

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas Populares Asentadas en Cerros y en
el Sur de la Ciudad de Guayaquil

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

William Xavier Loja Suárez

José Andrés González López

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedicamos a nuestros familiares y amistades más queridas que nos han brindado su apoyo a lo largo de nuestra preparación académica.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a las autoridades y docentes de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de ESPOL que impulsaron este proyecto, y depositaron su confianza en nosotros para su desarrollo, especialmente a la subdecana Ph.D Ana Rivas, al docente tutor del proyecto Ph.D Pedro Rojas, y al docente Msc. Francisco Grau. Agradecemos también a las estudiantes de maestría Ing. Jaclyn Taylor y la Ing. Emma Reuter de la Universidad Colorado Boulder, quienes participaron activamente del proyecto.

Agradecemos a los docentes y estudiantes de FIEC y de la carrera de Geología de FICT quienes integraron el proyecto, y al Municipio de Guayaquil. Nuestro completo agradecimiento a cada una de las personas que formaron parte del trabajo, siendo todos los involucrados sumamente importantes en la concepción de esta investigación.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *William Loja Suárez* y *José González López* damos nuestro consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

William Loja Suárez

José González López

EVALUADORES

Ing. Carlos Rodríguez Díaz, Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA

Ing. Pedro Rojas Cruz, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Guayaquil, ubicada a 160 km de la trinchera creada por la colisión entre la placa Nazca y la Sudamericana, en la cual se manifiesta la subducción. Este fenómeno que es desencadenante de los sismos que más han afectado a la ciudad, convirtiéndose en una considerable amenaza para las construcciones y habitantes de la ciudad.

El presente proyecto se desarrolló en colaboración de estudiantes de la universidad Colorado Boulder, e integrantes de FICT y FIEC de ESPOL. Se inició seleccionando métodos de estimación de vulnerabilidad sísmica, los sectores de estudio, y se elaboró una ficha de inspección y ensayos en campo. Luego se realizó un análisis completo de la situación que presentan los sectores en lo que respecta a su vulnerabilidad sísmica.

Se eligieron las zonas de Trinitaria y Bastión Popular para su respectivo estudio, analizando un total de 220 viviendas. Se estimó en grado de daño que presentarían las estructuras ante el sismo de diseño dado por el "Proyecto RADIUS". Este sismo consiste en un fenómeno de magnitud 8 en la escala de Richter, a 200 km de Guayaquil. Consecuentemente, desencadena una intensidad de VII para la zona de Bastión Popular y de VIII para Isla Trinitaria.

Se observó que la informalidad, poca organización e improvisación de soluciones estructurales por parte de personas no preparadas ni autorizadas para la construcción, da paso a la construcción de estructuras más vulnerables en los sectores estudiados.

Palabras Clave: Guayaquil, Vulnerabilidad sísmica, intensidad sísmica, índice de vulnerabilidad.

ABSTRACT

Guayaquil is located 160 km from the trench created by the collision between the Nazca and the South American plate, in which the subduction is manifested, a phenomenon that is triggering the earthquakes that have most affected the city, becoming a considerable threat to the buildings and inhabitants of the city.

This project was developed in collaboration with students from Colorado Boulder University, and members of FICT and FIEC of ESPOL. It began by selecting methods for estimating seismic vulnerability and the sectors of study, then an inspection form was prepared, and field tests allowed to give way to a complete analysis of the situation of the sectors with regard to their seismic vulnerability.

The areas of Trinitaria and Bastion Popular were chosen for their respective study, analyzing a total of 220 buildings. The damage prediction of buildings was calculated with the design earthquake given by the "RADIUS Project". This earthquake consists of a phenomenon of magnitude 8 on the Richter scale, 200 km from Guayaquil. Consequently, triggering an intensity of VII for the area of Bastión Popular and VIII for Trinitaria.

Poor organization and improvisation of structural solutions by people not prepared or authorized for construction, causes more vulnerable buildings in the inspected sectors.

Keywords: Guayaquil, Seismic vulnerability, seismic intensity, vulnerability index.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	2
1. Introducción	2
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Justificación del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Marco teórico	6
1.4.1 Antecedentes	6
1.4.2 Bases teóricas	8
1.4.2.1 Sismicidad en Ecuador	8
1.4.2.2 Daño y residuos generados por un sismo	10
1.4.2.3 Peligro Sísmico	10
1.4.2.4 Grado de daño	10
1.4.2.5 Vulnerabilidad	11
1.4.2.6 Análisis de vulnerabilidad	11
1.4.2.7 Métodos de estimación de vulnerabilidad sísmica	11
1.4.2.8 Índice de vulnerabilidad sísmica	12
1.4.2.9 Clasificación del suelo	13
1.4.2.10 Clasificación del perfil de suelo	14
CAPÍTULO 2	15

2.	Metodología.....	15
2.1	Selección de sectores de estudio	15
2.1.1	Cerros de Guayaquil.....	15
2.1.2	Sur de Guayaquil (Suelos blandos).....	20
2.2	Selección de método de estimación de vulnerabilidad sísmica	26
2.3	Ficha de inspección.....	26
2.4	Selección de parámetros para estimación de índice de vulnerabilidad sísmica	28
2.4.1	Parámetro 1: Sistema resistente	29
2.4.2	Parámetro 2: Posición del edificio	30
2.4.3	Parámetro 3: Número de pisos	32
2.4.4	Parámetro 4: Configuración en planta.....	32
2.4.5	Parámetro 5 - Regularidad vertical.....	32
2.4.6	Parámetro 6: Piso Blando y porcentaje de aberturas	33
2.4.7	Parámetro 7: Daño existente	34
2.4.8	Parámetro 8: Calidad de la construcción y peligros no estructurales adicionales.....	36
2.5	Sismo de diseño.....	39
2.6	Cálculo de grado de daño	40
2.7	Ensayos realizados	41
2.8	Estimación de volumen de escombros por colapso de estructuras.....	44
2.8.1	Metodología usada para la estimación de escombros de demolición luego del sismo de febrero de 1999 en el Eje Cafetero, Colombia.....	45
2.9	Desarrollo de aplicación móvil (desarrollado por FIEC)	45
CAPÍTULO 3.....		47
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	47
3.1	Parámetros.....	47
3.1.1	Tipo de sistema estructural	47

3.1.2	Daño estructural	50
3.1.3	Calidad de construcción.....	52
3.2	Índice de Vulnerabilidad	54
3.3	Grados de Daño	58
3.3.1	Sismo de Intensidad VII	59
3.3.2	Sismo de Intensidad VIII	61
3.3.3	Sismo de Intensidad IX	63
3.4	Ensayos	65
3.4.1	Martillo de Rebote.....	65
3.4.2	Perforaciones.....	66
3.4.2.1	Trinitaria	66
3.4.2.2	Bastión Popular.....	68
3.5	Problemas Comunes	70
3.5.1	Conexiones.....	70
3.5.2	Ausencia de Recubrimiento	71
3.5.3	Remoción Intencional de Concreto	71
3.5.4	Inadecuadas Expansiones	72
3.5.5	Columna corta	72
3.5.6	Ausencia de Elementos Estructurales.....	73
3.5.7	Muros sin Adecuado Drenaje.....	74
3.5.8	Daño Estructural y no Estructural.....	74
3.6	Implicaciones ambientales por generación de escombros en caso de colapso por sismo. 75	
3.6.1	Volumen de escombros por colapso de estructuras.....	75
3.6.2	Criterios para el manejo de escombros generados por un sismo	76
3.6.3	Ubicación del sitio.....	76
3.6.4	Operación del sitio	77

3.6.5	Aprovechamiento y reciclaje de escombros	77
3.6.6	Transporte de escombros	78
3.7	Soluciones ante deficiencias de las estructuras	79
3.8	Presupuesto	81
3.8.1	Confinamiento de columnas.....	81
3.8.2	Fisuras en mampostería	82
CAPÍTULO 4		84
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	84
4.1	Conclusiones.....	84
4.2	Recomendaciones.....	85
BIBLIOGRAFÍA		87
APÉNDICES		91
APÉNDICE A - Normas usadas, referencias estudiadas y tabla de potencial de licuefacción		92
APÉNDICE B - Modelo de ficha de evaluación, y matriz de cálculo de índice de vulnerabilidad sísmica.....		96
APÉNDICE C - Columnas estratigráficas de sondeos.....		100
APÉNDICE D - Análisis de precios unitarios		107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Evolución demográfica de Guayaquil (INEC, 2019).....	4
Figura 1.2 Subducción de Placa Tectónica (IGEPN, 2019)	9
Figura 1.3 Distribución Superficial de las Placas Tectónicas (Doncel, 2011)	9
Figura 2.1 Ubicación general de las posibles áreas de estudio en Cerros (Google Earth, 2019).....	16
Figura 2.2 Localización del Sector 1 - Bastión Popular (Google Earth, 2019).....	16
Figura 2.3 Curvas de nivel aproximadas del Sector 1 - Bastión Popular (Desarrollado en Global Mapper, 2019).....	17
Figura 2.4 Distribución de bloques Sector 1 - Bastión Popular (Google Earth, 2019) ...	17
Figura 2.5 Sector 1, Bastión Popular (Función Street View de Google Earth, 2015)	18
Figura 2.6 Localización del Sector 1 - Cooperativa 9 de Enero (Google Earth, 2019) ..	19
Figura 2.7 Distribución de bloques Sector 1 - Cooperativa 9 de Enero (Google Earth, 2019).....	20
Figura 2.8 Sector 1, Cooperativa 9 de Enero (Street View de Google Earth, 2015).....	20
Figura 2.9 Ubicación general de las posibles áreas de estudio en suelo blando (Google Earth, 2019)	21
Figura 2.10 Localización Sector 2 - Isla Trinitaria (Google Earth, 2019)	21
Figura 2.11 Localización Sector 2 - Isla Trinitaria (Google Earth, 2019)	22
Figura 2.12 Sector 2, Isla Trinitaria (Función Street View de Google Earth, 2015)	23
Figura 2.13 Localización Sector 2 - Guasmo Central (Google Earth, 2019).....	23
Figura 2.14 Distribución de bloques Sector 2 - Guasmo Central (Google Earth, 2019)	24
Figura 2.15 Sector 2, Guasmo Central en año 2015 (Street View de Google Earth)	25
Figura 2.16 Adecuada alineación de aberturas (NEC-SE-VIVIENDA 2015)	34
Figura 2.17 Mezcla de concreto clase D con vacíos significativos (Autores)	36
Figura 2.18 Cubierta de refuerzo clase D (Autores)	37
Figura 2.19 Conexión clase D (Autores).....	37
Figura 2.20 Columna de clase D: que se encuentra inclinada (Autores)	38
Figura 2.21 Mampostería de clase D: Mezcla desigual de mortero con agujero y bloques parciales. (Autores)	38
Figura 2.22 Intensidades provocadas por el sismo de diseño para diferentes sectores de la ciudad de Guayaquil (Proyecto Radius).....	40
Figura 2.23 Ubicación de sondeos en Bastión Popular (Google Earth, 2019)	42

