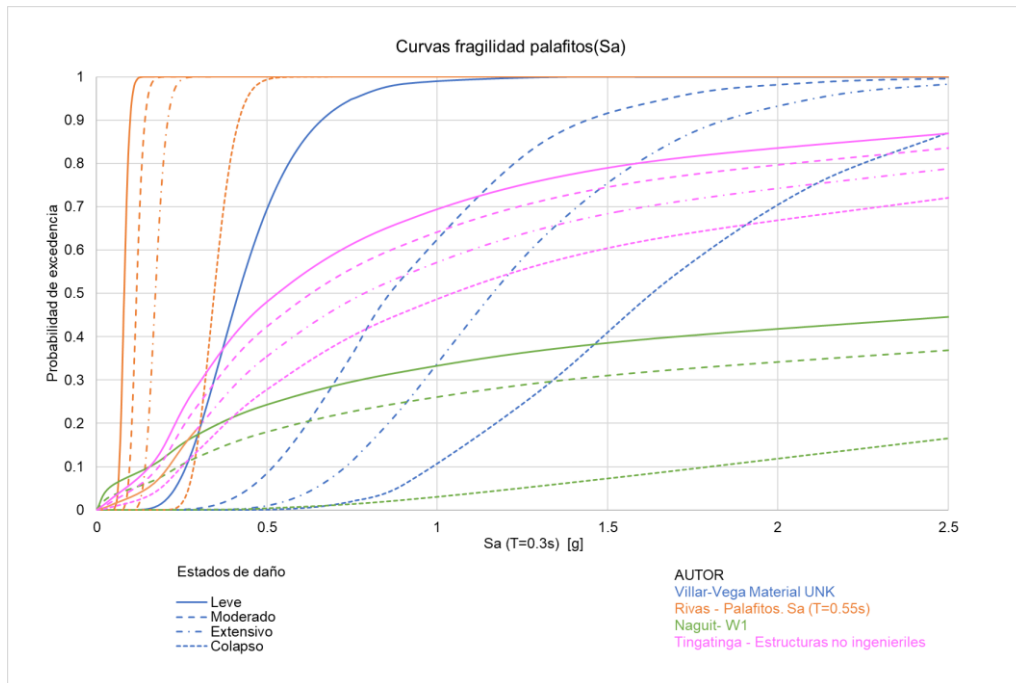


Figura 6-1: Curvas de fragilidad palafitos

Fuente: Adaptado de Villar-Vega et al. (2017), Rivas (2020), Naguit et al (2017) y Tingatinga et al (2019)

Algunas otras curvas como las de HAZUS (Fema & Hazus, 2012) cuya unidad de intensidad se presentan en la Figura 6-2. Si bien estas curvas no están desarrolladas para el contexto colombiano, la clasificación por método constructivo: Antes del código, permite tener un acercamiento a lo que podría ser la construcción de los Palafitos, ya que estos no siguen ningún código constructivo.

- **Paneles de madera**

Los paneles de madera difieren de los palafitos en su cimentación, la cual ya no es elevada y no se encuentran en zonas inundables de marea. Al igual que en el caso de los palafitos, se desarrolló la evaluación de las curvas en el Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas. En la Figura 6-2 se realizó la comparación de las curvas seleccionadas para palafitos y para paneles de madera, obteniendo que las curvas de fragilidad para paneles de madera presentan menores probabilidades de excedencia. Aunque ni los palafitos ni los paneles siguen un código constructivo, las curvas seleccionadas para esta tipología son las de HAZUS LOW CODE, para diferenciarlas de las curvas para palafitos, suponiendo que estos últimos por su estructura de cimentación son más frágiles que los paneles.

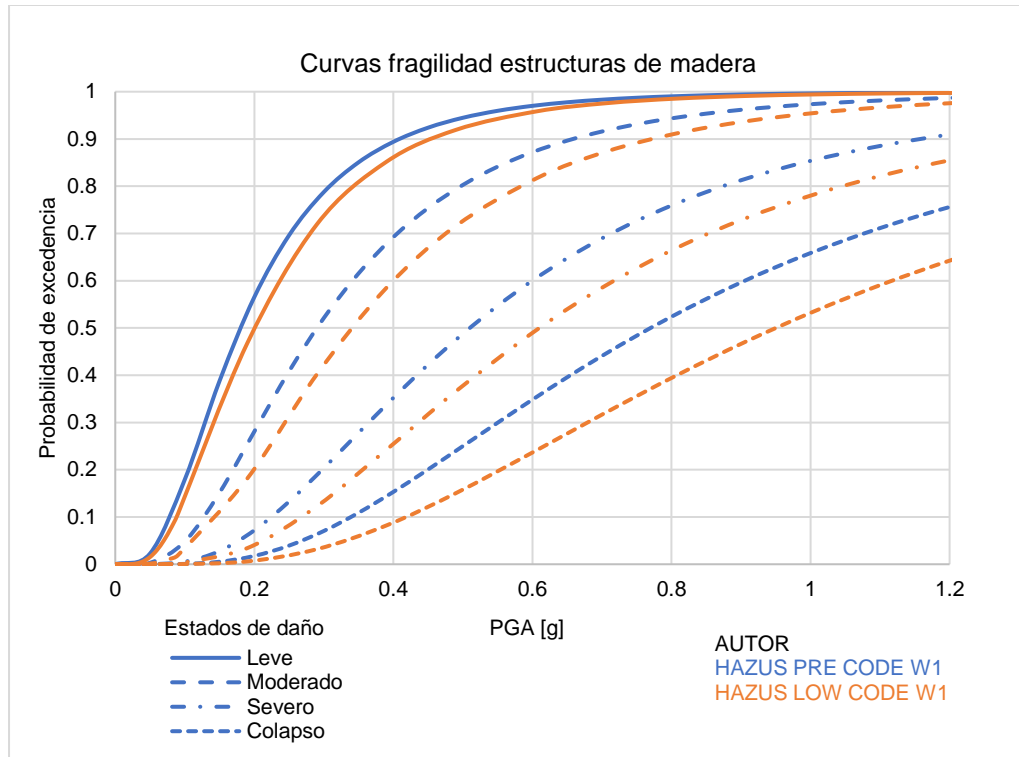


Figura 6-2: Curvas de fragilidad para estructuras de madera.

Fuente: Adaptado HAZUS (2020)

- **Estructuras de mampostería y concreto**

Las estructuras de mampostería de la zona se catalogaron como no reforzada y sin parámetros ingenieriles de construcción. Hay una gran variedad de curvas para este tipo y características de construcción y suelen ser desarrolladas por métodos analíticos. Las curvas consultadas y su puntuación para la selección se presentan en el Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas.

Para Colombia están desarrolladas las curvas de Acevedo et al. (2017), sin embargo, al realizar la comparación de los valores de probabilidades de excedencia para un sismo similar al de 1979, los estados de daño de estas curvas son mucho menores a los reportados, mientras que las curvas de HAZUS presentan valores más similares a los reportados.

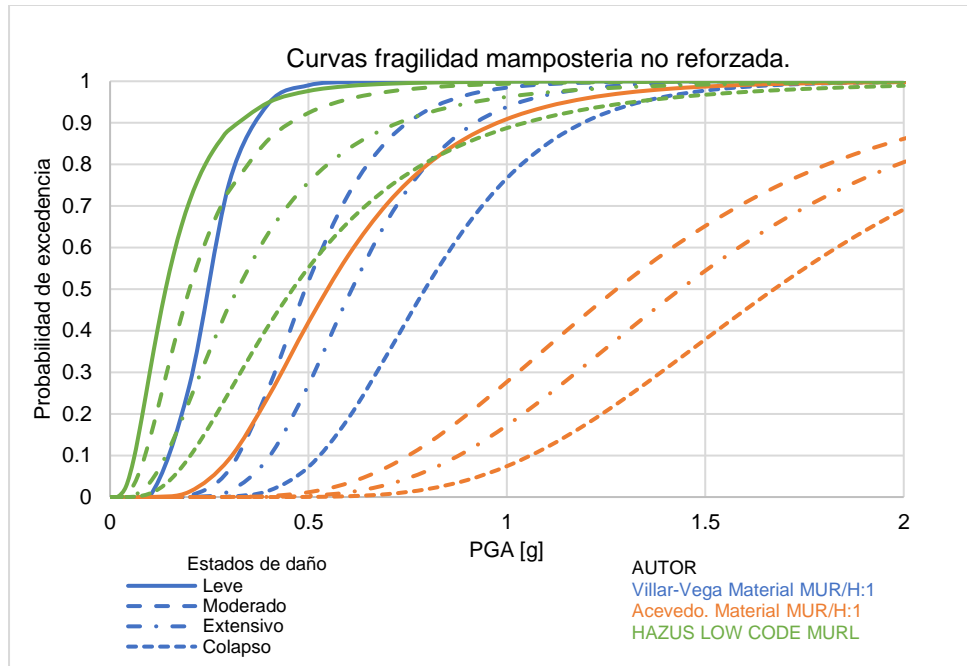


Figura 6-3: Curvas de fragilidad para mampostería no reforzada

Fuente: Adaptado de Villar-Vega et al. (2017), Acevedo et al.(2017), HAZUS (2020)

Con respecto a las edificaciones en concreto, se encuentran aquellas que son construidas con pocos parámetros ingenieriles y consisten en pórticos de concreto reforzado con relleno de mampostería.

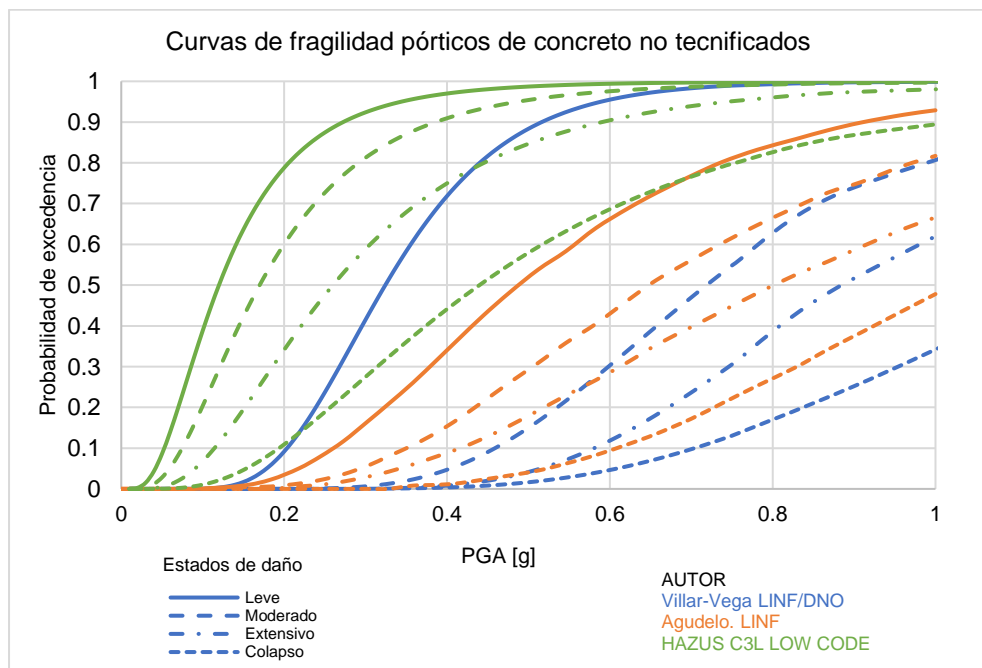


Figura 6-4: Curvas de Fragilidad construcciones de concreto, no tecnificados

Fuente: Adaptado de Villar-Vega et al (2017), Agudelo et al (2009) y HAZUS (2020)

6.2 Modelo de fragilidad

Finalmente, para cada tipología de edificación se presentan en la Tabla 6-1 las curvas de fragilidad seleccionadas:

Edificación	# Pisos	Descripción	Nomenclatura (GEM)	IM	Documento	Autor
Palafitos	1	Construcciones de menos de 460 m2, con sistema estructural y no estructural de madera normalmente no ingenieriles. No siguen código constructivo	W+WLI/LWA L/HBET:1,2	PGA	HAZUS 4.2 Earthquake Model - Technical Manual	FEMA, HAZUS (2020)
Paneles de madera	1	Construcciones de menos de 460 m2, con sistema estructural y no estructural de madera normalmente no ingenieriles. Se plantea que siguen un código constructivo para sismo poco estricto.	W+WLI/LWA L/HBET:1,2	PGA		
Mampostería	1 a 3	Mampostería no reforzada	MUR/H:1	PGA		
Pórticos de concreto	1 a 3	Pórticos de concreto reforzado, con relleno de mampostería. Estándares constructivos bajos para efectos sísmicos	CR/LFINF/HB ET:1,3	PGA		