Figura 2.24 Ubicación de sondeos en Trinitaria (Google Earth, 2019).....	42
Figura 2.25 Perforación del suelo en Bastión Popular (Geocimientos, 2019)	43
Figura 2.26 Perforación del suelo en Trinitaria (Geocimientos, 2019)	43
Figura 2.27 Ejecución del ensayo del martillo de rebote (Autores)	44
Figura 2.29 Aplicación móvil desarrollada para recolección de datos (FIEC, 2019).....	46
Figura 3.1 Tipo de Sistema Estructural, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	48
Figura 3.2 Tipo de Sistema Estructural, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	48
Figura 3.3 Distribución de Tipo de Sistema Estructural, Bastión Popular (Autores)	49
Figura 3.4 Distribución de Tipo de Sistema Estructural, Trinitaria (Autores)	49
Figura 3.5 Daño Estructural, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	50
Figura 3.6 Daño Estructural, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	50
Figura 3.7 Gráfico Daño Estructural, Bastión Popular (Autores).....	51
Figura 3.8 Gráfico Daño Estructural, Trinitaria (Autores)	52
Figura 3.9 Calidad de Construcción, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	52
Figura 3.10 Calidad de Construcción, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	53
Figura 3.11 Gráfico Calidad de Construcción, Bastión Popular (Autores).....	54
Figura 3.12 Gráfico Calidad de Construcción, Trinitaria (Autores).....	54
Figura 3.13 Índice de Vulnerabilidad, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	55
Figura 3.14 Índice de Vulnerabilidad, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	55
Figura 3.15 Histograma de Frecuencias Índice de Vulnerabilidad, Bastión Popular (Autores)	56
Figura 3.16 Histograma de Frecuencias Índice de Vulnerabilidad, Bastión Popular (Autores)	56
Figura 3.17 Diagrama de Cajas Índice de Vulnerabilidad, Bastión Popular (Autores)...	57
Figura 3.18 Diagrama de Cajas Índice de Vulnerabilidad, Trinitaria (Autores)	57
Figura 3.19 Comparación de Diagrama de Cajas Índice de Vulnerabilidad (Autores)...	58
Figura 3.20 Grado de Daño Sismo de Intensidad VII, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	59
Figura 3.21 Grado de Daño para Sismo de Intensidad VII, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	60
Figura 3.22 Gráfico de Grado de Daño para Sismo de Intensidad VII (Autores).....	60

Figura 3.23 Grado de Daño para Sismo de Intensidad VIII, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	61
Figura 3.24 Grado de Daño para Sismo de Intensidad VIII, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)	62
Figura 3.25 Gráfico de Grado de Daño para Sismo de Intensidad VIII (Autores).....	62
Figura 3.26 Grado de Daño para Sismo de Intensidad IX, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS)	63
Figura 3.27 Grado de Daño para Sismo de Intensidad IX, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS)	63
Figura 3.28 Gráfico de Grado de Daño para Sismo de Intensidad IX (Autores).....	64
Figura 3.29 Daño Basado en el Sismo de Diseño Propuesto por RADIUS (Desarrollado en ArcGIS)	65
Figura 3.30 Sondeo No 1, Trinitaria (Geocimientos, 2019)	66
Figura 3.31 Sondeo No 2, Trinitaria (Geocimientos, 2019)	68
Figura 3.32 Sondeo No 1, Bastión Popular (Geocimientos, 2019).....	69
Figura 3.33 Sondeo No 2, Bastión Popular (Geocimientos, 2019).....	69
Figura 3.34 Sondeo No 3, Bastión Popular (Geocimientos, 2019).....	70
Figura 3.35 Viviendas con Malas Conexiones Estructurales (Autores)	70
Figura 3.36 Viviendas con Ausencia de Recubrimiento (Autores)	71
Figura 3.37 Viviendas que Presentan Remoción Intencional del Concreto (Autores) ...	72
Figura 3.38 Viviendas con Malas Expansiones (Autores).....	72
Figura 3.39 Viviendas con Presencia de Columna Corta (Autores)	73
Figura 3.40 Viviendas con Ausencia de Elementos Estructurales (Autores).....	73
Figura 3.41 Ausencia de Drenaje en Muros de Contención (Autores)	74
Figura 3.42 Viviendas con Daños en Elementos (Autores).....	75
Figura 3.43 Ruta de Acarreo de Material Bastión-Cantera (Google Earth)	78
Figura 3.44 Ruta de Acarreo de Material Trinitaria-Cantera (Google Earth)	79
Figura 3.45 Tipo de Edificación (FEMA)	80
Figura 3.46 Detalle para confinamiento de columna (SIKA, 2017)	81
Figura 3.47 Detalle para sellado de fisuras (SIKA)	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Daño y residuos generados por un terremoto (Organización Panamericana de la Salud, 2003)	10
Tabla 2.1 Detalle del Sector 1 - Bastión Popular (Autores).....	18
Tabla 2.2 Detalle del Sector 1 -Cooperativa 9 de Enero (Autores)	19
Tabla 2.3 Detalle del Sector 2 - Isla Trinitaria (Autores)	22
Tabla 2.4 Detalle del Sector 2 - Guasmo Central (Autores).....	24
Tabla 2.5 Parámetros y ponderaciones para cálculo de Índice de Vulnerabilidad Sísmica según diferentes autores (Silva et al. 2016, Petrini et al. 1993, Vicente et al. 2011)	28
Tabla 2.6 Ponderaciones usadas para los parámetros (Autores)	39
Tabla 3.1 Clasificación del Índice de Vulnerabilidad (López et al., 2014)	47
Tabla 3.2 Datos de Diagrama de Cajas (Autores)	58
Tabla 3.3 Grados de Daño (Ferreira et al., 2016)	59
Tabla 3.4 Resultados de Ensayo Martillo de Rebote (Autores).....	65
Tabla 3.5 Potencial de Licuefacción (Autores)	67
Tabla 3.6 Maquinarias y Tiempo Estimado de Trabajo.....	79
Tabla 3.7 Deficiencia Sísmica y Técnicas Potenciales de Rehabilitación	80
Tabla 3.8 Presupuesto para Rehabilitación de Columnas (Autores).....	82
Tabla 3.9 Presupuesto para Rehabilitación de Mampostería Fisurada (Autores)	82
Tabla 3.10 Presupuesto para traslado de escombros (Autores)	83

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Guayaquil con alrededor de 3'000.000 de habitantes se encuentra en el conocido Cinturón de Fuego, y ubicada a 160km de la trinchera creado por la colisión entre la placa Nazca y la placa Sudamericana, en la que se presenta el fenómeno de la subducción de la Nazca por debajo de La Sudamericana. Esto ha sido desencadenante de los sismos más significativos que han afectado a la ciudad como los de 1942, 1980 y 2016.

Entre los años 1998 y 1999 fue realizado un proyecto llamado “Proyecto RADIUS” en el cual se realizaron estudios especiales para planificar y prevenir desastres por terremotos. En dicho proyecto que fue patrocinado por las Naciones Unidas, la ciudad de Guayaquil fue elegida de más de 60 ciudades de todo el mundo, proyecto que finalmente se llevó a cabo en 9 ciudades de 4 continentes.

El presente proyecto basado en los mismos propósitos de generar estudios para la reducción de desastres por sismos del “Proyecto RADIUS”, se ha decidido buscar la manera más viable de medir la vulnerabilidad sísmica de las estructuras por medio de la recolección de información de estas. Se debe reconocer que en la ciudad de Guayaquil existen diferentes sectores con necesidades y riesgos distintos en sus edificaciones, para lo cual se han establecido dos tipos de sectores que reúnen diferentes características y a su vez puedan representar en gran medida las necesidades y riesgos en las edificaciones de gran parte de Guayaquil, y a su vez se elegirá un área específica para ser analizada por cada tipo de sector.

Guayaquil, con una altura de aproximadamente 4 metros sobre el nivel del mar, y la existencia de grandes cuerpos de agua en esta, como lo son el río Guayas y el estero Salado, gran parte de su área urbana se ve comprendida de suelos blandos y zonas que fueron asentadas sobre rellenos, por ello el primer tipo de sector a analizar corresponderá a un área de suelo blando como las comprendidas en el Sur de Guayaquil. Por otro lado, la ciudad de Guayaquil también posee zonas en las cuales tiene

pendientes considerablemente altas que han hecho posible la ocurrencia de varios deslizamientos y daños en las edificaciones a raíz distintos eventos sísmicos, por lo cual el segundo tipo de sector de estudios para el proyecto será en una zona de altas pendientes y cerros de la ciudad.

1.1 Descripción del problema

Poblados y ciudades cercanas al Cinturón de fuego del Pacífico presentan comúnmente mayor actividad sísmica que otras partes del mundo, por lo que, las construcciones de las zonas de frecuente actividad sísmica presentan la amenaza de que fuerzas sísmicas dañen, inhabiliten o colapsen las estructuras de no ser lo suficientemente resistentes ante la ocurrencia del fenómeno. La ciudad de Guayaquil ubicada en el litoral del Ecuador es una zona de alta sismicidad que forma parte también parte del cinturón de fuego, y no es ajeno al peligro de que la aceleración de un evento sísmico perjudique las construcciones que no hayan sido construidas conforme a un cálculo y diseño sismo-resistente, que de colapsar parcial o totalmente puede desencadenar en afectación a la integridad física de las personas.

Particularmente en Guayaquil hay distintos factores que pueden ser desencadenantes o agravantes del problema, y se presentarán a continuación:

El crecimiento urbano no planificado: En el año 1950 Guayaquil tenía una población de 258.966 habitantes, mientras que para el año 2010 su población de incrementó alrededor de 10 veces más, llegando a la cifra de 2'582.585 habitantes (Figura 1.1). Actualmente las proyecciones indican que a finales del 2018 Guayaquil llegó a tener una población de 2'671.801 habitantes (INEC, 2019).

Este crecimiento poblacional da lugar a la existencia de invasiones, y a construcciones informales elaboradas bajo ningún diseño sismo-resistente.

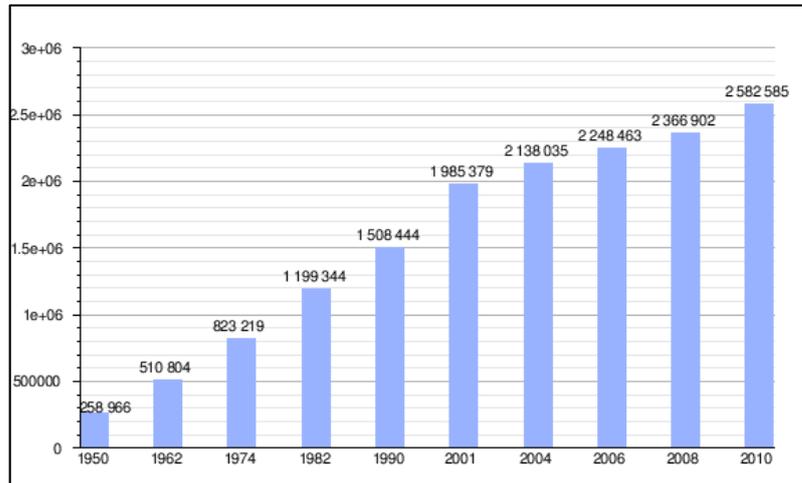


Figura 1.1 Evolución demográfica de Guayaquil (INEC, 2019)

Construcción informal y sus malas prácticas: La construcción informal que se viene desarrollando a lo largo de la historia en la ciudad es una problemática que vuelve más vulnerables a muchos sectores, especialmente los sectores populares pobres de la ciudad de Guayaquil, esta construcción informal comúnmente no obedece parámetros de la Norma Ecuatoriana de la Construcción ni posee una buena calidad de construcción ni diseño sismo-resistente alguno.

Las variables principales para analizar para presentar un estudio que permita dar soluciones ante el problema serán:

- La amenaza sísmica del sector.
- Las tipologías y características de edificaciones.
- La informalidad y errores constructivos frecuentes.

1.2 Justificación del problema

El presente proyecto pretende presentar un estudio investigativo que permita dar paso a soluciones ante el problema expuesto en la sección anterior. Por medio de la estimación de la vulnerabilidad sísmica de un sector se podrá:

- Tener una idea general de la vulnerabilidad que presenta una zona ante la ocurrencia de un evento sísmico.

- Generar una mayor conciencia de las prácticas constructivas y características de edificaciones presentes en los sectores a analizar que los vuelven más vulnerables.
- Implementar una forma de estimación de vulnerabilidad sísmica que pueda ser escalable, replicada en futuras investigaciones y ampliada para más sectores de la ciudad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Generar un estudio trascendente de vulnerabilidad sísmica en sectores específicos de la ciudad de Guayaquil que pueda ser ampliado en futuras investigaciones, proponiendo y aplicando una metodología de la estimación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Definir sectores específicos para su estudio que tengan semejanza a otras zonas de la ciudad, de forma que permita ser trascendente para futuros análisis en diferentes partes de la ciudad (Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra).
2. Proponer y aplicar un método de estimación de vulnerabilidad sísmica a las zonas elegidas para su estudio (Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra).
3. Identificar las características, tipologías, y errores constructivos que vuelven más vulnerable a las edificaciones de las zonas de estudio. (Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra).
4. Reconocer, enlistar y evidenciar los diferentes errores constructivos que presentan las viviendas informales. (Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra).
5. Analizar de manera general el riesgo licuefacción de los suelos de los sectores de estudio (Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra).
6. Analizar el riesgo de deslizamiento para los suelos de los sectores de estudio (Geología - Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra).

7. Diseñar un software que permita el registro, cálculo y visualización de las diferentes características y vulnerabilidad sísmica de las estructuras de las partes de la ciudad seleccionadas para su estudio. (Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación).
8. Diseñar un software que facilite los propósitos de escalabilidad del proyecto para futuras investigaciones. (Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación).

1.4 Marco teórico

1.4.1 Antecedentes

La costa ecuatoriana es una zona de potencial peligro sísmico, esto debido a que la misma se encuentra entre 2 placas tectónicas la Nazca y la Sudamericana. Un claro ejemplo del peligro sísmico al que se encuentra presente es el terremoto del 16 de abril 2016 en el cantón Pedernales, con una magnitud de 7.8 Mw (Instituto Geofísico, 2016) y el cuál, según el Informe de la Secretaría de Gestión de Riesgos ha dejado un aproximado de 663 personas fallecidas y daños en varias provincias de la costa y sierra ecuatoriana, estando entre estas Guayas, Esmeraldas, Manabí y Pichincha.

La ciudad de Guayaquil, localizada en el Golfo de la costa ecuatoriana presenta que un gran porcentaje de la población se encuentra asentada en “áreas populares”. Estos sectores, dependiendo de su ubicación pueden presentar terrenos con riesgos de licuefacción (planicies) o deslizamiento de tierra (cerros), por lo que es muy importante el estudiar la vulnerabilidad sísmica que presentan estas áreas. La vulnerabilidad de estos sectores va a depender de varios factores, entre los cuales tenemos:

- Calidad del proceso construcción.
- Tipo de cimentación.
- Calidad de los materiales.
- Tipo de construcción (formal o informal).
- Probabilidad de licuefacción/deslizamiento de tierra.

En 1942 ocurrió un movimiento sísmico de 7,9 en la escala de Richter en el Océano Pacífico frente a Jama, dando como resultado 40 muertos en su mayoría por colapso de edificios, en las zonas de roca se estimó una intensidad en la escala modificada de Mercalli de VI, mientras que en los terrenos del sur, centro y oeste se estimó una intensidad de VIII. El 18 de agosto del año 1980 se presentó un movimiento telúrico de magnitud 6,1 de la escala de Richter con localización en Nobol, población vecina a 30km de Guayaquil, la intensidad fue estimada en VII grados de la escala modificada de Mercalli. El evento sísmico dejó 10 personas fallecidas y más de 100 heridos, más de 100 casas y edificios resultaron con daños o destruidos, 49 casas de construcción mixta debieron ser demolidas en las parroquias de Bolívar, García Moreno, Sucre y Ayacucho, de los sectores del Sur y Centro de la ciudad. Una semana luego del sismo, 8% del total de planteles (34 escuelas, y 24 colegios) no pudieron reanudar clases evidenciando la vulnerabilidad de las estructuras (Proyecto RADIUS, 1999).

En el presente año se han reportado varios accidentes en diferentes sectores de la ciudad de Guayaquil. El día 17 de febrero del 2019, en el cual 7 familias fueron afectadas por un deslizamiento de tierra en la Cooperativa 12 de octubre del sector Mapasingue Oeste. Según personal municipal (El Universo, 2019) el temblor de magnitud 6 ocurrido el pasado 4 de febrero provocó fisuras en la loma, lo cual, añadiendo la infiltración de agua debido a las fuertes lluvias del invierno provocaron una desestabilización del terreno y posterior deslizamiento de tierra.

En el Bloque 11 del Sector Bastión Popular, la noche del 12 de marzo del 2019 (El Universo, 2019) ocurrió un deslizamiento de tierra debido a la intensa lluvia presente, terminando así con la vida de 2 recicladores que habitaban en una covacha del lugar. Otro caso se dio en el Sur de Guayaquil, entre las calles Los Ríos y General Gómez el día 30 de marzo del 2019 (El Universo, 2019), el derrumbe parcial de una vivienda causó daños en dos vehículos estacionados en el exterior de la propiedad, según moradores del sector el leve movimiento sísmico ocurrido el día anterior podría haber provocado debilitamiento de la estructura y su posterior derrumbe.