Tabla 6-1: Curvas de fragilidad seleccionadas

Fuente: Adaptado de HAZUS (FEMA, 2020)

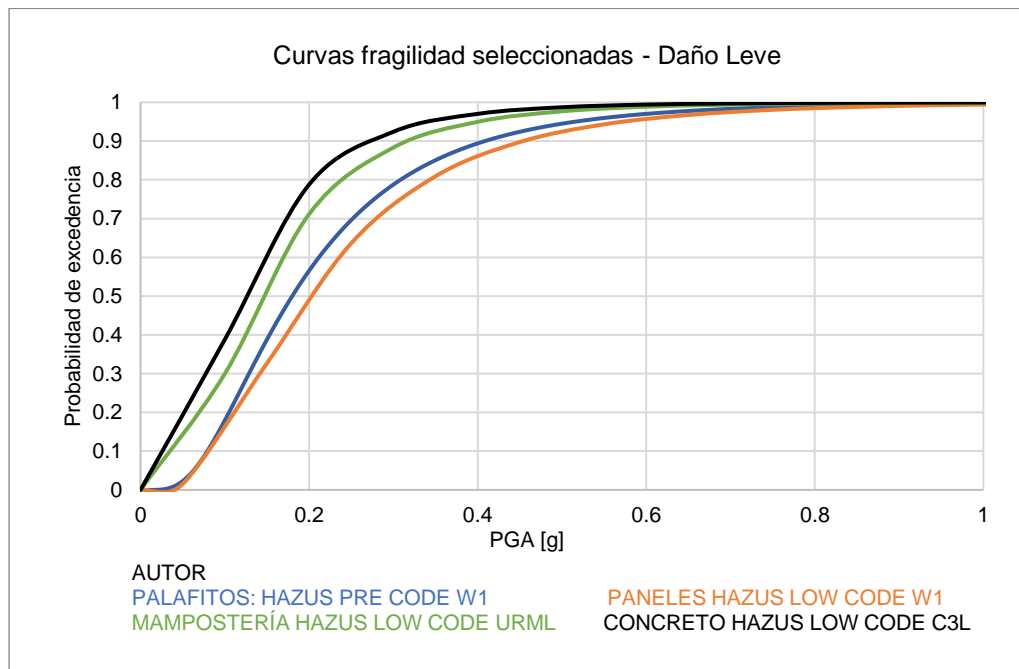


Figura 6-5: Curvas de fragilidad seleccionadas. Representación daño Leve

Fuente: Adaptado de HAZUS (FEMA, 2020)

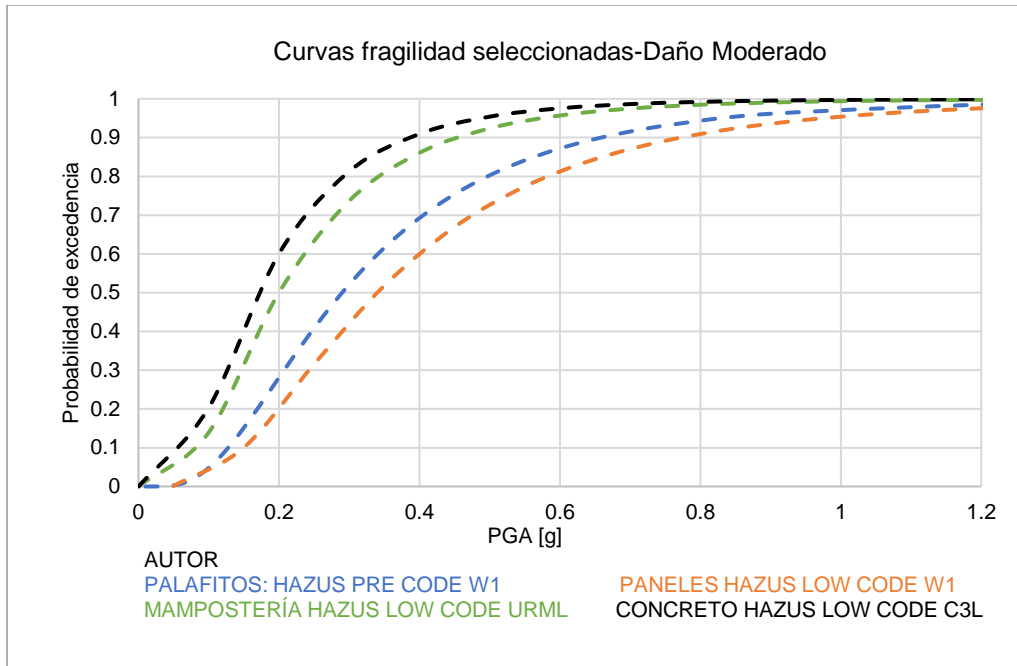


Figura 6-6: Curvas de fragilidad seleccionadas. Representación daño Moderado

Fuente: Adaptado de HAZUS (FEMA, 2020)

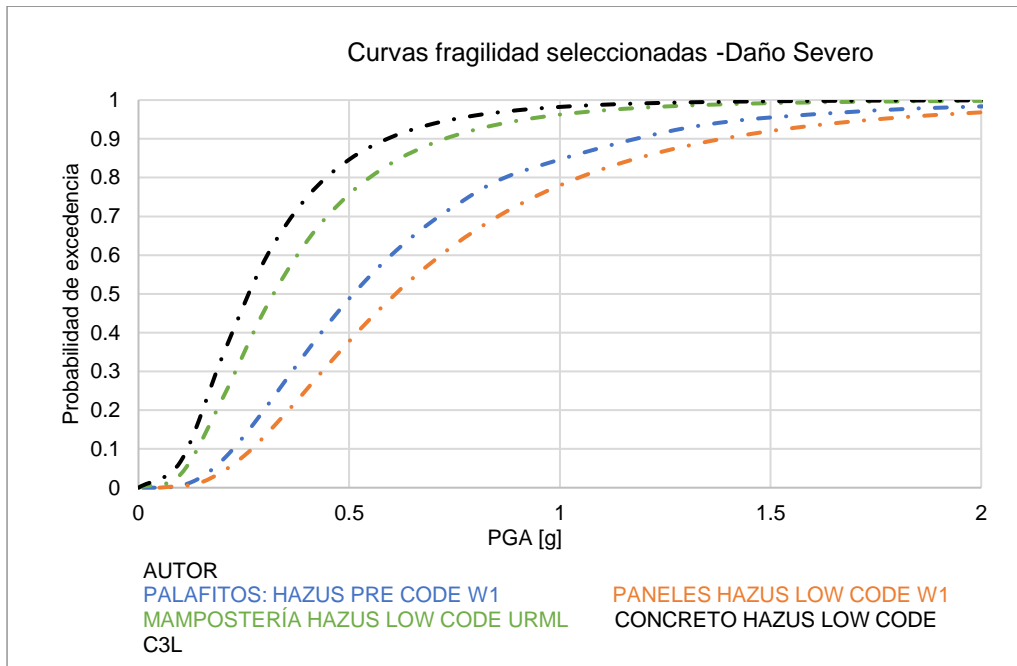


Figura 6-7: Curvas de fragilidad seleccionadas- Representación daño Severo

Fuente: Adaptado de HAZUS (FEMA, 2020)

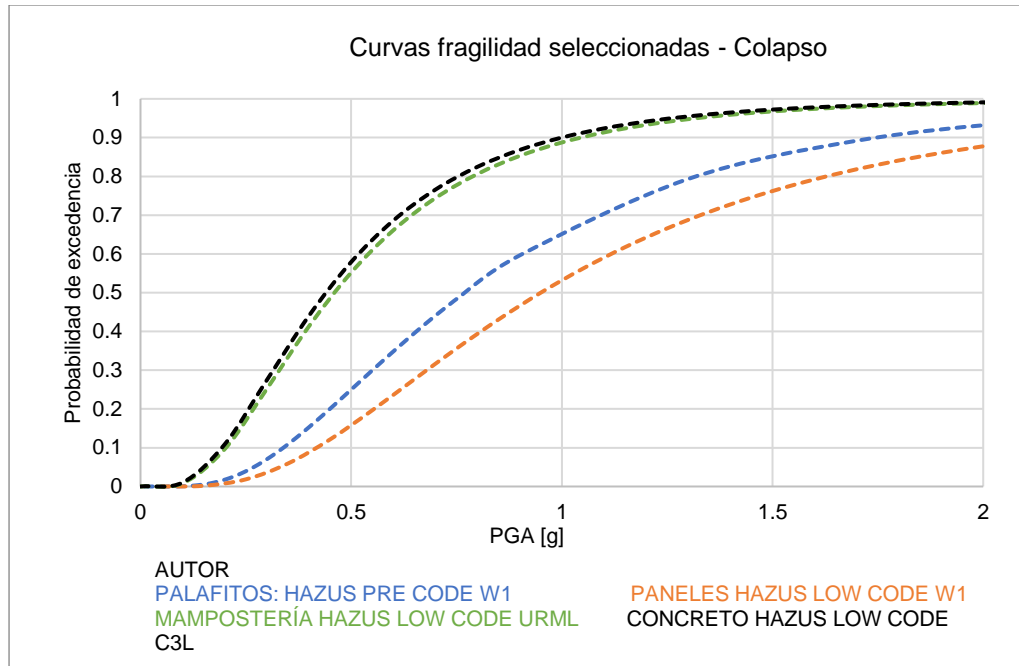


Figura 6-8: Curvas de fragilidad seleccionadas. Representación de Colapso.

Fuente: Adaptado de HAZUS (FEMA, 2020)

Las curvas seleccionadas para todas las tipologías son las de HAZUS. Estas curvas fueron desarrolladas por métodos analíticos, en las cuales a partir de un espectro de demanda obtenido luego del análisis PESH (*Potential Earth Science Hazards*) se lleva a cabo el análisis estático no lineal (pushover) de la estructura a partir del cual se desarrolla la curva bilineal de capacidad de la estructura. Con esta curva, se establecieron los siguientes parámetros para determinar los niveles de daño.

Nivel de diseño sísmico	Tipo de construcción (baja altura)	Valor de deriva en el umbral de daño			
		Leve	Moderado	Severo	Completo
Bajo código	W1	0.003	0.010	0.031	0.075
	C3L,URML	0.003	0.006	0.016	0.044
Antes del código	W1	0.003	0.008	0.025	0.060

Tabla 6-2: Parámetros para definir estados de daño.

Fuente: Adaptado de HAZUS (FEMA, 2020)

Describiendo cada estado de daño como:

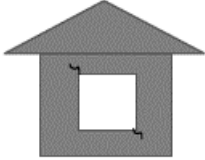
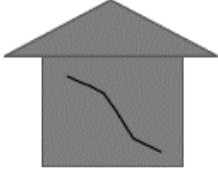
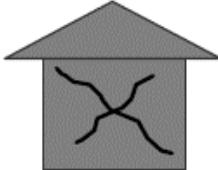
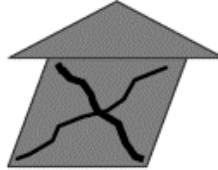
Estado de daño	Descripción
<p data-bbox="282 287 342 310">Leve</p> 	<p data-bbox="553 287 1414 344">pequeñas en esquinas de aperturas de ventanas y puertas, así como pequeñas fisuras en muros de mampostería.</p>
<p data-bbox="282 564 402 588">Moderado</p> 	<p data-bbox="553 564 1414 621">Fisuras grandes en esquinas de aperturas de ventanas y puertas, fisuras pequeñas</p>
<p data-bbox="282 821 370 844">Severo</p> 	<p data-bbox="553 821 1414 911">Grandes fisuras en trayectorias diagonales sobre paneles de corte, movimiento lateral permanente en entrepisos y en techo. Desplazamiento de la estructura sobre su fundación y colapso parcial del primer piso.</p>
<p data-bbox="282 1100 396 1123">Completo</p> 	<p data-bbox="553 1100 1414 1215">Grandes desplazamientos laterales en la estructura, posible colapso o en inminente peligro de colapso debido a la falla de muros o a la falla del sistema de resistencia ante cargas laterales. Algunas estructuras se han desplazado a tal punto de encontrarse fuera de la cimentación.</p>

Tabla 6-3: Definición de estados de daño según HAZUS

Fuente: Adaptado de HAZUS (FEMA, 2020)

7 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad por medio del análisis de daños, permiten obtener un acercamiento a las consecuencias directas de un sismo y conocer en qué grado, los efectos no deseables pueden ocurrir.

7.1 Análisis de daños por eventos

7.1.1 Sismo 1906

La mayoría de los puntos evaluados en este análisis reportaron valores de aceleración media de alrededor de $PGA = 0.5g$, este valor ya en superficie. Se obtuvo que la mayoría de las estructuras se encuentran en estado de daño moderado (34%) y la distribución de

los daños leve (17%), severo (21%) y colapso (20%) es relativamente similar, como se muestra en la Figura 7-1.