Tomando en cuenta las pérdidas no solo de posesiones, sino también de vidas humanas es importante realizar estudios a estos sectores, sean lomas o planicies con el fin de tratar de evitar o en su caso disminuir el riesgo a los cuales están presentes estas viviendas.

1.4.2 Bases teóricas

1.4.2.1 Sismicidad en Ecuador

Ecuador es un país con altamente sísmico, según el IGEPN (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional) esto quiere decir que diariamente ocurren sismos de magnitud leve, sin embargo, también existe la posibilidad de que se registren sismos de magnitudes altas como los ya ocurridos a lo largo de la historia, estos se presentan a continuación:

- 1906 Esmeralda (8.8 Mw) Costas afuera de Mompiche
- 1942 Manabí (7.8 Mw) Pedernales
- 1958 Manabí (7.8 Mw) Pedernales
- 1979 Esmeraldas (8.1 Mw) Costas afuera de San Lorenzo
- 2016 Manabí (7.8) Pedernales

La alta sismicidad del país se debe a la localización del mismo, ya que este se encuentra atravesado por una gran falla geológica debido a la subducción de la Placa Nazca con la Placa Sudamericana, dicho efecto se muestra en la Figura 1.2. De acuerdo al IGEPN el límite de estas placas es del tipo convergente, en este límite la Placa Nazca empuja y se desliza bajo la Placa Sudamericana.

1.4.2.2 Daño y residuos generados por un sismo

Al manifestarse un terremoto puede generar las siguientes consecuencias de implicación ambiental:

Tabla 1.1 Daño y residuos generados por un terremoto (Organización Panamericana de la Salud, 2003)

Evento	Daño	Residuos generados	Impactos secundarios
Sismos	Daños en vías de asfalto y concreto, infraestructura, pasos a desnivel, asfalto de parqueos. Bloques de concreto, paredes portantes, vehículos. Propiedades privadas y edificios.	Plástico, residuos orgánicos, maleza, madera, asfalto, concreto, cimientos y ladrillos.	Daños por explosiones e incendios. Residuos producidos por nuevas adecuaciones y construcciones.

1.4.2.3 Peligro Sísmico

Un análisis de peligro sísmico generalmente es llevado a cabo para evaluar la intensidad de un evento sísmico en un lugar determinado. Dicho análisis se encarga de proveer información sobre fuertes movimiento de tierra, cuya finalidad es proveer información al gobierno para tomar las respectivas decisiones sobre diseños para estructuras sismo resistentes y otros impactos sociales provocados por este desastre natural (Sitharam, 2018).

1.4.2.4 Grado de daño

Los grados 1 a 5 deberían idealmente representar un aumento lineal en la fuerza del temblor. Hacen esto solo aproximadamente, y son fuertemente influenciado por la necesidad de describir clases de daños que pueden ser fácilmente distinguido por el operador. También se debe tener en cuenta que no todas las combinaciones posibles de la clase de vulnerabilidad y el grado de daño se mencionan para cada grado de la escala; generalmente solo se mencionan los dos grados de daño más altos para una clase de vulnerabilidad particular; es asumido ese número proporcional de edificios sufrirá menores grados de daño (EMS, 1998).

1.4.2.5 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad ha sido definida de distintas maneras entre estas podemos encontrar la siguiente: Nivel de la pérdida de uno o múltiples elementos en riesgo resultantes de la posible materialización de un evento de peligro, comprendida en una escala entre 1 (total pérdida) y 0 (ningún daño). La vulnerabilidad también se puede definir como un componente de riesgo interno, apropiado a su tendencia específica de ser capaz de recibir un daño, indicado como la factibilidad de que el sistema señalado sea influido por la manifestación que identifica a la amenaza (Barbat, 2004).

1.4.2.6 Análisis de vulnerabilidad

Se entiende como análisis de vulnerabilidad a una indagación de la capacidad de un sistema de soportar o mitigar el impacto de un acontecimiento que determina una amenaza y, en consecuencia, se distingue de la evaluación de pérdidas según el grado de amenaza estimado y con el grado de vulnerabilidad que existe en el sistema propuesto, conocido como análisis de riesgo. Hasta la actualidad la evaluación de la vulnerabilidad sísmica ha sido la que ha presentado un mayor desarrollo (Barbat, 2004).

La estimación de la capacidad de un edificio para soportar las solicitaciones sísmicas reales es lo que también puede entenderse como un análisis de vulnerabilidad de dicha estructura, que diverge del desarrollo del análisis que se hace en fase de diseño, pues en este caso, todas las variables implicadas como cargas, resistencia, y ductilidad de la estructura y elementos deben ser reales (Barbat, 2004).

1.4.2.7 Métodos de estimación de vulnerabilidad sísmica

Métodos teóricos o analíticos: Generalmente son extensiones intrínsecas de los procesos de diseño y análisis sísmicos sugeridos por las normas de construcción modernas (OPS, 1993). Usando como base modelos mecánicos de la respuesta de las estructuras e incluyendo datos específicos de sus características mecánicas estiman la resistencia estimada de las construcciones

a los eventos sísmicos. Estos métodos conforman un análisis muy completo, pero a su vez costoso y exigente.

Métodos de caracterización o categorización: Estos métodos consideran de acuerdo con la experiencia vista del desempeño sísmico de estructuras, la similitud de las construcciones que han presenciado eventos sísmicos con las estructuras a estudiar, clasificando por tipologías en clases de vulnerabilidad (Günthal, 1998), este es considerado un método empírico.

Métodos de puntaje e inspección: Caracteriza e identifica las potenciales deficiencias sísmicas de una edificación, asignando valores numéricos a cada uno de los componentes significativos y ponderado según la importancia relativa, determinando así un índice de vulnerabilidad sísmica. La aplicación de este método pese a ser muy subjetiva permite dar evaluaciones orientativas de regiones de importante sismicidad jerarquizando de forma relativa el nivel de vulnerabilidad sísmica de cada edificación. Un ejemplo representativo de esta metodología es el elaborado por el grupo Naziole per la Difesa dai Terremoti (GNDT, 1994).

1.4.2.8 Índice de vulnerabilidad sísmica

Para la medición de la vulnerabilidad sísmica de una edificación, esta puede ser realizada por métodos analíticos y cualitativos, dependiendo del nivel de profundidad o detalles que puedan ser determinados u obtenidos de cada edificación, no obstante, ambos métodos son capaces de determinar la capacidad sísmica de una estructura. Uno de los varios métodos, y el cual será usado como base en este estudio es el método de índice de vulnerabilidad sísmica propuesto por (GNDT, 1994). Esta metodología se basa en la observación de los daños después de un sismo, encuestando datos de un vasto número de parámetros visibles, enfocándose en los más importantes aspectos y características que definen el daño de una edificación (Ferreira, 2016).

Esta metodología, originalmente creada en Italia ha sido aplicada por varios estudios en los últimos 25 años, adoptada por (Vicente et al., 2011) para

construcciones de mamposterías y añadiendo nuevos parámetros asociados a la interacción entre edificaciones se obtienen un total de 14 parámetros (Apéndice A, Figura A.1). Estos parámetros se enfocan en 4 grandes grupos:

- Sistema estructural, el grupo con mayor cantidad de parámetros que incluso presenta la ubicación del edificio;
- Irregularidades e interacciones, evalúa irregularidades presentes en la edificación y la interacción entre varios de estos;
- Losas y cubiertas, también conocida como calidad de conexiones este grupo evalúa si el edificio se mueve como un solo cuerpo;
- Estado de conservación, evaluando el estado actual de la edificación y la conservación de los elementos estructurales. Este grupo además estudia la influencia negativa de la presencia de elementos no estructurales con pobres conexiones al sistema estructural (Ferreira, Maio y Vicente, 2016).

1.4.2.9 Clasificación del suelo

La clasificación de suelo se da a cabo para determinar las propiedades del mismo, los suelos cuyas propiedades tienden a ser similares pueden agruparse en grupos o subgrupos. Existen dos sistemas elaborados que, mediante el uso de la distribución granulométrica y la plasticidad permiten clasificar el suelo para su aplicación ingenieril, siendo estos: American Association of State Highway Officials (AASHTO), conocido principalmente por su uso en carreteras, y el Sistema Unificado de Clasificación de suelo (SUCS), este último siendo el favorito para los ingenieros geotécnicos (Das, 2013). El sistema de clasificación SUCS (Apéndice A, Figura A.2) divide los suelos en dos grandes categorías:

- Suelos de grano grueso cuyo pasante del tamiz núm. 200 es menor al 50%.
- Suelos de grano fino con un 50% o más de material que pasa el tamiz núm. 200.

1.4.2.10 Clasificación del perfil de suelo

La Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15) en sus capítulos (NEC-SE-DS y NEC-SE-CM), presenta la clasificación de los tipos de perfiles de suelo de acuerdo con su competencia. Para un diseño sísmico (NEC-SE-DS), los parámetros utilizados en la clasificación de los estratos corresponden a los 30 metros superiores del perfil, la Figura A.3 del apéndice A presenta la clasificación de los perfiles de suelo que componen la geología local.

Para obtener una correcta clasificación del suelo es necesario obtener diferentes muestras, para perfiles de suelo Tipo E se indica que es necesario incluso realizar los respectivos ensayos de laboratorio cuyos resultados para su correcta clasificación es necesario ponderarlos al valor correspondiente. (Apéndice A, Figura A.3).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Se desarrollaron diversos procesos para la obtención y análisis de los datos deseados para la estimación del índice de vulnerabilidad de las construcciones de la zona de estudio. El presente proyecto es interdisciplinario y los procesos llevados a cabo por integrantes de Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (Ingeniería Civil y Geología), estudiantes de postgrado de la universidad Colorado Boulder y por integrantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación serán explicados en las siguientes secciones de la metodología.

El trabajo realizado por la carrera de Geología se basó en recolección de muestras de Bastión para un posterior análisis completo del riesgo de deslizamientos, mientras que FIEC se encargó de programar una aplicación y sitio web que sirva de soporte para las inspecciones de las estructuras.

2.1 Selección de sectores de estudio

Para el estudio de la vulnerabilidad sísmica se tuvo en cuenta 2 alternativas para cada sector de estudio, el sector 1 corresponde a los cerros y el sector 2 a suelos blandos de Guayaquil.

2.1.1 Cerros de Guayaquil

Para los cerros, de las 2 alternativas una de ellas se encuentra localizada en el Bloque 11 de Bastión Popular y el otro en Cooperativa 9 de Enero (sector Mapasingue Oeste), ubicados al Norte y al Noroeste de Guayaquil como se muestra en la Figura 2.1.

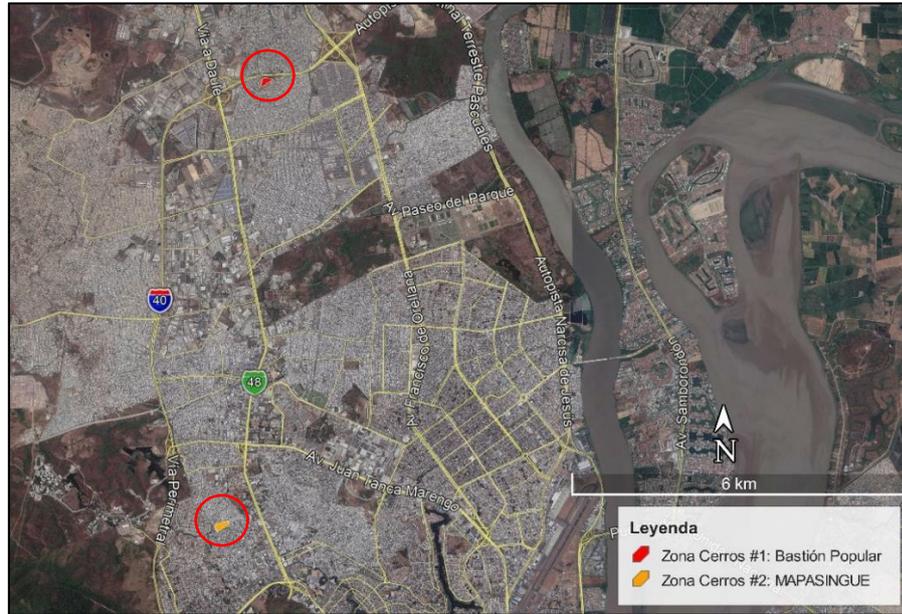


Figura 2.1 Ubicación general de las posibles áreas de estudio en Cerros (Google Earth, 2019)

La alternativa 1 se encuentra localizada en Bloque 11 de Bastión Popular, como se puede observar en la Figura 2.2. Además, se observó la topografía local aproximada del sitio con ayuda del software Global Mapper (Figura 2.3), las curvas de nivel están señaladas cada 10 metros cuyo objetivo es brindar una idea de las diferencias de niveles que existen en este terreno.

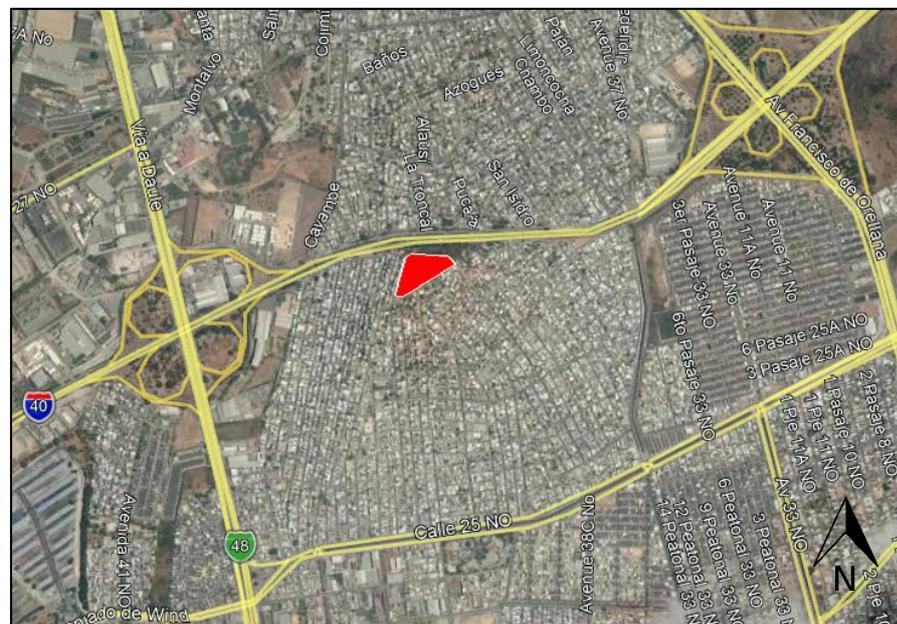


Figura 2.2 Localización del Sector 1 - Bastión Popular (Google Earth, 2019)



Figura 2.3 Curvas de nivel aproximadas del Sector 1 - Bastión Popular (Desarrollado en Global Mapper, 2019)

Se procedió a dividir esta alternativa en cinco bloques (Figura 2.4), cada bloque con un aproximado de 20 viviendas a excepción del bloque BE cuyo estimado es de 42 casas (Tabla 2.1). La variación de altura que presenta el sector es de 40 m hasta los 75 m por lo que existe una diferencia de cota de 35 m, cumpliendo a cabalidad con el tipo de sector que se desea estudiar.



Figura 2.4 Distribución de bloques Sector 1 - Bastión Popular (Google Earth, 2019)

Tabla 2.1 Detalle del Sector 1 - Bastión Popular (Autores)

Bloque	No de viviendas (aprox.)	Área (Ha)
BA	20	0.31
BB	21	0.28
BC	22	0.34
BD	18	0.30
BE	42	0.51
Total	123	1.74

La Figura 2.5 se obtuvo realizando un recorrido con la función Street View de Google Earth. Estas observaciones fueron de gran utilidad para la selección de los sectores, para observar su situación en 2015, y los cambios que presentaron desde esa fecha hasta la inspección del presente proyecto en 2019 una vez seleccionada el área de estudio.



Figura 2.5 Sector 1, Bastión Popular (Función Street View de Google Earth, 2015)

La segunda alternativa se encuentra localizada en la Cooperativa 9 de Enero (Mapasingue) al Noroeste de Guayaquil (Figura 2.6), este sector presentó menores cotas que el seleccionado en Bastión Popular siendo estas 53 metros la más alta y 35 metros la más baja, por lo que la diferencia de cotas en el área es de 18 metros.



Figura 2.7 Distribución de bloques Sector 1 - Cooperativa 9 de Enero (Google Earth, 2019)

La Figura 2.8 muestra un mejor detalle de las viviendas asentadas en el sector.

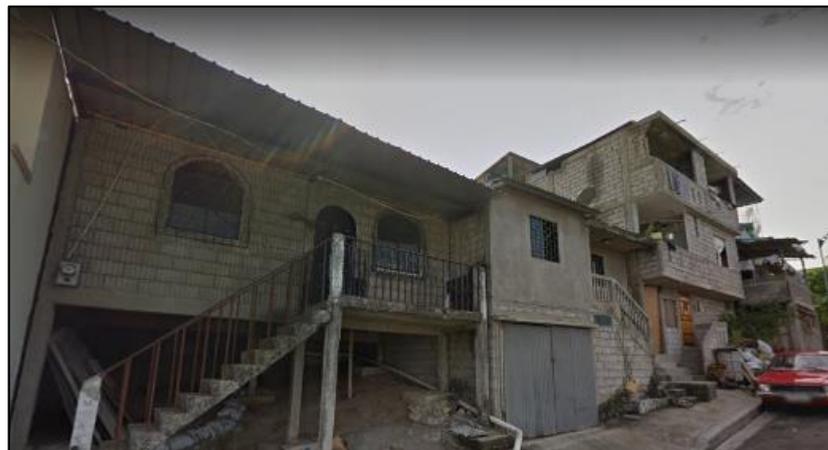


Figura 2.8 Sector 1, Cooperativa 9 de Enero (Street View de Google Earth, 2015)

2.1.2 Sur de Guayaquil (Suelos blandos)

Para el estudio de un sector de suelos blandos se propondrán dos alternativas, una en la Isla Trinitaria, y la otra en el Guasmo Central ambas alternativas contienen un aproximado de 100 viviendas (Figura 2.9).



Figura 2.11 Localización Sector 2 - Isla Trinitaria (Google Earth, 2019)

La Tabla 2.3 muestra el detalle del sector, cabe recalcar que tanto las dimensiones como el número de viviendas por bloques es aproximado debido a que este se lo realizó directamente desde el programa Google Earth. Sin embargo, esto brinda una buena aproximación de lo que se encuentra en campo.

Tabla 2.3 Detalle del Sector 2 - Isla Trinitaria (Autores)

Bloque	No. de viviendas (aprox.)	Área (Ha)
TA	29	0.43
TB	27	0.45
TC	28	0.43
TD	24	0.46
Total	108	2.18

La Figura 2.12 se tomó directamente desde la función Street View del Google Earth, brindando información del tipo de viviendas que se esperaban encontrar en el sector.