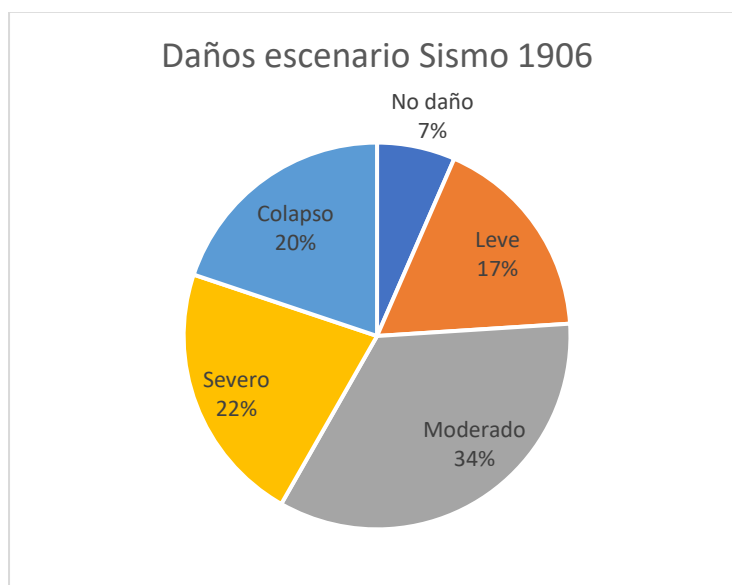


Figura 7-1: Daños para escenario de 1906

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7-2 se presenta la proporción de viviendas en estado de colapso por cada manzana. Se observa que una única manzana está en el intervalo de 80 – 100 % de viviendas colapsadas, esta corresponde a la manzana de la plaza del pueblo en la que hay una sola construcción que se clasificó como mampostería y que corresponde a una tarima (Figura 7-3), que al no tener confinamiento lateral posiblemente falle, pero por ser una estructura liviana las consecuencias desfavorables son menores.

Hay un porcentaje mayor de colapsos (20-40%) en las viviendas a la rivera de los ríos. Las construcciones en estas zonas son principalmente palafíticas, lo que las hace más frágiles que las construcciones de madera hacia la parte central del pueblo e incluso algunas manzanas del sector de La Playa.

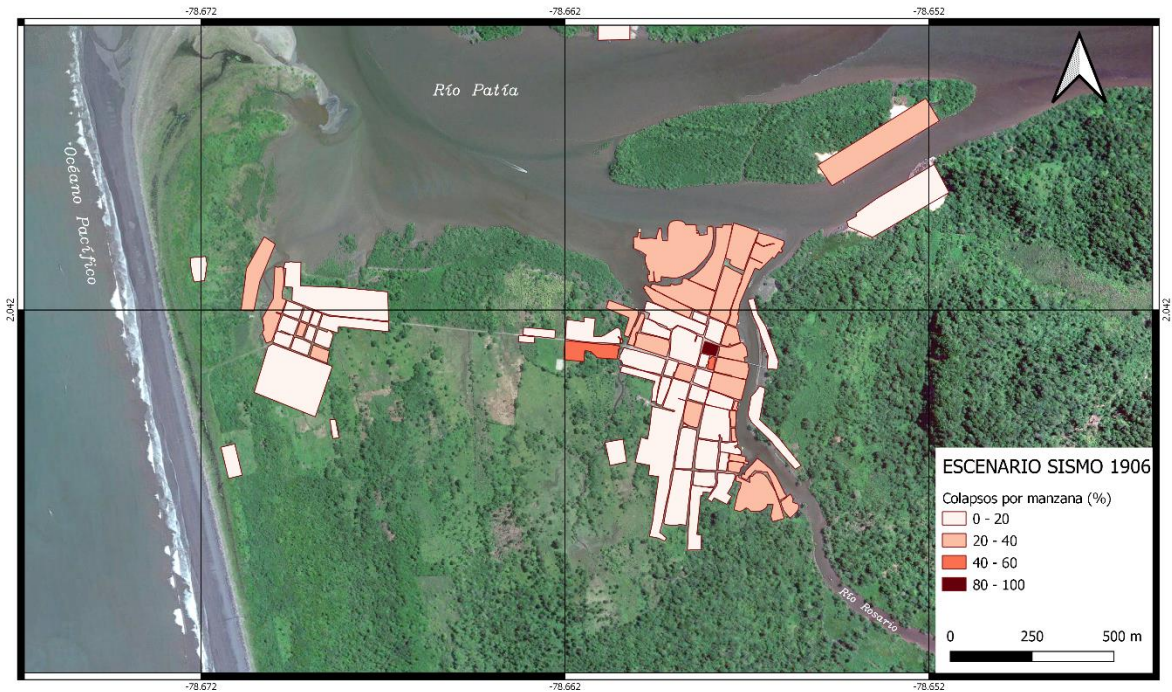


Figura 7-2: Colapsos por manzana, escenario 1906

Fuente: Elaboración propia



Figura 7-3: Estructura en la plaza central del pueblo, manzana que presentaría 100% de colapso..

Con respecto al daño predominante en cada manzana (Tabla 7-1), se observa en la Figura 7-4, que en la mayoría de las hay manzanas (67 manzanas, 87 % del total) el estado de daño moderado es el que predomina. De las 8 manzanas en las que predomina el colapso, la mitad corresponde a sectores con viviendas de materiales rígidos como mampostería o concreto, la otra parte son manzanas con poca densidad de viviendas como las que se encuentran en la orilla del río Rosario.

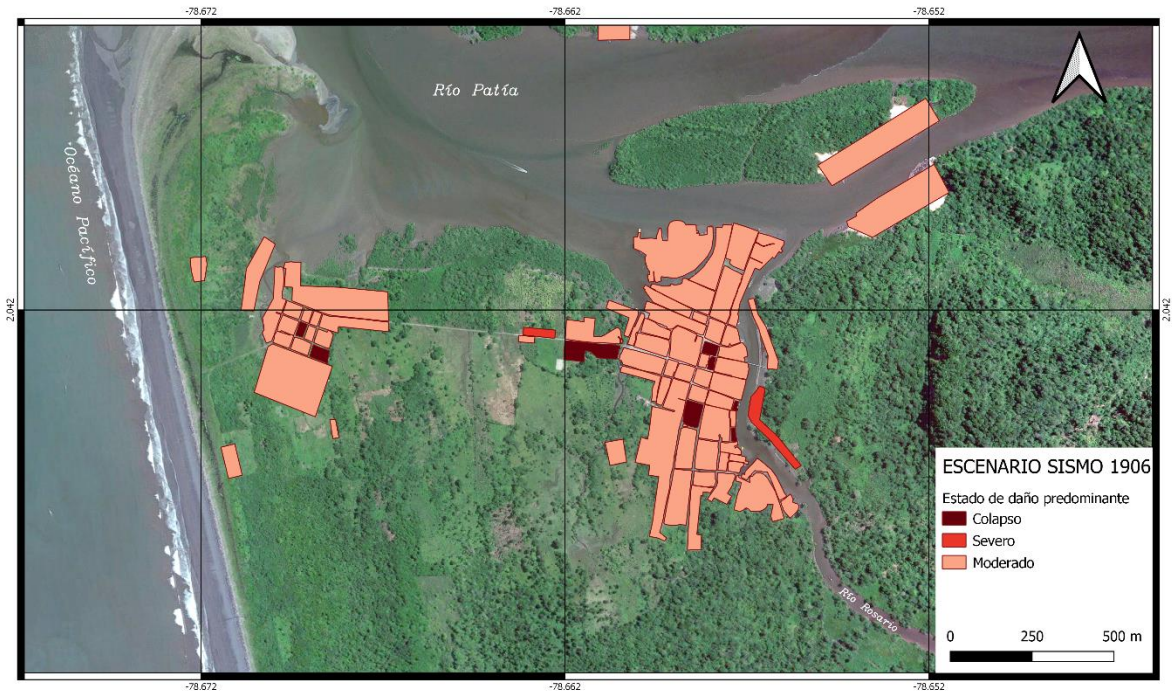


Figura 7-4: Estado de daño predominante, escenario de 1906.

Fuente: Elaboración Propia

Escenario 1906		
Estado de daño	Número de manzanas con estado de daño predominante	Manzanas con estado de daño predominante (%)
Colapso	8	10.4%
Severo	2	2.6%
Moderado	67	87.0%

Tabla 7-1: Estado de daño predominante por manzana, escenario de 1906

Fuente: Elaboración propia

7.1.2 Sismo 1979

7.1.2.1 Método analítico

La mayoría de los puntos evaluados en este análisis reportaron valores de aceleración media de alrededor de $PGA = 0.45g$. Se obtuvo que la mayoría de las estructuras se encuentran en estado de daño moderado (35%) y la distribución de los daños leve (19%), severo (21%) y colapso (17%) es relativamente similar, como se muestra en la Figura 7-5.

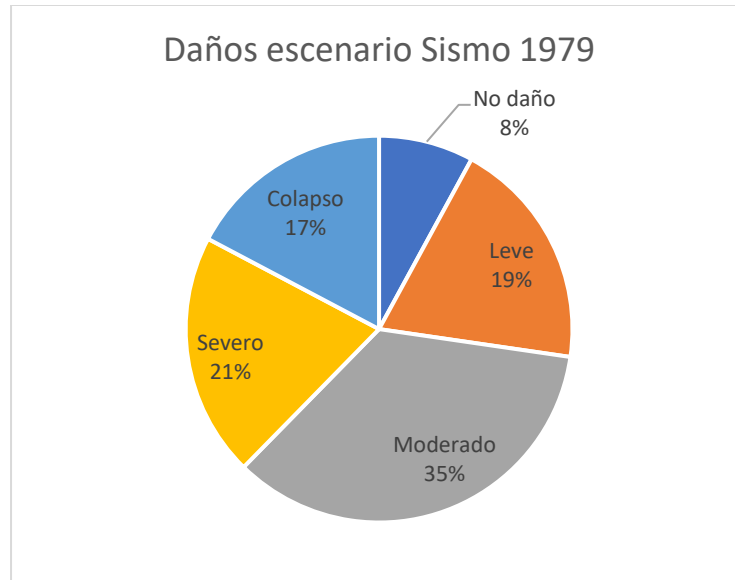


Figura 7-5: Daños por escenario de 1979.

El escenario de colapsos para el sismo de 1979 muestra un panorama homogéneo en el que la mayoría de las manzanas se encuentran en el intervalo de 0-20% de colapsos. De nuevo, la plaza del pueblo es la manzana que está en el porcentaje más alto de colapsos (80-100%). En cuanto al intervalo de 20-40 % no hay un patrón claro, pero la mayoría de las manzanas son las que están en las orillas de los ríos y tienen construcciones de tipo palafítico.



Figura 7-6: Colapsos por manzana, escenario de 1979.

Fuente: Elaboración Propia

El estado de daño por manzana que más se presenta en este escenario es el moderado (67 manzanas, 87 % del total), lo cual concuerda también con la distribución de daños presentada en la Figura 7-5 y adicionalmente es el mismo valor que se reportó para el escenario de 1906. Sin embargo, a diferencia del otro escenario se tienen 3 manzanas con daño predominante leve, pues en el de 1906 no hubo ninguna manzana que tuviera este estado de daño predominante.

Con respecto a los colapsos, pese a que solo una manzana presentara porcentaje de colapso entre 80- 100 %, hay algunas otras en las que el colapso representa la mayor fracción de daño dentro de la manzana y estas particularmente son las que tienen construcciones en materiales rígidos como la mampostería y el concreto.

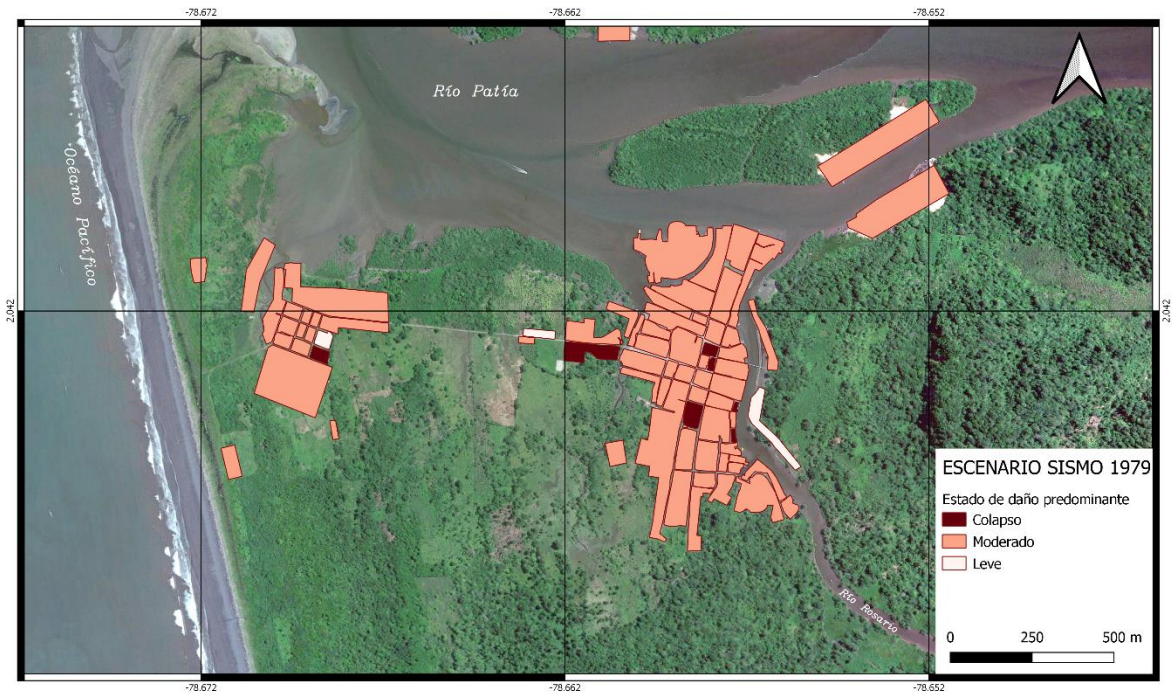


Figura 7-7: Estado de daño predominante, escenario de 1979

Fuente: Elaboración Propia

Escenario 1979		
Estado de daño	Número de manzanas con estado de daño predominante	Manzanas con estado de daño predominante (%)
Colapso	7	9.1%
Moderado	67	87.0%
Leve	3	3.9%

Tabla 7-2: Estado de daño predominante por manzana, escenario de 1979

Fuente: Elaboración propia

7.1.2.2 Entrevistas

Se lograron recuperar ocho testimonios de habitantes de Salahonda o veredas aledañas que vivieron el sismo de 1979 en la región (Ver Anexo B: Entrevistas). Esta recopilación histórica es importante no solamente para validar o contrastar los resultados de daños estructurales sino también para dar cuenta de la idiosincrasia de sus habitantes, cómo fueron sus experiencias y a futuro, evaluar alternativas de mejora para la prevención y atención de desastres.

Cuentan sus habitantes que en la noche del día 12 de diciembre de 1979, mientras se encontraban durmiendo la mayoría de ellos, hubo un fuerte movimiento que sacudió Salahonda. Como acto de fe, corrieron muchos hacia la iglesia y notaron que únicamente la estatua del Señor de Mar se encontraba en pie, lo cual para ellos fue una señal. La sacaron y la ubicaron en la plaza principal, y fue hasta ese punto, relatan, que llegó la ola que inundó el pueblo como respuesta natural al terremoto que se presentó.

La ola, que nombran mejor como un aumento grande de marea o “puja” descontrolada, al parecer entró por dos frentes al pueblo. El primero proveniente del Océano Pacífico hacia el oriente e inundó principalmente el sector de La Playa. El segundo se presentó por el aumento del nivel del agua del río Patía (debido al aumento del nivel del mar), que generó su desbordamiento hacia el barrio La Playita, en la parte norte de Salahonda. Aunque hubo viviendas dañadas por este aumento de nivel del agua, al parecer la ola no impactó con tal fuerza como lo hizo en otros municipios como San Juan de la Costa, la costa de Tumaco o el Charco y por ello los heridos y víctimas fatales en Salahonda fueron mucho menores.

Las viviendas de los entrevistados que habitaban propiamente en Salahonda, todas eran de madera y la mayoría de los relatos concuerdan en que sus casas no colapsaron, pudieron salir de ellas, pero la mayoría quedaron “canteadas”, ladeadas o hundidas, pues se abrieron grandes grietas en el suelo. Este fenómeno permite inferir que en Salahonda se presentó licuación del suelo.

Algunos relatos de personas que no se encontraban propiamente en Salahonda sino en veredas cercanas, narran la dificultad que hubo en la comunicación, el cierre de los pasos naturales como esteros a causa del incremento del nivel de agua y los sedimentos y materiales que impedían el paso. Así también, hay un relato conmovedor que menciona personas ahogadas y niños desaparecidos, cuya causa es incierta, pudo ser por la ola o por la falta de organización en la atención humanitaria luego del evento.

7.2 Análisis probabilista de daños

El análisis probabilista se simuló para un periodo de retorno de 475 años, en una ventana de observación de 50 años. La mayoría de los puntos evaluados en este análisis reportaron valores de aceleración media de alrededor de $PGA = 0.6g$. Se obtuvo que la mayoría de las estructuras se encuentran distribuidas entre los daños moderado, severo y colapso como se muestra en la Figura 7-8.

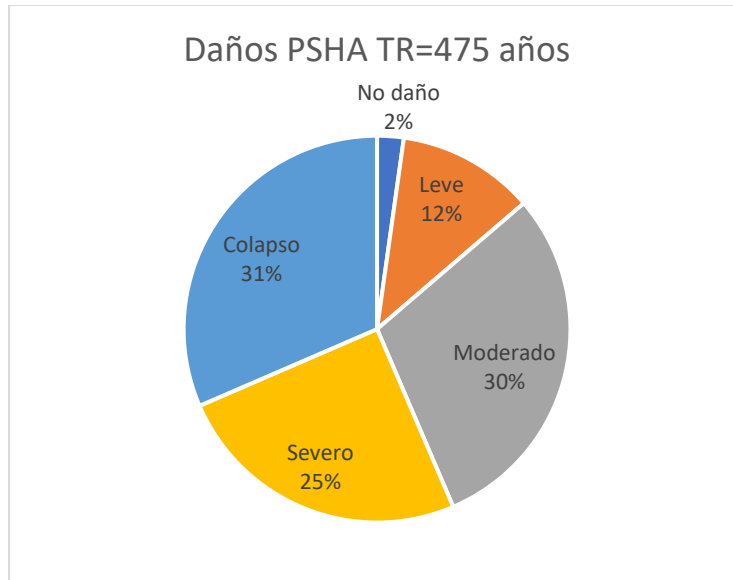


Figura 7-8: Daños amenaza probabilista, TR=475 años

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de porcentajes de colapsos para el escenario probabilista se presentan en la Figura 7-9 . Se observa que la mayoría de las manzanas presenta un porcentaje de colapsos entre el 20-40 % y hay 14 manzanas en el intervalo de 40 -60 % de colapsos en el área.

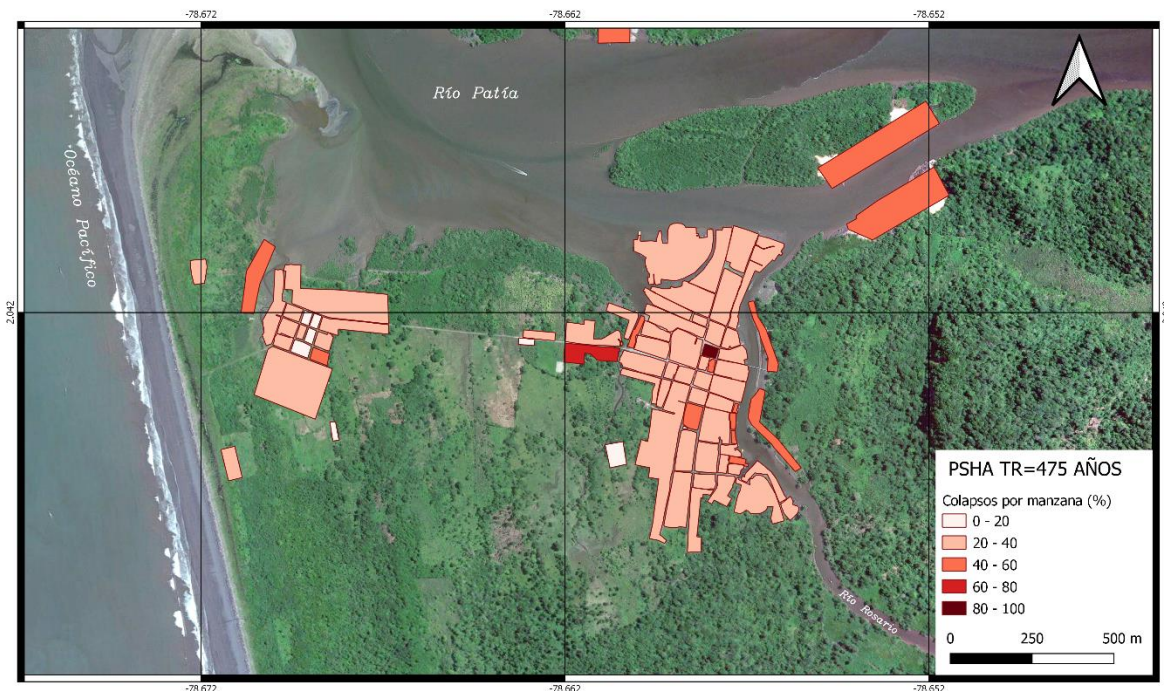


Figura 7-9: Viviendas en colapso, PSHA TR=475 años

Fuente: Elaboración propia

Este escenario presenta resultados más desfavorables en términos de daños. Se observa en la Figura 7-10 que en las manzanas que se encuentran en las riveras de los ríos, el estado de daño predominante es el de colapso. Se resalta que estas son zonas de construcciones palafíticas y que, aunque la madera tenga un buen comportamiento estructural, las uniones y tipo de cimentación las hace más frágiles y propensas a colapsar que los paneles. La mayoría de estos últimos, se ubican en las manzanas de la parte central de Salahonda, en las zonas no inundables y por ello, en estas manzanas el daño predominante es el moderado.

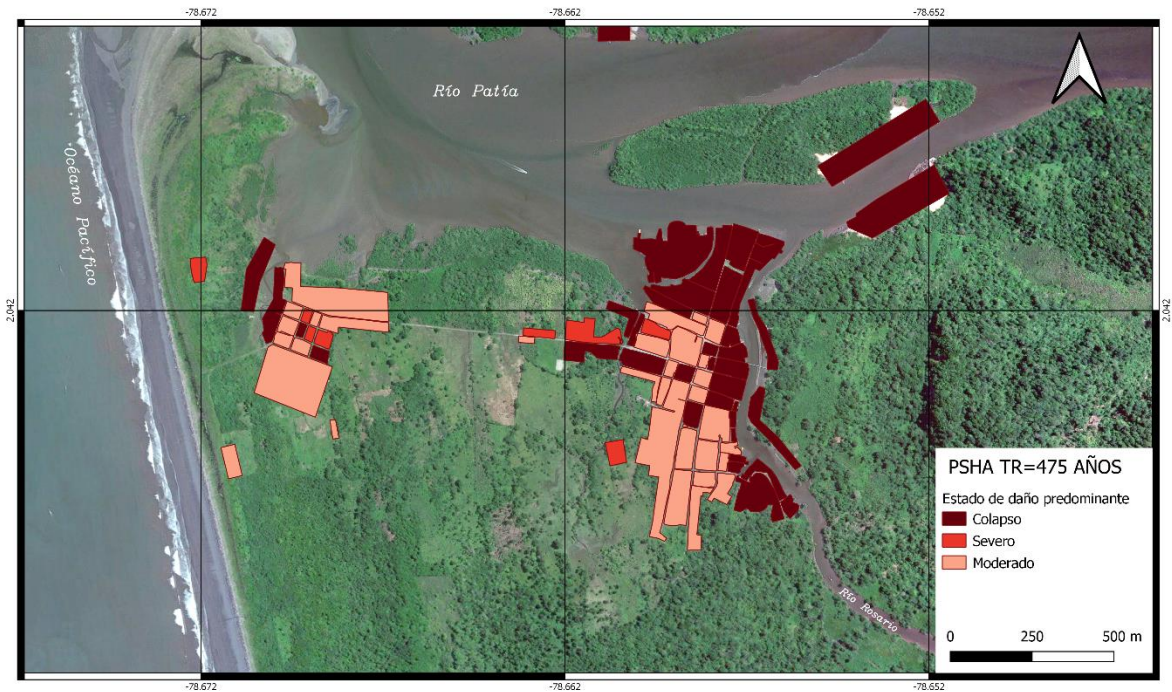


Figura 7-10: Estado de daño predominante, PSHA TR=475 años

Fuente: Elaboración Propia

8 Análisis general de resultados

Con la modelación de la amenaza, se obtuvieron valores de aceleración pico del terreno (PGA) alrededor de 0.45 g, 0.48 g y 0.6 g para las modelaciones de 1979, 1906 y el escenario probabilista respectivamente.