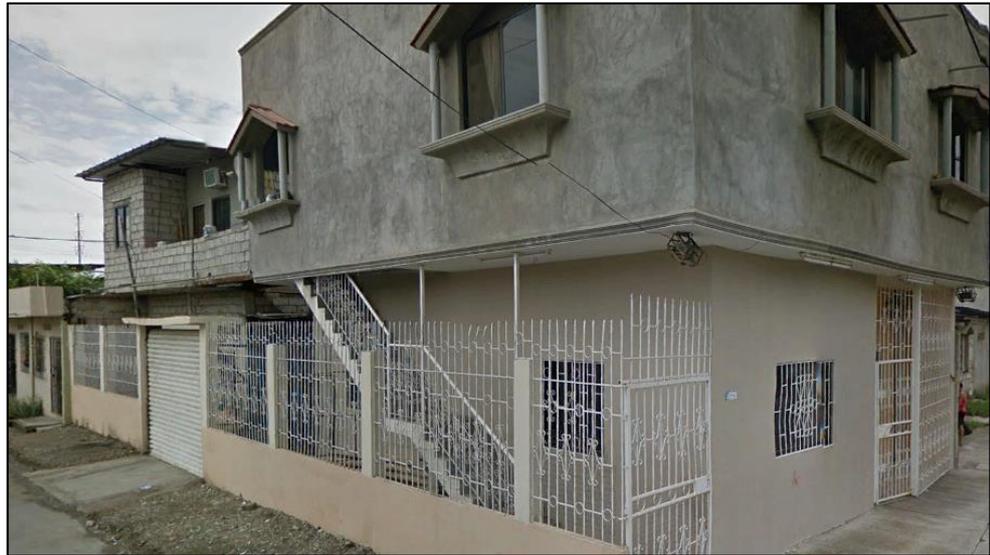


Figura 2.12 Sector 2, Isla Trinitaria (Función Street View de Google Earth, 2015)

La segunda alternativa que se presentó se encuentra localizada en Guasmo Central (Figura 2.13), este sector tiene una dimensión aproximada de 235m x 75m (Figura 2.14).

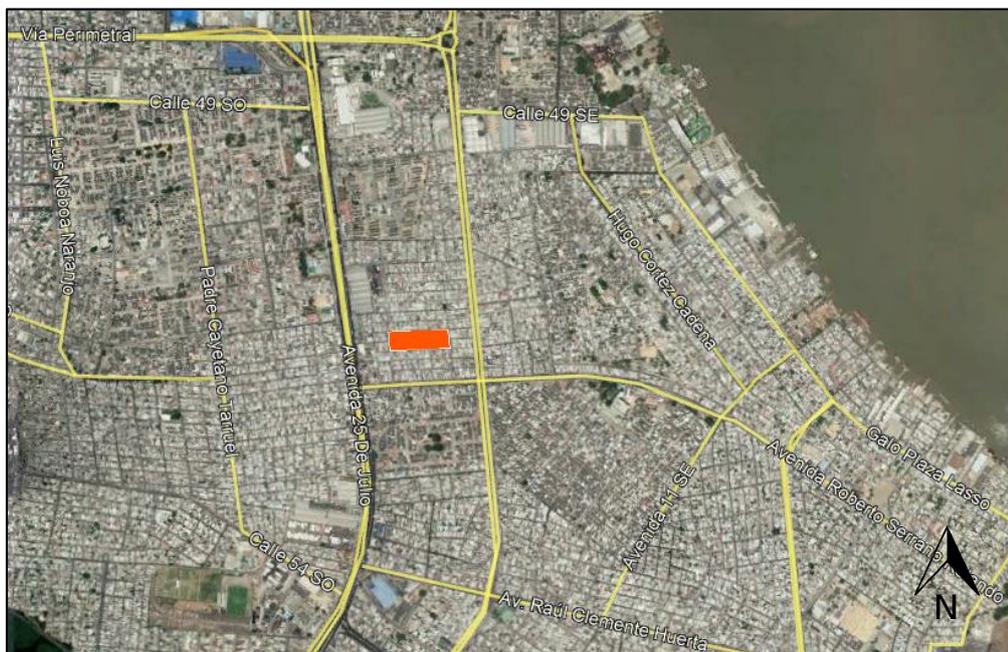


Figura 2.13 Localización Sector 2 - Guasmo Central (Google Earth, 2019)



Figura 2.14 Distribución de bloques Sector 2 - Guasmo Central (Google Earth, 2019)

La Tabla 2.4 muestra valores aproximados en lo que respecta al área y número de viviendas por bloque.

Tabla 2.4 Detalle del Sector 2 - Guasmo Central (Autores)

Bloques	No. de viviendas (aprox.)	Área (Ha)
GA	20	0.30
GB	20	0.21
GC	20	0.23
GD	20	0.22
GE	20	0.23
GF	20	0.22
Total	120	1.80

Seguidamente, se presenta la Figura 2.15 captada con la función Street View del Google Earth.



Figura 2.15 Sector 2, Guasmo Central (Función Street View de Google Earth, 2015)

Los sectores seleccionados para cada tipo de terreno, sea este cerro o suelo blando se hicieron en base a lo siguiente:

Para cerros se eligió estudiar el Bloque 11 de Bastión Popular, (El Universo, 2019) reportó que la noche del 12 de marzo en Bastión Popular, debido a la fuerte lluvia ocurrió un deslizamiento de tierra que tomó la vida de 2 recicladores, por lo que se pueden realizar estudios sobre posibles riesgos de deslizamiento en el sector.

Las evidencias mostradas indican que existe presencia de terreno natural en lugar de asfalto entre los bloques, lo que facilita el ingreso de agua por lluvias, además se pueden observar casos de viviendas construidas tanto al pie como en la corona de la ladera natural varias de estas siendo estructuras de madera.

La presencia de terreno natural además facilita el estudio de suelo, al poder realizar sondeos y tomar muestras sin dañar construcciones existentes. La diferencia entre cotas proporcionadas por las curvas de nivel indica partes del sector con cambios bruscos de altura suponiendo así la presencia de grandes pendientes, es pondría en riesgo al sector ante un posible caso de deslizamiento.

Para suelos blandos se decidió por estudiar la Isla Trinitaria, esta zona pasó del fango a ser un lugar habitable gracias a un relleno hidráulico provisto en el periodo presidencial de Rodrigo Borja (El Universo, 2016) por lo que se espera grandes

cantidades de material blando, debido a que el sector se encuentra prácticamente rodeado por el estero salado existe la probabilidad de licuefacción en él mismo. Posterior a la selección se definió la cantidad exacta de estructuras a inspeccionar siendo 109 para Bastión Popular, y 111 para Isla Trinitaria.

2.2 Selección de método de estimación de vulnerabilidad sísmica

Una vez expuestos los diferentes métodos de estimación de vulnerabilidad sísmica en el marco teórico del presente documento se procedió a la selección del método que sería usado en este estudio.

Para un análisis de vulnerabilidad que pueda ser escalable a un estudio en una cantidad muy grande de estructuras, no podrá ser elegido un método analítico por su alta exigencia y costos. Por otro lado, el método de categorización presenta la limitación de que no hay un registro completo del daño en estructuras de condiciones similares a las construcciones de las zonas elegidas de Bastión e Isla Trinitaria. Por lo tanto, la alternativa más viable para la estimación de la vulnerabilidad sísmica de los sectores seleccionados, que tenga proyecciones de escalabilidad, es el método de inspección y puntaje.

2.3 Ficha de inspección

Se procedió a hacer una recolección de todos los datos que se pudieran apreciar en campo, dándole principal prioridad a los datos que directamente influirán en la estimación del índice de vulnerabilidad sísmica. Por otro lado, se permitió más allá de la selección de datos con opciones objetivas, añadir cuantos comentarios se crean pertinentes respecto a las estructuras encontradas en campo y a cualquier situación que se haya encontrado respecto a los problemas sociales de la zona, para luego de la revisión de las fichas que han sido llenadas, poder desarrollar de una manera más completa el análisis de los resultados obtenidos.

Para la elaboración de la ficha de recolección de datos de las viviendas en la respectiva inspección y estimación del índice de vulnerabilidad, se tomará en cuenta diferentes parámetros, muchos de estos extraídos de las referencias

estudiadas y otros tomados en base a la realidad de las viviendas de las zonas seleccionadas.

Varios de los datos presentados en la ficha técnica son mandatorios, otros fueron agregados de forma opcional, en caso de que se posea la correspondiente información. A continuación, se presentan los segmentos de la ficha de inspección:

- **Información general:** Compuesta por dirección de la vivienda, fecha, sector, Identificación de la vivienda, cota, nombre del inspector, edad de la estructura.
- **Información general de la estructura:** Que contiene el número de pisos, material y uso de la estructura.
- **Datos del sistema estructural:** De los que forman parte el tipo de sistema estructural, información de la cimentación, y la medida de la luz entre columnas.
- **Irregularidades:** Compuesta por las irregularidades verticales, volados, irregularidades en planta, información sobre las aberturas de la estructura, y ubicación de la estructura respecto a su pendiente y respecto a las demás estructuras contiguas del bloque.
- **Calidad de la construcción:** Que contiene información respecto a si fue construida por profesionales capacitados o no, el tipo de cubierta de la vivienda y una calificación de la calidad de la construcción.
- **Daño existente:** Se refiere a los daños que se puedan ver tanto estructurales, como no estructurales y a los asentamientos que puedan ser apreciables de la estructura.
- **Observaciones:** Este segmento de la ficha contiene espacio para anotaciones sobre los problemas sociales en la zona, cualquier anotación extra, y una calificación de peligros adicionales que tenga la estructura.
- **Anexos:** Como último segmento los anexos se componen de un espacio para colocación de una imagen general y tres imágenes para imágenes específicas de lo observado.