Referente al proceso de ajuste del modelo de exposición, se verificó que la mayoría de las construcciones en Salahonda son de madera de uno y dos niveles, clasificadas entre palafitos y paneles de madera y construidas sin mayores parámetros técnicos. Con base en esto, los resultados están dominados por la respuesta estructural de las construcciones mencionadas. Por ello, era de gran importancia encontrar curvas de fragilidad que permitieran describir una respuesta cercana a la que tendrían estos elementos frente a un sismo, pues propiamente para la región, están las curvas propuestas por Rivas (2020) para

palafitos, pero no había otros estudios adelantados que permitieran realizar contrastes adicionales

Una vez obtenida la amenaza, se realizó un proceso de retroalimentación para evaluar los daños con las curvas desarrolladas para construcciones que se asemejaran a las de Salahonda. De ahí se obtuvo que las curvas de fragilidad de HAZUS (FEMA, 2020) aunque no son desarrolladas para la región de estudio, permiten obtener una respuesta semejante a lo reportado de los daños del sismo de 1979. Además, HAZUS propone curvas para los materiales estructurales de madera, mampostería y concreto, con diferentes niveles de tecnificación en el diseño y construcción de las viviendas, criterio que también favoreció la selección de estas curvas de fragilidad.

Como los daños dependen directamente de los niveles de intensidad, la mayor proporción de colapsos se obtuvo para el análisis con mayor intensidad, en este caso el probabilista con periodo de retorno 475 años, con porcentaje de colapsos igual al 31 %. Para el caso de 1906 la proporción de colapsos fue menor, con un valor de 20 % y para el escenario de 1979 fue de 17 %.

Para el escenario de 1979 por el método analítico se obtuvo que el 17% de las edificaciones colapsaron, el 21 % se encontraba en daño severo, había un 35 % de edificaciones en daño moderado, 14 % en daño leve y el 8% sin daños. Con base en la recopilación histórica la mayoría de las viviendas se pueden clasificar en un estado de daño entre moderado y severo.

De los mapas de distribución de daños (Figura 7-4, Figura 7-7 y Figura 7-10) se puede observar homogeneidad y ciertos patrones en la distribución de estos. La homogeneidad se explica porque la mayoría de las construcciones de Salahonda son del mismo material: madera y todas tienen procesos constructivos similares. En cuanto a los patrones, en especial el análisis probabilista pero también el escenario de 1906, permiten identificar que, a las riveras de los ríos, los daños son más severos, pues en estas zonas inundables se encuentran los palafitos que son estructuras más frágiles que los paneles de madera.

9 Conclusiones

Se realizó la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de Salahonda empleando métodos analíticos y se obtuvo que para los escenarios de 1906 y 1979, la mayoría de las edificaciones quedaron en estado moderado de daño. En el análisis probabilista, los mayores porcentajes de daño se obtuvieron para colapso y daño moderado.

Las curvas de fragilidad seleccionadas para Salahonda fueron las reportadas por HAZUS, las cuales presentan parámetros similares como el material y la tecnificación en la construcción. Adicionalmente, los resultados obtenidos por el método analítico y la recopilación histórica se asemejan, por lo que puede decirse que las curvas de fragilidad seleccionadas sí son un buen acercamiento a la respuesta ante sismo.

La información del municipio Francisco Pizarro y particularmente Salahonda era limitada, por lo cual se hizo necesaria la búsqueda de diferentes fuentes para ajustar el modelo de exposición y las condiciones de Salahonda. Los resultados de esta búsqueda constituyen un aporte para la comprensión de las características físicas de las viviendas del Municipio, además permiten conocer los efectos sufridos por el sismo de 1979 como dato testimonial, tanto desde el punto de vista de lo ocurrido como de la propia respuesta de la gente. En general se logra reunir una serie de elementos que aportan a la identificación de sus condiciones, para que sean profundizados nuevos estudios.

La comparación de las curvas de fragilidad seleccionadas (HAZUS) y la recopilación histórica permite concluir que las construcciones de madera en comparación con estructuras de mampostería simple y concreto de baja tecnificación presentan un mejor comportamiento estructural para eventos sísmicos de gran magnitud.

10 Recomendaciones

La tendencia actual es construir edificaciones en concreto, sustituyendo construcciones en otros materiales como la madera. Sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo, tanto de la modelación como de los registros históricos consultados indican que para eventos sísmicos fuertes la madera tiene un buen comportamiento por su flexibilidad. Por ello, se recomienda profundizar y conocer más sobre las construcciones propias de la zona para identificar las bondades y deficiencias en las técnicas constructivas y proponer mejoras.

De acuerdo con la recopilación histórica, para posteriores análisis en Salahonda deben tenerse en cuenta otros fenómenos como la licuación del suelo, pues esta fue la principal causa de daño de las viviendas, según se pudo detectar en los relatos.

Existen varios métodos y softwares para evaluar la vulnerabilidad estructural de una zona, el empleado en este trabajo fue Openquake y permitió obtener un acercamiento a los posibles efectos de los sismos modelados. Sin embargo, tiene limitaciones como la aproximación a un solo parámetro (V_s) para evaluar los efectos de sitio, por ello para

trabajos futuros sería un buen ejercicio contrastar los resultados obtenidos con métodos que incluyan más parámetros en el sector.

Se requiere desarrollar curvas que representen mejor los elementos, materiales y técnicas constructivas propias de la zona, para así obtener resultados más cercanos a la vulnerabilidad de Salahonda. Esto implica trabajos tanto de laboratorio, con materiales propios de la región como de modelaciones numéricas.

Referencias

- Abrahamson, N. A., Silva, W. J., & Kamai, R. (2014). Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1025–1055. <https://doi.org/10.1193/070913EQS198M>
- Abrahamson, N., Gregor, N., & Addo, K. (2016). BC Hydro Ground Motion Prediction Equations for Subduction Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 32(1), 23–44. <https://doi.org/10.1193/051712EQS188MR>
- Acevedo, A. B., Jaramillo, J. D., Yepes, C., Silva, V., Osorio, F. A., & Villar, M. (2017). Evaluation of the seismic risk of the unreinforced masonry building stock in Antioquia, Colombia. *Natural Hazards*, 86, 31–54. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2647-8>
- Agudelo, J. A., & López Rodríguez, R. R. (2009). CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ESTRUCTURAS DE PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO CON PAREDES DE MAMPOSTERIA. CASO DE ESTUDIO: ESTRUCTURAS DE 1 Y 2 NIVELES EN PUERTO RICO. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 9(2), 163.
- Arias, C. (2021). *Evaluación de la Amenaza y Riesgo Sísmico de la ciudad de Tumaco mediante el uso de CAPRA y OPENQUAKE (Versión preliminar)*. Universidad Nacional de Colombia.
- Bulajic, B., & Manic, M. (2006). Selection of the appropriate methodology for the deterministic seismic hazard assessment on the territory of the Republic of Serbia. *Facta Universitatis - Series: Architecture and Civil Engineering*, 4(1), 41–50. <https://doi.org/10.2298/fuace0601041b>
- Carey, B. D., & Clarke, R. P. (2012). *Fragility Functions for a Pervasive Unique Form of Seismic Fragility Functions for Typical URM Single-Story Residential Structures in Trinidad and Tobago Construction in a Region with Very High Potential for Social Losses*.
- Cauzzi, C., Faccioli, E., Vanini, M., & Bianchini, A. (2015). Updated predictive equations for broadband (0.01–10 s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(6), 1587–1612. <https://doi.org/10.1007/s10518-014-9685-y>
- Chavez, M. (2019, December 11). Aquel 12 de diciembre de 1979, a las 3 de la mañana . *El Espectador* . <https://blogs.elespectador.com/cultura/pazifico-cultura-y-mas/aquel-12-diciembre-1979-las-3-la-manana>
- Consorcio G C H Consultores. (2020). *Estudio de suelos para el diseño de fundaciones en el municipio de Francisco Pizarro, Nariño*.
- DANE. (2018). *Censo nacional de población y vivienda- CNPV 2018*.
- Erberik, M. A. (2015). Seismic Fragility Analysis. In *Encyclopedia of Earthquake Engineering* (pp. 1–10). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5_387-1
- Faizian, M., Schalcher, H. R., & Faber, M. H. (2006). Consequence assessment in

- earthquake risk management using indicators. *8th US National Conference on Earthquake Engineering 2006*, 5, 2921–2931.
- FEMA. (2020). *Hazus Earthquake Model Technical Manual Hazus 4.2 SP3*.
- Fema, & Hazus. (2012). Hazus–MH 2.1: Technical Manual. *Federal Emergency Management Agency*, 718. www.fema.gov/plan/prevent/hazus
- GEM. (2020). *The OpenQuake-engine User Manual*. Global Earthquake Model (GEM) OpenQuake Manual for Engine version 3.8.1. <https://doi.org/10.13117/GEM.OPENQUAKE.MAN.ENGINE.3.8.1>.
- Idriss, I. M. (2014). An NGA-West2 Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1155–1177. <https://doi.org/10.1193/070613EQS195M>
- Instituto Geofísico-Escuela Politécnica Nacional. (2012, January 30). *Terremoto de Esmeraldas de 1906 - Uno de los sismos más grandes de la historia reciente - Instituto Geofísico - EPN*. <https://www.igeppn.edu.ec/servicios/noticias/575-terremoto-de-esmeraldas-de-1906-uno-de-los-sismos-más-grandes-la-historia>
- Izanloo, F., & Yahyaabadi, A. (2018). Determination of Structural Fragility Curves of Various Building Types for Seismic Vulnerability Assessment in the Sarpol-e Zahab City. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 20(3), 93–107.
- Khalfan, M. (2013). *Fragility curves for residential buildings in developing countries*. McMaster University.
- Liao, W. I., Loh, C. H., & Tsai, K. C. (2006). Study on the fragility of building structures in Taiwan. In *Natural Hazards* (Vol. 37, Issues 1–2, pp. 55–69). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11069-005-4656-x>
- Medina, S. (2019). *Zonificación de la vulnerabilidad física para edificaciones típicas en San Andrés de Tumaco, Costa Pacífica Colombiana*. Universidad Nacional de Colombia.
- Mejia, G. (2017). LINEAMIENTOS BASICOS DE REASENTAMIENTO EN EL MUNICIPIO DE TUMACO COMO PARTE DEL PROCESO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL NUEVO TUMACO. *IX Seminario Internacional de Investigación En Urbanismo, Barcelona-Bogotá, Junio 2017*. <https://doi.org/doi:10.5821/siiu.6366>
- Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (2010). *Norma NSR10. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*.
- Montalva, G. A., Bastías, N., & Rodríguez-Marek, A. (2017). Ground-motion prediction equation for the Chilean subduction zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(2), 901–911. <https://doi.org/10.1785/0120160221>
- Myat, K., Gadagamma, C. K., Kyaw, K., Hideomigokon, Murao, O., & Meguro, K. (2020). Seismic fragility analysis of poorly built timber buildings in yangon slum areas. *Journal of Disaster Research*, 15(3), 407–415. <https://doi.org/10.20965/jdr.2020.p0407>
- Naguit, M., Cummins, P., Edwards, M., Ghasemi, H., Bautista, B., Ryu, H., & Haynes, M. (2017). From source to building fragility: Post-event assessment of the 2013 M7.1 Bohol, Philippines, Earthquake. *Earthquake Spectra*, 33(3), 999–1027. <https://doi.org/10.1193/0101716EQS173M>

- Nazri, F. M. (2018). Fragility curves. In *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology* (Issue 9789811071249, pp. 3–30). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7125-6_2
- OSSO. (2003a). *Evaluación de la vulnerabilidad física por terremoto y sus fenómenos asociados en poblaciones del Litoral de Nariño*.
- OSSO. (2003b). ANEXO 3A. RELATO SOBRE EL TERREMOTO DEL 12 DE DICIEMBRE DE 1979. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Febrero2004/pdf/spa/doc12427/doc12427-3an.pdf>
- Pararas-Carayannis, G. (2012). Potential of tsunami generation along the Colombia/Ecuador subduction margin and the Dolores-Guayaquil mega-thrust. *Journal of Tsunami Society International*, 31(3), 209–230.
- Porter, K. (2014). A Beginner's Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk. In M. Beer, I. A. Kougoumtzoglou, E. Patelli, & I. S.-K. Au (Eds.), *Encyclopedia of Earthquake Engineering* (pp. 1–29). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5>
- Porter, K. (2015). Beginner's Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk. In *Encyclopedia of Earthquake Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35344-4_256
- Poveda, E., Julià, J., Schimmel, M., & Perez-Garcia, N. (2018). Upper and Middle Crustal Velocity Structure of the Colombian Andes From Ambient Noise Tomography: Investigating Subduction-Related Magmatism in the Overriding Plate. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(2), 1459–1485. <https://doi.org/10.1002/2017JB014688>
- Poveda, E., & Pulido, N. (2019a). *Earthquake rupture and slip scenarios for Ecuador-Colombia subduction zone*. SATREPS Project. Application of State of the Art Technologies to Strengthen Research and Response to Seismic, Volcanic and Tsunami Events, and Enhance Risk Management.
- Poveda, E., & Pulido, N. (2019b, May 13). *Earthquake rupture and slip scenarios for Ecuador-Colombia*. <http://sismo.sgc.gov.co:90/>
- Pulido, N., Yoshimoto, M., & Sarabia, A. M. (2020). Broadband wavelength slip model of the 1906 Ecuador-Colombia megathrust-earthquake based on seismic intensity and tsunami data. *Tectonophysics*, 774, 228226. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.228226>
- Rivas, M. Á. (2020). *Evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas de madera en San Andrés de Tumaco ante cargas de sismo y tsunami*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rossetto, T., D'Ayala, D., Ioannou, I., & Meslem, A. (2014). Evaluation of Existing Fragility Curves. *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*, 27, 47–93. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7872-6_3
- Rota, M., Penna, A., & Magenes, G. (2008). A procedure for deriving analytical curves for masonry buildings. *Proceedings of 14th World Conference on Earthquake Engineering, January*.
- SGC. (2002). *Geología y geomorfología de la Plancha 383, Tumaco*.