En el Apéndice B, la Figura B.1 y B.2 muestra la ficha de inspección elaborada.

2.4 Selección de parámetros para estimación de índice de vulnerabilidad sísmica

Para la elaboración de la ficha de inspección y la estimación del índice de vulnerabilidad, se tomaron en cuenta diferentes parámetros, muchos de estos extraídos de las referencias (Tabla 2.5) y otros seleccionados en base a la realidad de las viviendas de las zonas seleccionadas de Trinitaria y Bastión Popular,

Tabla 2.5 Parámetros y ponderaciones para cálculo de Índice de Vulnerabilidad Sísmica según diferentes autores (Silva et al. 2016, Petrini et al. 1993, Vicente et al. 2011)

Silva et al. 2016		Método GNDT II, Petrini et al. 1993		Vicente et al. 2011	
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso
Tipo de sistema resistente	13%	Tipo de Sistema resistente	24%	Tipo de Sistema resistente	6%
Posición	4%	Calidad	6%	Calidad	8%
Edad de la estructura	13%	Fuerza convencional	3%	Fuerza convencional	12%
		Posición y cimentación	6%	Espaciamiento entre elementos estructurales	4%
Irregularidades en planta	17%	Diafragmas	6%	Número de pisos	12%
		Configuración en planta	6%	Posición y suelo	6%
Irregularidades verticales	17%	Configuración en elevación	18%	Posición de estructura e interacción	12%
		Conexiones y elementos críticos	6%	Configuración en planta	6%
Suelo Blando	17%	Elementos de baja ductilidad	6%	Regularidad vertical	6%
				Aberturas en fachada y alineamientos entre aberturas	4%
Columna corta	17%	Elementos no estructurales	6%	Diafragmas	8%
				Sistema de cubierta	8%
Otros	4%	Mantenimiento	12%	Estado de conservación	8%
				Elementos no estructurales	4%

Considerando el cronograma y recursos para el desarrollo del proyecto, se fueron descartaron variables que requieran cálculos o estudios exhaustivos para su obtención en cada una de las viviendas, tales como las ligadas a el cálculo de resistencia de las columnas. Algunas variables pese a ser recopiladas en caso de verse alguna precisa particularidad para posteriores comentarios, fueron descartadas de la estimación de vulnerabilidad sísmica por su poca o dificultosa forma de poderse notar o apreciar, como lo es los asentamientos de las estructuras y resistencia convencional de la estructura.

De acuerdo con nuestras referencias más usadas como los artículos científicos de José Silva del año 2016 y el artículo de Tiago Ferreira del mismo año, y criterios ingenieriles adecuados a las realidades de las zonas de estudio se eligieron parámetros que en su mayoría pudieran estimarse por medio de inspección visual, de forma que se dividirían en 8 diferentes grupos (parámetros).

2.4.1 Parámetro 1: Sistema resistente

Agrupar variables como el material, sistema resistente, cubierta y presencia de arriostramientos

Material: El material o materiales usado para constituir el sistema resistente.

Tipo de sistema de resistencia: Los tipos de sistemas resistentes se basan en las clasificaciones presentadas por (Lantada, 2009) y se ajustan para capturar con precisión la calidad de construcción típica del área de estudio. En el presente proyecto se dio una gran importancia al hecho de la mayoritaria cantidad de construcciones informales en la zona, por lo que sus estructuras resistentes no son aptas a clasificar como clase A o B. (Apéndice A, Figura A.4)

- A: Pórticos especiales a momento con detalles que cumplen o superan el código sísmico moderno.
- B: Mampostería no reforzada con paredes portantes.
- C: Pórticos de hormigón con muros de mampostería.
- D: Losas y columnas planas, estructura de marco de acero con mampostería, estructura de madera sin sistema de arriostramiento.

- D + modificador de 10 puntos: Estructura de composición mixta con mampostería.

Particularmente en este proyecto se ha procedido a clasificar los sistemas estructurales de la siguiente manera:

Si las vigas de la construcción tienen la misma profundidad que la losa, o si hay ausencia de vigas en la parte más alta de las columnas se clasificará a estas estructuras como: losa plana con columnas.

En cuanto a las cubiertas de las construcciones se han clasificado en cubiertas livianas que pueden ser de diferentes materiales (zinc, madera, acero) y en losas de concreto. Dado que en la mayoría de los casos se encontraron cubiertas livianas, y una losa de hormigón en una construcción puede trabajar como un diafragma, en este último caso se implementó un modificador de puntuación de - 5.

2.4.2 Parámetro 2: Posición del edificio

Está compuesto de variables como el posible golpeteo, la alineación de las losas con las construcciones contiguas, el tipo de suelo, y la posición de la edificación en la manzana.

Golpeteo: Dado lo expuesto en ASCE 41-13, si la distancia entre el edificio que se está evaluando y cualquier edificio adyacente es inferior al 4% del edificio más corto, se considera que el edificio es susceptible de ser golpeado durante un terremoto. Esto no se aplica a las estructuras de madera. Se asumió una altura promedio de piso es de 3 metros, por lo tanto, el espacio mínimo será de 12 cm por piso, partiendo de 12 cm para una estructura de 1 piso hasta 48 cm para una estructura de 4 pisos.

Disposición relativa: Según los modificadores utilizados en las referencias estudiadas (Lantada, 2009), (Giovinazzi y Lagomarsino, 2004), los edificios ubicados en el centro de una fila tienden a tener un mejor desempeño que los

edificios ubicados en una esquina, al final de una fila, o incluso los edificios que no están sujetos a golpes. Sin embargo, si los elementos estructurales principales, como las vigas o losas de cubierta, no están alineados, aumenta la vulnerabilidad. Las clasificaciones de golpeteo utilizadas en este índice son las siguientes:

- A: 2 lados, fila.
- B: sin golpes.
- C: 2 lados, esquina.
- D: 1 lado.
- Modificador de alineación entre pisos: +20.

La literatura sugiere que el golpeteo es un comportamiento complejo que puede amplificar o limitar el movimiento de un edificio durante un terremoto. La respuesta a los golpes depende de una variedad de factores que incluyen la altura del edificio, la rigidez relativa, las condiciones del suelo y la disposición del edificio. La teoría general es que los edificios múltiples colocados muy juntos en una fila (es decir, 2 lados, fila) son más rígidos que los edificios aislados. Durante el movimiento sísmico, se mueven simultáneamente, limitando la aceleración máxima y la deriva en cada edificio. Los edificios ubicados en la esquina de una cuadra o al final de una fila no experimentan el mismo confinamiento, y son más dañados por las interacciones con los edificios adyacentes.

Cabe señalar que toda la literatura revisada está de acuerdo en que la alineación entre pisos es un problema importante. Incluso si los edificios tienen un rango de movimiento reducido debido a la configuración de la fila, las vigas que chocan con las columnas de un edificio adyacente pueden dañar ambas estructuras. Por esta razón, se implementó un modificador +20 para considerar los efectos del golpeteo entre las diferentes plantas de las edificaciones según su alineación.

Información sobre la ubicación y el suelo: Según la ubicación del sitio y los resultados de las perforaciones del suelo. En la zona correspondiente a la Isla Trinitaria toda el área corresponde a un suelo llano. Mientras tanto en la zona de

Bastión podemos clasificar la ubicación de las estructuras en pendiente o llano con suelos adyacentes en pendientes.

2.4.3 Parámetro 3: Número de pisos

Número de pisos: Asume una altura promedio de piso de 3 metros, sin embargo, se observó alguna variación en la altura del piso en el área de estudio. Build Change realizó una encuesta de los edificios dañados por el terremoto de Manabí 2016. Durante esta evaluación, encontraron que los edificios conformados de concreto reforzado con mampostería que tenían una altura de 1 y 2 pisos se desempeñaban mejor y tenían un daño menos severo que los edificios de 3 pisos o más. Por lo tanto, para los fines de esta evaluación, los edificios de 1 piso se consideraron Clase A, los edificios de 2 pisos Clase B y todas las estructuras de 3 pisos o más se consideraron Clase D.

2.4.4 Parámetro 4: Configuración en planta

Irregularidades en planta: Con base en la NEC 2015 y las irregularidades en planta expuestas, se clasificó en las siguientes categorías:

- A: Forma de rectángulo - Sin irregularidades.
- C: Irregularidades bajas: planea las configuraciones con esquinas reentrantes que no excedan los parámetros en el NEC 2015.
- D: Estructuras no paralelas e irregularidades elevadas: las configuraciones en planta no son paralelas o superan los parámetros descritos en el NEC 2015 (por ejemplo: "L", "I" y "T").

2.4.5 Parámetro 5 - Regularidad vertical

Irregularidad vertical: Tomando en cuenta las irregularidades verticales de edificios presentadas en la NEC 2015, se procedió a clasificarlas en las siguientes tres categorías:

- A: Sin irregularidades (sin irregularidades o edificios de 1 piso).
- C: Pisos con diferentes anchos o columnas cortas.

- D: Ambas condiciones de la Clase C.

Número de pisos en voladizo: Para el propósito de la Matriz de puntuación, esto se refiere al número de pisos por encima del voladizo. La discontinuidad de la carga vertical causa concentraciones de tensión en los salientes y una mayor flexibilidad, lo que lleva a la fisuración de las paredes y losas sobresalientes. Por lo tanto, los edificios en voladizo se proceden a clasificar como A, C o D:

- A: Sin voladizo.
- C: 1 planta en voladizo.
- D: 2 o más plantas en voladizo.

Número de lados en voladizo: Se refiere al número de lados del edificio con un voladizo. Se implementó un modificador de puntuación de +10, si el voladizo está en más de un lado del edificio.