- SGC & GEM. (2020). Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia. In *Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia*. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585279469>
- Suárez Méndez, C., Joaquín Agudelo Suárez, O., en Pediatría, E., Asociado Coordinador Programa de Doctorado Geociencias, P. U., & Mahissa Reyes Muñoz, J. (2014). *INFORME FINAL DE LA ODS 17 Gestión del Riesgo de Desastres en la Sede Tumaco de la Universidad Nacional de Colombia. Presentado por los Profesionales*.
- Tingatinga, E. A. J., Pacheco, B. M., Hernandez, J. Y., Pascua, M. C., Tan, L. R. E., Suiza, R. M., Mata, W. L., Longalong, R. E. U., Ignacio, U. P., & Germar, F. J. (2019). Development of seismic vulnerability curves of key building types in the Philippines. *Enginee2019 Pacific Conference on Earthquake Engineering*.
- UCSD. (2018). *SIO15 Lecture 05: Earthquakes and Plate Boundaries*. <https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/sio15/pdfs/Lecture05.pdf>
- Uma, S. R., Bothara, J., Jury, R., & King, A. (2008). *Performance Assessment of Existing Buildings in New Zealand*.
- UNAL. (2020). *Estudios para la implementación de acciones para mitigar los efectos por amenaza de tsunami y cambio climático en los municipios de Tumaco y Francisco Pizarro (Salahonda), departamento de Nariño. Versión preliminar*.
- UNISDR. (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Naciones Unidas. https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf
- Villar-Vega, M., Silva, V., Crowley, H., Yepes, C., Tarque, N., Acevedo, A. B., Hube, M. A., Gustavo, C. D., & María, H. S. (2017). Development of a fragility model for the residential building stock in South America. *Earthquake Spectra*, 33(2), 581–604. <https://doi.org/10.1193/010716EQS005M>
- Yamaguchi, N., & Yamazaki, F. (2000). Fragility curves for buildings in Japan based on experience from the 1995 Kobe earthquake. *Proceeding of the 12th World Conference of Earthquake Engineering (12WCEE 2000), January 2000*, 91–102.
- Yamin, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O. D., & Ordaz, M. G. (2013). *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. El caso de Bogotá, Colombia*. Banco Mundial, Universidad de los Andes.
- Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K., Thio, H. K., Somerville, P. G., Fukushima, Y., & Fukushima, Y. (2006). Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 898–913. <https://doi.org/10.1785/0120050122>

A. Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas

CURVAS DE FRAGILIDAD							Selección de curvas						2. Comparación con eventos históricos (Sismo de 1979)	Total				
							1. Relevancia											
							1.1 Representativos											
							.1 Estado de daño	.2 Tipo de estructura		.3 Intensidad								
Taxonomía	Nivel	IM	Ubicación	Consideraciones	Documento	Autor	Estados de daño	Tipología de estructura y región	Variabilidad características	Tipo de IM	Niveles de intensidad	Movimientos del suelo						
PALAFITOS-MADERA (W/HEX:1)																		
W	1	PGA	Yangon, Myanmar, Birmania	<p>Tipo de curva: Analítica</p> <p>Estados de daño: Tres (Leve, moderado, colapso). En términos del porcentaje de recuperabilidad de la estructura</p> <p>Geometría: 3 geometrías consideradas, todas de un nivel de diferentes materiales.</p> <p>Material: Propiedades de los materiales especificadas en las condiciones iniciales. (+-20% para cada propiedad del material, en las iteraciones)</p> <p>Movimientos del suelo: 3 registros históricos de acelerogramas, escalados para 30 intensidades de sismo, 270 iteraciones.</p>	Seismic Fragility Analysis of Poorly Built Timber Buildings in Yangon Slum Areas	Myat et al (2020)	2	2	2	3	2	3		14				
W	1	Sa	Nariño, Colombia	<p>Tipo de curva: Analítica- Análisis estático no lineal.</p> <p>Estados de daño: Cuatro. En términos de la capacidad de fluencia y capacidad última asociado a la deriva.</p> <p>Geometría: Altura de pilares 4m y altura de piso 3m. Dimensiones en planta de 5m de ancho y 7,5 m de largo.</p> <p>Materiales: Madera de la zona (Palma para los pilares, Chaquiro aserrado para vigas y columnas, y paneles de Nato).</p> <p>Movimientos del suelo: Se empleó espectro de respuesta NSR-10, suelo tipo E.</p>	Evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas de madera en San Andrés de Tumaco ante cargas de sismo y tsunami	Rivas (2020)	3	3	3	3	2	3		17				

A. Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas

CURVAS DE FRAGILIDAD							Selección de curvas						2. Comparación con eventos históricos (Sismo de 1979)	Total				
							1. Relevancia											
							1.1 Representativos											
							.1 Estado de daño	.2 Tipo de estructura		.3 Intensidad								
Taxonomía	Nivel	IM	Ubicación	Consideraciones	Documento	Autor	Estados de daño	Tipología de estructura y región	Variabilidad características	Tipo de IM	Niveles de Intensidad	Movimientos del suelo						
WN	1	PGA	Filipinas	<p>Tipo de curva: Heurística-Opinión de expertos.</p> <p>Estados de daño: 4 estados de daño.</p> <p>Geometría: Área menor a 5000 sqft</p> <p>Material: Estructura ligera de luces de madera. Construidas con bajo código de construcción</p> <p>Movimientos del suelo: Varios eventos sísmicos. No especifican la cantidad.</p>	Development of seismic vulnerability curves of key building types in the Philippines	Tingatinga et al (2019)	3	2	3	3	3	2		16				
UNK	1	Sa (0.3)	Sur América (Ch, Col, Pe, Ven, Arg, Bol, Ec)	<p>Tipo de curva: Analítica- Análisis no lineal <i>time history</i>.</p> <p>Estados de daño: Cuatro. Con respecto al desplazamiento espectral de cedencia y último, definidos en términos de la deriva.</p> <p>Geometría: Se especifica una altura de piso de 2.4 m y un solo nivel.</p> <p>Material: No especificado, materiales de pobre capacidad estructural usualmente madera y prácticas inadecuadas de construcción. Amortiguamiento elástico de 2%.</p> <p>Movimientos del suelo: Originalmente 171 registros sísmicos, luego de escalados 300.</p> <p>Metodología: Se obtuvieron 150 curvas de capacidad.</p>	Development of a Fragility Model for the Residential Building Stock in South America	Villar-Vega et al (2017)	3	1	3	3	3	3	2	17				

A. Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas

CURVAS DE FRAGILIDAD							Selección de curvas						2. Comparación con eventos históricos (Sismo de 1979)	Total
							1. Relevancia							
1.1 Representativos														
Taxonomía	Nivel	IM	Ubicación	Consideraciones	Documento	Autor	.1 Estado de daño	.2 Tipo de estructura		.3 Intensidad				
							Estados de daño	Tipología de estructura y región	Variabilidad características	Tipo de IM	Niveles de Intensidad	Movimientos del suelo		
W	Sa (0.3s)	Bohol, Filipinas	Empírica: Post-evento	<p>Estados de daño: Tres y adicional uno de no daño como en la metodología HAZUS. Este no se incluye en las curvas de fragilidad.</p> <p>Geometría: >7900 edificaciones diferentes analizadas por metodología de elaboración de la curva.</p> <p>Material: Estructuras con paredes de contrachapado, yeso, tablero, bambú y otros materiales de madera. Los techos usan madera, nipa, bambú, láminas de hierro galvanizado (GI) u otra luz materiales El suelo está hecho de madera, bambú, tierra o concreto.</p> <p>Movimientos del suelo: Evento sísmico M7.1 en Bohol, Filipinas 2013. Simulación de los movimientos sísmicos (ecuaciones predictivas y métodos estocásticos) en la región de estudio</p>	From Source to Building Fragility: Post-Event Assessment of the 2013 M7.1 Bohol, Philippines, Earthquake	Naguit et al (2017)	1	2	3	3	2	3		14
W+W LI/LW AL/HB ET:1,2 (GEM) - PRE CODE	1,2	PGA	Estados Unidos	<p>Tipo de curva: Anlítica.</p> <p>Estados de daño: Cuatro</p> <p>Geometría: Entramados de madera, área aprox 460 m2.</p> <p>Material: Madera, construidos sin parámetros ingenieriles.</p> <p>Movimientos del suelo: Espectro de respuesta obtenido luego del análisis PESH (Potential Earth Science Hazards)</p>	Hazus 4.2 Earthquake Model -Technical Manual	FEMA, HAZUS (2020)	3	1	3	3	3	3	2	18
PANELES DE MADERA (W+WLI/HEX:1)														

A. Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas

CURVAS DE FRAGILIDAD							Selección de curvas						2. Comparación con eventos históricos (Sismo de 1979)	Total				
							1. Relevancia											
							1.1 Representativos											
							.1 Estado de daño	.2 Tipo de estructura		.3 Intensidad								
Taxonomía	Nivel	IM	Ubicación	Consideraciones	Documento	Autor	Estados de daño	Tipología de estructura y región	Variabilidad características	Tipo de IM	Niveles de Intensidad	Movimientos del suelo						
W+WL I/LFM (GEM)	1	PGA	Taiwan	Tipo de curva: Analítica- Análisis no lineal, pushover. Estados de daño: Cuatro de acuerdo a la metodología HAZUS en función de la deriva. Geometría: dos tipos de distribuciones en planta, no se especifican dimensiones, altura de piso 4.2, un nivel. Material: Madera. Movimientos del suelo: Se empleó el espectro de demanda basado en código.	Study on the Fragility of Building Structures in Taiwan	Liao et al (2006)	3	2	3	3	3	3	2	19				
W+WL I/LWA L/HBE T:1,2 (GEM)	1,2	PGA	Estados Unidos	Tipo de curva: Analítica. Estados de daño: Cuatro Geometría: Entramados de madera, área aproximada de 460 m ² . Material: Madera, contruidos sin parámetros ingenieriles. Movimientos del suelo: Espectro de respuesta obtenido luego del análisis PESH (Potential Earth Science Hazards)	HAZUS-MH 2.1 Technical Manual (FEMA, HAZUS, 2015) - Technical manual	HAZUS (2012)	3	2	3	3	3	3	2	19				

A. Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas

CURVAS DE FRAGILIDAD							Selección de curvas						2. Comparación con eventos históricos (Sismo de 1979)	Total
							1. Relevancia					.1 Estado de daño		
1.1 Representativos														
Taxonomía	Nivel	IM	Ubicación	Consideraciones	Documento	Autor	Estados de daño	Tipología de estructura y región	Variabilidad características	Tipo de IM	Niveles de Intensidad	Movimientos del suelo		
W+W LI	1	Sa (0.3s)	Sur América (Ch, Col, Pe, Ven, Arg, Bol, Ec)	<p>Tipo de curva: Analítica- Análisis no lineal <i>time history</i></p> <p>Estados de daño: Cuatro. Con respecto al desplazamiento espectral de cedencia y último, definidos en términos de la deriva.</p> <p>Geometría: Se especifica una altura de piso de 2.44 m y un solo nivel.</p> <p>Material: Luces de madera. Amortiguamiento elástico de 2%.</p> <p>Movimientos del suelo: Originalmente 171 registros sísmicos, luego de escalados 300.</p> <p>Metodología: Se obtuvieron 150 curvas de capacidad.</p>	Development of a Fragility Model for the Residential Building Stock in South America	Villar-Vega et al (2017)	3	2	3	3	3	3	18	
W	1	PGA y PGV	Nishinomiya, Japón	<p>Tipo de curva: Empírica- Post evento</p> <p>Estados de daño: dos (moderado, mayor)</p> <p>Geometría: Diversas geometrías, aproximadamente 68,000 viviendas contempladas.</p> <p>Material: Elementos de madera.</p> <p>Movimientos del suelo: Terremoto de Kobe, 1995. A partir de este se estimaron los índices de movimiento del suelo en la región.</p>	Fragility Curves For Buildings In Japan Based On Damage Surveys After The 1995 Kobe Earthquake	Yamaguchi (2000)	1	2	3	3	3	3	15	

A. Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas

CURVAS DE FRAGILIDAD							Selección de curvas						2. Comparación con eventos históricos (Sismo de 1979)	Total				
							1. Relevancia											
							1.1 Representativos											
							.1 Estado de daño	.2 Tipo de estructura		.3 Intensidad								
Taxonomía	Nivel	IM	Ubicación	Consideraciones	Documento	Autor	Estados de daño	Tipología de estructura y región	Variabilidad características	Tipo de IM	Niveles de Intensidad	Movimientos del suelo						
W	1	Sd	Nueva Zelanda	<p>Tipo de curva: Analítica, análisis estático no lineal.</p> <p>Estados de daño : Cuatro de acuerdo a metodología HAZUS.</p> <p>Geometría: 100 m2, altura de piso 2.5 m.</p> <p>Material: Madera</p> <p>Movimientos del suelo: Espectro de respuesta de código de construcción de Nueva Zelanda.</p>	Performance Assessment of Existing Buildings in New Zealand	Uma et al (2008)	3	2	3	2	3	3		16				
MAMPOSTERÍA SIMPLE (MUR)																		
MCF	1 a 3	PGA	Sur América (Ch, Col, Pe, Ven, Arg, Bol, Ec)	<p>Tipo de curva: Analítica- Análisis no lineal <i>time history</i></p> <p>Estados de daño: Cuatro. Con respecto al desplazamiento espectral de cedencia y último definidos en términos de la deriva.</p> <p>Geometría: Se especifica una altura de piso de 2.60 m y un nivel.</p> <p>Material: Mampostería confinada no ductil. Amortiguamiento elástico de 10 %.</p> <p>Movimientos del suelo: Originalmente 171 registros sísmicos, luego de escalados 300.</p> <p>Metodología: Se obtuvieron 150 curvas de capacidad. Modelo trilineal para contemplar la interacción concreto y mampostería.</p>	Development of a Fragility Model for the Residential Building Stock in South America	Villar-Vega et al (2017)	3	2	3	3	3	3	1	18				

A. Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas

CURVAS DE FRAGILIDAD							Selección de curvas						2. Comparación con eventos históricos (Sismo de 1979)	Total				
							1. Relevancia											
							1.1 Representativos											
							.1 Estado de daño	.2 Tipo de estructura		.3 Intensidad								
Taxonomía	Nivel	IM	Ubicación	Consideraciones	Documento	Autor	Estados de daño	Tipología de estructura y región	Variabilidad características	Tipo de IM	Niveles de Intensidad	Movimientos del suelo						
MUR	1	PGA	Antioquia, Colombia	<p>Tipo de curva: Analítica- Análisis no lineal time history.</p> <p>Estados de daño: Cuatro en términos de la deriva</p> <p>Geometría: 14 geometrías en planta diferentes. Un nivel con altura de piso 2.4 m variación 5.55E-02 m.</p> <p>Material: Mampostería no reforzada, construcción tipo informal.</p> <p>Movimientos del suelo: 30 registros reales obtenidos de la base de datos del PEER. Escalados para 10 intensidades total de 300 movimientos.</p>	Evaluation of the seismic risk of the unreinforced masonry building stock in Antioquia, Colombia	Acevedo et al (2017)	3	3	3	3	3	3	0	18				
MUR	1	PGA	Bantul, Indonesia	<p>Tipo de curva: Empírica. Post-evento</p> <p>Estados de daño: Dos (Moderado y colapso)</p> <p>Geometría: Diferentes geometrías analizadas</p> <p>Material: Mampostería de baja resistencia (2-6 MPa) no reforzada.</p> <p>Movimientos del suelo: Sismo de Yogyakarta, Indonesia (2006). Mapa de movimientos del suelo obtenido del USGS.</p>	FRAGILITY CURVES FOR RESIDENTIAL BUILDINGS IN DEVELOPING COUNTRIES	Khalfan, M. (2013)	1	2	3	3	3	3		15				

A. Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas

CURVAS DE FRAGILIDAD							Selección de curvas					2. Comparación con eventos históricos (Sismo de 1979)	Total
							1. Relevancia						
							1.1 Representativos						
							.1 Estado de daño	.2 Tipo de estructura		.3 Intensidad			
Taxonomía	Nivel	IM	Ubicación	Consideraciones	Documento	Autor	Estados de daño	Tipología de estructura y región	Variabilidad características	Tipo de IM	Niveles de Intensidad	Movimientos del suelo	
MURL	1 y 2	Sd	Irán	<p>Tipo de curva: Empírica-Post evento.</p> <p>Estados de daño: cuatro, de acuerdo a la metodología HAZUS.</p> <p>Geometría: Diversas geometrías en planta (Total de 200 edificaciones analizadas para diferentes tipología, aproximadamente 17 de esta categoría). Uno y dos niveles.</p> <p>Material: Mampostería sin refuerzo, construcción sin parámetros ingenieriles (pre-código).</p> <p>Movimientos del suelo: Sismo de Sarpol-e Zahab (12 de noviembre de 2017)</p>	Determination of Structural Fragility Curves of Various Building Types for Seismic Vulnerability Assessment in the Sarpol-e Zahab City	Izanloo, F., Yahyaabadi, A. (2018)	3	1	3	2	3	3	15
MUR	1 y 2	Sa	Trinidad y Tobago	<p>Tipo de curva: Analítica- Análisis incremental dinámico.</p> <p>Estados de daño: Cuatro en términos de la deriva.</p> <p>Geometría: En planta 9m x 11 m. Dos niveles, altura de piso 2.4 m.</p> <p>Material: El primer nivel contiene columnas de concreto y relleno de mampostería de arcilla. El segundo nivel corresponde a mampostería no reforzada.</p> <p>Movimientos del suelo: Diez sismos reales aleatorios obtenidos de PEER. Escalados para 14 diferentes niveles de intensidad.</p>	Fragility Functions for a Pervasive Unique Form of Construction in a Region with Very High Potential for Social Losses	Carey et al (2012)	3	2	1	3	3	2	14

A. Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas

CURVAS DE FRAGILIDAD							Selección de curvas						2. Comparación con eventos históricos (Sismo de 1979)	Total				
							1. Relevancia											
							1.1 Representativos											
							.1 Estado de daño	.2 Tipo de estructura		.3 Intensidad								
Taxonomía	Nivel	IM	Ubicación	Consideraciones	Documento	Autor	Estados de daño	Tipología de estructura y región	Variabilidad características	Tipo de IM	Niveles de intensidad	Movimientos del suelo						
MUR	3	PGA	Italia	<p>Tipo de curva: Analítica. Análisis estático no lineal y análisis time history.</p> <p>Estados de daño: Cuatro en términos de la deriva.</p> <p>Geometría: En planta 17,7 x 14,3 m. Tres niveles, altura total de 11.05 m.</p> <p>Material: Muros en mampostería, piso en concreto reforzado.</p> <p>Movimientos del suelo: Originalmente 7 acelerogramas, los cuales fueron escalados para diferentes intensidades.</p>	A procedure for deriving analytical fragility curves	Rota et al (2008)	3	2	1	3	2	3		14				
MUR Low Code	1a3	PGA	Estados Unidos	<p>Tipo de curva: Analítica.</p> <p>Estados de daño: Cuatro</p> <p>Geometría: No especificada</p> <p>Material: Estructura en hormigón armado y relleno en mampostería no reforzada. La resistencia al cortante de las columnas, después del agrietamiento del relleno, puede limitar el comportamiento semidúctil del sistema.</p> <p>Movimientos del suelo: Espectro de respuesta obtenido luego del análisis PESH (Potential Earth Science Hazards)</p>	Hazus 4.2 Earthquake Model -Technical Manual	FEMA, HAZUS (2020)	3	2	3	3	3	3	2	19				

A. Anexo A: Curvas de fragilidad consultadas

CURVAS DE FRAGILIDAD							Selección de curvas						2. Comparación con eventos históricos (Sismo de 1979)	Total				
							1. Relevancia											
							1.1 Representativos											
							.1 Estado de daño	.2 Tipo de estructura		.3 Intensidad								
Taxonomía	Nivel	IM	Ubicación	Consideraciones	Documento	Autor	Estados de daño	Tipología de estructura y región	Variabilidad características	Tipo de IM	Niveles de intensidad	Movimientos del suelo						
PÓRTICOS DE CONCRETO CON RELLENO EN MAMPOSTERÍA- NO TECNIFICADOS (LINF/DNO)																		
CR/LI FINF	1 y 2	PGA	Puerto Rico	Tipo de curva: Analítica- Análisi dinámico no lineal. Estados de daño: Cuatro. Con respecto al desplazamiento espectral de cedencia y último definidos en términos de la deriva. Geometría: 6 y 8 geometrías para pórticos de uno y dos niveles respectivamente. Material: Pórticos de hormigón armado con paredes en mampostería. Se tomaron muestras de las propiedades mecánicas de los materiales. Movimientos del suelo: Cinco registros sísmicos, se escalaron para diferentes intensidades.	Curvas de fragilidad para estructuras de pórticos de hormigón armado con paredes de mampostería. Caso de estudio: Estructuras de 1 y 2 niveles en Puerto Rico	Agudelo,J., López,R. (2009)	2	2	2	3	3	2		14				
CR/LF INF/H BET:1 ,3 (GEM) Pre- code	1a3	PGA	Estados Unidos	Tipo de curva: Anlítica. Estados de daño: Cuatro Geometría: No especificada Material: Estructura en hormigón armado y relleno en mampostería no reforzada. La resistencia al cortante de las columnas, después del agrietamiento del relleno, puede limitar el comportamiento semidúctil del sistema. Movimientos del suelo: Espectro de respuesta obtenido luego del análisis PESH (Potential Earth Science Hazards)	HAZUS-MH 2.1 Technical Manual (FEMA, HAZUS, 2015) - Technical manual	HAZUS (2012)	3	2	3	3	3	3	2	19				

B. Anexo B: Entrevistas

Fecha	Enero 13-2021	Nombre y apellido	Jorge Enrique Banguera Rodríguez										
2. Edad cuando ocurrió el sismo del 12 de diciembre de 1979	33 años												
3. Lugar en el que se encontraba (Por ejemplo centro de Salahonda, La Playa, etc)	Centro de Salahonda												
4. Tipo de construcción en la que se encontraba. Marcar con una x.	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Otra, ¿cuál?</td> </tr> </table>				Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.	x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables		Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.		Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.		Otra, ¿cuál?
	Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.												
x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables												
	Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.												
	Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.												
	Otra, ¿cuál?												
5. ¿Hubo posibilidad de evacuar? ¿Hubo alguna alerta por tsunami?	Pudo salir de su casa. Apenas pasó el temblor fue hacia la iglesia. Todos los santos estaban en el suelo menos el señor del Mar y lo pusieron en el centro de la plaza. Se abrió una grieta en ese sector y hubo aviso por parte de otros habitantes que venía la ola												
6. ¿Resultó usted o algún familiar, herido por el sismo?	El padre resultó herido												
7. ¿Qué ocurrió con su vivienda luego del sismo	Quedó vencida. Hubo que hacerle reparaciones, tocó apoyarla con guadua.												
8. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del sismo? Respuesta: Moderado- Severo 9. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del tsunami? Respuesta:	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>No daño: No hubo daños en la vivienda.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.</td> </tr> </table>				No daño: No hubo daños en la vivienda.		Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.	x	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.		Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.		
	No daño: No hubo daños en la vivienda.												
	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.												
x	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.												
	Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.												
10. ¿Cómo fue su experiencia?, ¿Cómo quedó Salahonda después del sismo y después del tsunami? comente con los detalles que quiera.	Relata que no hubo casas caídas, solo una. Pero hubo muchas grietas que destrozaron el pueblo y los puentes.												

Fecha	Enero 13-2021	Nombre y apellido	Visitación Banguera										
2. Edad cuando ocurrió el sismo del 12 de diciembre de 1979	39 años												
3. Lugar en el que se encontraba (Por ejemplo centro de Salahonda, La Playa, etc)	Barrio La Playita												
4. Tipo de construcción en la que se encontraba. Marcar con una x.	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Otra, ¿cuál?</td> </tr> </table>				Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.	x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables		Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.		Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.		Otra, ¿cuál?
	Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.												
x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables												
	Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.												
	Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.												
	Otra, ¿cuál?												
5. ¿Hubo posibilidad de evacuar? ¿Hubo alguna alerta por tsunami?	Estaban todos dormidos. Pero pudieron evacuar de la vivienda.												
6. ¿Resultó usted o algún familiar, herido por el sismo?	NO												
7. ¿Qué ocurrió con su vivienda luego del sismo	Quedó vencida, pero siguieron viviendo un tiempo. Y le hicieron arreglos.												
8. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del sismo? Respuesta: Moderado- Severo 9. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del tsunami? Respuesta:	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>No daño: No hubo daños en la vivienda.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.</td> </tr> </table>				No daño: No hubo daños en la vivienda.		Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.	x	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.		Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.		
	No daño: No hubo daños en la vivienda.												
	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.												
x	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.												
	Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.												
10. ¿Cómo fue su experiencia?, ¿Cómo quedó Salahonda después del sismo y después del tsunami? comente con los detalles que quiera.	Se abrieron muchas zanjas. Algunas casas del Barrio la Playita se fueron al suelo por la ola. A los que quedaron sin casa los reubicaron en el Barrio 12 de diciembre												

Fecha	Enero 13-2021	Nombre y apellido	Segundo Silvano Yepes										
2. Edad cuando ocurrió el sismo del 12 de diciembre de 1979'	41 años												
3. Lugar en el que se encontraba (Por ejemplo centro de Salahonda, La Playa, etc)	Barrio La Playita												
4. Tipo de construcción en la que se encontraba. Marcar con una x.	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Otra, ¿cuál?</td> </tr> </table>				Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.	x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables		Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.		Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.		Otra, ¿cuál?
	Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.												
x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables												
	Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.												
	Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.												
	Otra, ¿cuál?												
5. ¿Hubo posibilidad de evacuar? ¿Hubo alguna alerta por tsunami?	Evacuaron hacia la plaza, después de un rato (Jorge Banguera) anunció que venía la ola												
6. ¿Resultó usted o algún familiar, herido por el sismo?	No												
7. ¿Qué ocurrió con su vivienda luego del sismo	El maremoto hundió la vivienda. Pero todo lo demás de la estructura quedó en pie, igual hubo que desbaratarla. Se formaron grietas												
8. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del sismo? Respuesta: Moderado- Severo 9. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del tsunami? Respuesta: Colapso	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>No daño: No hubo daños en la vivienda.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.</td> </tr> </table>				No daño: No hubo daños en la vivienda.		Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.	x	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.		Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.		
	No daño: No hubo daños en la vivienda.												
	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.												
x	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.												
	Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.												
10. ¿Cómo fue su experiencia?, ¿Cómo quedó Salahonda después del sismo y después del tsunami? comente con los detalles que quiera.	La mayoría de las casas quedaron hundidas. Las viviendas de La Playita quedaron destruidas por la ola, quedaron hundidas.												

Fecha	Enero 13-2021	Nombre y apellido	Josefa Rivero										
2. Edad cuando ocurrió el sismo del 12 de diciembre de 1979	10 años												
3. Lugar en el que se encontraba (Por ejemplo centro de Salahonda, La Playa, etc)	Salahonda centro												
4. Tipo de construcción en la que se encontraba. Marcar con una x.	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Otra, ¿cuál?</td> </tr> </table>				Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.	x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables		Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.		Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.		Otra, ¿cuál?
	Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.												
x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables												
	Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.												
	Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.												
	Otra, ¿cuál?												
5. ¿Hubo posibilidad de evacuar? ¿Hubo alguna alerta por tsunami?	Hubo alerta de la ola por parte de los que iban a trabajar al monte en la madrugada, que vieron que subía la marea.												
6. ¿Resultó usted o algún familiar, herido por el sismo?	La madre												
7. ¿Qué ocurrió con su vivienda luego del sismo	La casa quedó ladeada, las puertas algunas quedaron cerradas, la ola no alcanzó a llegar.												
8. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del sismo? Respuesta: Moderado- Severo 9. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del tsunami? Respuesta: N.A	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>No daño: No hubo daños en la vivienda.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.</td> </tr> </table>				No daño: No hubo daños en la vivienda.		Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.	x	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.		Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.		
	No daño: No hubo daños en la vivienda.												
	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.												
x	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.												
	Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.												
10. ¿Cómo fue su experiencia?, ¿Cómo quedó Salahonda después del sismo y después del tsunami? comente con los detalles que quiera.	Se abrieron muchas grietas, en la plaza explotó una pila de agua. La marea no alcanzó a llegar a su casa porque no estaba cerca a la orilla o bajamar. Algunas casas quedaron destruidas. Cuenta que con el Señor del Mar la marea bajó.												

Fecha	Enero 13-2021	Nombre y apellido	Delfina Hurtado Cortez										
2. Edad cuando ocurrió el sismo del 12 de diciembre de 1979'	No aclara, al parecer un poco más de 19 años												
3. Lugar en el que se encontraba (Por ejemplo centro de Salahonda, La Playa, etc)	Majagual (Vereda de la zona)												
4. Tipo de construcción en la que se encontraba. Marcar con una x.	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Otra, ¿cuál?</td> </tr> </table>				Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.	x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables		Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.		Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.		Otra, ¿cuál?
	Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.												
x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables												
	Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.												
	Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.												
	Otra, ¿cuál?												
5. ¿Hubo posibilidad de evacuar? ¿Hubo alguna alerta por tsunami?	Una vecina le avisó del terremoto porque estaba muy dormida y ya todos los de la casa habían salido.												
6. ¿Resultó usted o algún familiar, herido por el sismo?	Un hijo desaparecido, pero no sabe si fue por la ola o desorden en la organización de las ayudas humanitarias. El papá de una vecina se ahogó por el tsunami.												
7. ¿Qué ocurrió con su vivienda luego del sismo	No sabe												
8. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del sismo? Respuesta: N.A 9. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del tsunami? Respuesta: N.A	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>No daño: No hubo daños en la vivienda.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.</td> </tr> </table>				No daño: No hubo daños en la vivienda.		Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.		Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.		Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.		
	No daño: No hubo daños en la vivienda.												
	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.												
	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.												
	Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.												
10. ¿Cómo fue su experiencia?, ¿Cómo quedó Salahonda después del sismo y después del tsunami? comente con los detalles que quiera.	Relata que fue atendida en su vereda por parte de unos médicos que llegaron en helicóptero a ayudar y llevarse los enfermos. Luego de algunas curaciones ella preguntaba por su hijo de 4 años, pero nadie daba respuesta, la trasladaron a Salahonda para atenderla porque estaba enferma. La iban a llevar a Tumaco a hospitalizarla, pero la familia no dejó. No volvió a la vereda donde se encontraba su casa.												

Fecha	Enero 14-2021	Nombre y apellido	Elsa Martínez										
2. Edad cuando ocurrió el sismo del 12 de diciembre de 1979	35 años												
3. Lugar en el que se encontraba (Por ejemplo centro de Salahonda, La Playa, etc)	Se encontraba en Guanaba (una vereda cercana) , pero vivía normalmente en La Playa.												
4. Tipo de construcción en la que se encontraba. Marcar con una x. La casa de Guanaba era un rancho de paja. La de La Playa era de madera.	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Otra, ¿cuál?</td> </tr> </table>				Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.	x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables		Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.		Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.	x	Otra, ¿cuál?
	Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.												
x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables												
	Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.												
	Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.												
x	Otra, ¿cuál?												
5. ¿Hubo posibilidad de evacuar? ¿Hubo alguna alerta por tsunami?	El terreno en el que ella estaba era alto. Relata la historia de los familiares que estaban en La Playa, escucharon el ruido del agua y les avisó que venía la ola, salieron corriendo hacia Salahonda.												
6. ¿Resultó usted o algún familiar, herido por el sismo?	No												
7. ¿Qué ocurrió con su vivienda luego del sismo?	La vivienda en La Playa se asentó. Todos alcanzaron a evacuar, quedó torcida.												
8. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del sismo? Respuesta: Moderado- severo. 9. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del tsunami? Respuesta: Moderado- severo.	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>No daño: No hubo daños en la vivienda.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.</td> </tr> </table>				No daño: No hubo daños en la vivienda.		Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.	x	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.		Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.		
	No daño: No hubo daños en la vivienda.												
	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.												
x	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.												
	Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.												
10. ¿Cómo fue su experiencia?, ¿Cómo quedó Salahonda después del sismo y después del tsunami? comente con los detalles que quiera.	Luego del desastre siguieron viviendo en la casa, pero iban a dormir a "La Guardería". A Salahonda llevaron personal de construcción desde Pasto para arreglar las viviendas afectadas. Dice que gracias al Señor del Mar la afectación no fue tan grave, algunas viviendas asentadas y canteadas.												

Fecha	Enero 14-2021	Nombre y apellido	Edita Castro										
2. Edad cuando ocurrió el sismo del 12 de diciembre de 1979	No recuerda												
3. Lugar en el que se encontraba (Por ejemplo centro de Salahonda, La Playa, etc)	Salahonda												
4. Tipo de construcción en la que se encontraba. Marcar con una x. La casa de Guanaba era un rancho de paja. La de La Playa era de madera.	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Otra, ¿cuál?</td> </tr> </table>				Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.	x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables		Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.		Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.	x	Otra, ¿cuál?
	Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.												
x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables												
	Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.												
	Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.												
x	Otra, ¿cuál?												
5. ¿Hubo posibilidad de evacuar? ¿Hubo alguna alerta por tsunami?	N.A												
6. ¿Resultó usted o algún familiar, herido por el sismo?	No hubo alertas ni heridos												
7. ¿Qué ocurrió con su vivienda luego del sismo?	La casa quedó bien												
8. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del sismo? Respuesta: Leve 9. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del tsunami? Respuesta: N.A	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>No daño: No hubo daños en la vivienda.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.</td> </tr> </table>				No daño: No hubo daños en la vivienda.	x	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.		Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.		Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.		
	No daño: No hubo daños en la vivienda.												
x	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.												
	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.												
	Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.												
10. ¿Cómo fue su experiencia?, ¿Cómo quedó Salahonda después del sismo y después del tsunami? comente con los detalles que quiera.	Relata que la ola no alcanzó a llegar a su casa.												

Fecha	Enero 14-2021	Nombre y apellido	Gregoria Ruiz										
2. Edad cuando ocurrió el sismo del 12 de diciembre de 1979	12 años												
3. Lugar en el que se encontraba (Por ejemplo centro de Salahonda, La Playa, etc)	Playa Bujío, Playa el Bajito.												
4. Tipo de construcción en la que se encontraba. Marcar con una x. La casa de Guanaba era un rancho de paja. La de La Playa era de madera.	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Otra, ¿cuál?</td> </tr> </table>				Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.	x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables		Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.		Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.	x	Otra, ¿cuál?
	Palafitos: Construcciones de madera, elevadas con respecto al nivel del suelo, ubicadas principalmente en zonas inundables.												
x	Madera: Construcciones de madera, elevadas poco o nada con respecto al nivel del terreno. Ubicadas en zonas poco inundables												
	Mampostería: Construcciones elaboradas únicamente con ladrillos.												
	Concreto: Construcciones de concreto y ladrillos.												
x	Otra, ¿cuál?												
5. ¿Hubo posibilidad de evacuar? ¿Hubo alguna alerta por tsunami?	Trataron de salir, pero las manglares se unían y donde antes era estero y se podía pasar, quedaron palos atravesados. La familia estaba en Salahonda y fueron a buscarlos a los dos días.												
6. ¿Resultó usted o algún familiar, herido por el sismo?	No hubo alertas ni heridos												
7. ¿Qué ocurrió con su vivienda luego del sismo?	La casa quedó ladeada, "se podía vivir", no colapsó.												
8. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del sismo? Respuesta: Leve 9. ¿En qué estado de daño considera que quedó su vivienda o lugar en el que se encontraba luego del tsunami? Respuesta: Moderado- severo.	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>No daño: No hubo daños en la vivienda.</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.</td> </tr> </table>				No daño: No hubo daños en la vivienda.	x	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.		Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.		Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.		
	No daño: No hubo daños en la vivienda.												
x	Daño leve: la vivienda sufrió algunos daños, pero no puso en peligro vidas humanas y fueron daños reparables.												
	Daño moderado-severo: Hubo fisuras, zonas de la vivienda caídas, colapso parcial.												
	Colapso: La vivienda no se mantuvo en pie.												
10. ¿Cómo fue su experiencia?, ¿Cómo quedó Salahonda después del sismo y después del tsunami? comente con los detalles que quiera.	Luego del movimiento salieron con algunos enseres hacia donde unos familiares. La tierra estaba agrietada, la casa de los familiares también se había canteado y hundido. El padre y el hermano estaban trabajando en la madrugada en la pesca y no se supo nada de ellos hasta el final del día que bajó la marea y aparecieron. Se trasladaron a Salahonda y luego al río Patía.												