2.4.6 Parámetro 6: Piso Blando y porcentaje de aberturas

Agrupar las variables de presencia de piso blando, porcentaje de aberturas, presencia de dinteles en las aberturas, y alineación de aberturas.

Piso blando: Se consideró que la estructura tiene un piso blando en caso de que una planta baja o intermedia posea notablemente menos muros de mampostería en relación a las otras plantas. Se utilizó el parámetro de evaluación de nivel 2 FEMA P-154 para determinar el piso blando. FEMA indica un piso blando o débil si la longitud del sistema lateral en cualquier piso es inferior al 50% del piso anterior o la altura de cualquier piso es más de 2.0 veces la altura del piso anterior.

Porcentaje de aberturas: La rigidez estimada de un muro de mampostería no reforzada en un pórtico sin fisuras guarda relación entre el área de apertura y el área total del muro de mampostería (ASCE 41-13, 11.4.2.2).

- Si A_{op} / A_w , tot es igual al 25%: la rigidez se reduce al 50% de la rigidez de una pared sin aberturas.

- Si A_{op} / A_w , tot es igual al 50%: la rigidez se reduce al 0% de la rigidez de una pared sin aberturas.

Por lo tanto, el porcentaje de aberturas se clasificó de la siguiente manera:

- A: <25% aberturas.
- C: $25\% \leq A < 50\%$ de aberturas.
- D: $\geq 50\%$ de aberturas.

Dinteles: Los dinteles son vigas colocadas sobre puertas y ventanas para cargar el peso de los bloques sobre la abertura. Los muros con aberturas que no usan dinteles son inherentemente débiles y es probable que tengan problemas con el colapso de la mampostería durante los terremotos. Por simplicidad, se consideró como una debilidad cualquier puerta o ventana visible sin dintel, y la casa con estas características fue penalizada con un modificador de +10.

Alineación de aberturas: La alineación de ventanas y puertas se considera un tipo de irregularidad de altura en NEC-SE-VIVIENDA, la Figura 2.16 muestra la adecuada e inadecuada posición de las aberturas en una vivienda.

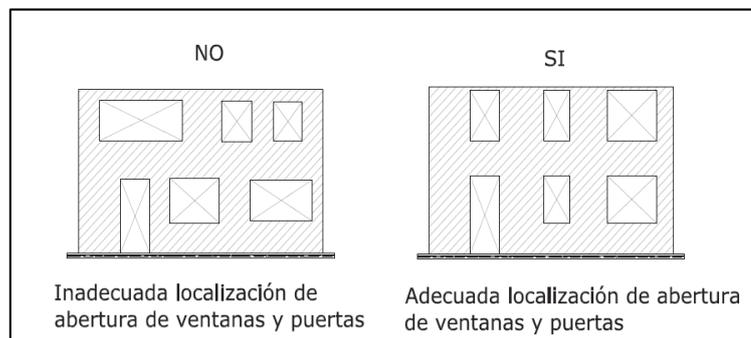


Figura 2.16 Adecuada alineación de aberturas (NEC-SE-VIVIENDA 2015)

2.4.7 Parámetro 7: Daño existente

Reúne las variables de los daños estructurales y no estructurales. Basándonos en (Okada y Takai, 2000) se procedió a hacer las siguientes asignaciones:

Daño estructural: El daño estructural se refiere a cualquier daño en elementos estructurales o de carga, incluidas vigas, columnas y muros de contención. Se siguieron las siguientes pautas:

- A: No hay daño. Todos los elementos estructurales visibles aparecen sólidos, sin grietas, desconchados ni barras de refuerzo expuestas.
- B: Daño mínimo. Algunas grietas son visibles en los elementos estructurales, pero las grietas son delgadas y no muy profundas.
- C: Daño moderado. Agrietamiento sustancial en elementos estructurales. Las grietas se extienden más allá de la superficie del concreto.
- D: Daño severo. Desprendimiento de hormigón y barras de refuerzo expuestas.

El daño intencional a las estructuras es común, ya que los propietarios demuelen partes de columnas para soldar las puertas a las barras de refuerzo estructural. Aunque corresponda a una acción intencional, esto ha sido calificado como daño porque reduce la resistencia de los distintos elementos.

Daño no estructural: El daño no estructural se refiere a cualquier daño en elementos que no están diseñados para soportar carga. En la mayoría de las casas, esto se refiere al daño de mampostería. La mampostería dañada disminuye la resistencia de los muros, aumentando la probabilidad de que colapse. Esto puede afectar a la resistencia de la estructura y a los ocupantes del edificio.

- A: No hay daño. Todas las paredes visibles aparecen sólidas sin agrietarse ni desmoronarse.
- B: Daño mínimo. Algunas grietas son visibles en las paredes, pocos bloques se ven afectados.
- C: Daño moderado: grietas sustanciales en paredes o bloques desmoronados, especialmente cuando se ven afectados muchos bloques.
- D: Daño severo. Grietas en los escalones profundos que indican la falla del mortero, la caída de bloques u otra falla grave de las paredes.

2.4.8 Parámetro 8: Calidad de la construcción y peligros no estructurales adicionales

Agrupar variables de la luz entre columnas, calidad de construcción y peligros adicionales observados. Este parámetro se da por medio de la evaluación visual dada en campo, por lo cual se realizaron las siguientes asignaciones:

Calidad de la construcción: Esta es una evaluación subjetiva y se completa durante la encuesta del sitio de cada casa. Se determinó que las clases de calidad A y B se aplicarían a las construcciones formales, mientras que C y D a las construcciones informales. Casi todas las casas en este estudio pertenecen a la clase C o D. El concreto mal mezclado con vacíos de aire visibles sugiere una construcción de clase D (Figura 2.17).



Figura 2.17 Mezcla de concreto clase D con vacíos significativos (Autores)

En muchas casas, la barra de refuerzo es visible en la parte inferior de la viga debido a una cubierta pobre (Figura 2.18), o falta de elementos que sostengan los refuerzos antes de la fundición del elemento estructural. Esto sugiere construcción de clase D. Las casas con barras de refuerzo visibles están claramente construidas inadecuadamente.



Figura 2.18 Cubierta de refuerzo clase D (Autores)

Las vigas deben estar conectadas a los demás elementos estructurales de forma correcta, cumpliendo con los códigos de la construcción. Las construcciones que visiblemente poseen elementos desconectados son consideradas de clase D, esto se ve claramente en la Figura 2.19.



Figura 2.19 Conexión clase D (Autores)

Las casas que poseen elementos fuera de plomo (Figura 2.20), mal conectados con el resto de la estructura o torcidos, muy probablemente fueron construidas por un constructor no calificado, y son de clase D.



Figura 2.20 Columna de clase D: que se encuentra inclinada (Autores)

Las paredes con irregularidades significativas pueden tener puntos débiles y serán más susceptibles a fallas durante un terremoto. Estas estructuras son de clase D, tal como se muestra en la Figura 2.21.

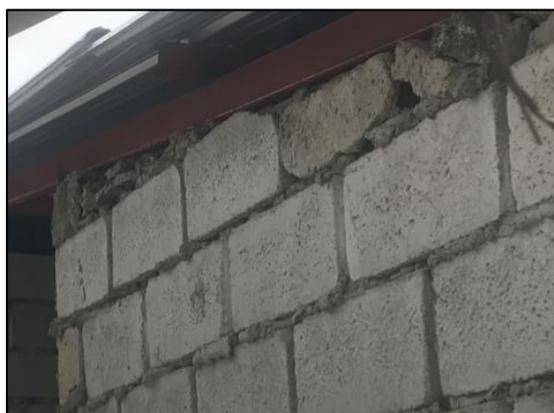


Figura 2.21 Mampostería de clase D: Mezcla desigual de mortero con agujero y bloques parciales. (Autores)

Longitud del vano: Explica el peligro potencial de falla de la pared de mampostería. Los tramos de más de 5 metros son considerados más peligrosos.

El Código de construcción de México estipula que los tramos de más de 3 metros corren el riesgo de fallas de mampostería fuera del plano, especialmente cuando se someten a una carga sísmica lateral. Los tramos de 3 a 5 metros son de peligro

moderado porque los elementos estructurales son suficientes, pero la mampostería puede colapsar y lesionar a los ocupantes del edificio. Los tramos de menos de 3 metros o menores son considerados más seguros, por lo que les corresponderá el mejor puntaje en la ponderación. Los tramos no siempre tienen la misma longitud en todo un edificio.

Definidos los parámetros se procedió a asignarles la ponderación respectiva como se muestra en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Ponderaciones usadas para los parámetros (Autores)

Parámetro 1	Tipo de sistema resistente	20%
Parámetro 2	Posición del edificio	16%
Parámetro 3	Número de pisos	4%
Parámetro 4	Configuración en planta	4%
Parámetro 5	Regularidad vertical	9%
Parámetro 6	Piso blando/aberturas	12%
Parámetro 7	Daño existente	15%
Parámetro 8	Calidad de construcción	20%

Se desarrolló una matriz completa de asignación de puntajes según lo anteriormente explicado para la estimación del índice de vulnerabilidad (Apéndice B, Figura B.3 y B.4).

2.5 Sismo de diseño

El sismo de diseño usado se basó en el establecido por el “Proyecto RADIUS”, este consiste un movimiento de magnitud 8 en la escala de Richter a 200km al noroeste de la ciudad de Guayaquil (Proyecto RADIUS, 1999). Este sismo desencadena diferentes intensidades según el tipo de suelo del sector estudiado, por lo tanto, en la Figura 2.33 se señala los sectores que se eligieron para el estudio de vulnerabilidad sísmica y sus respectivas intensidades.

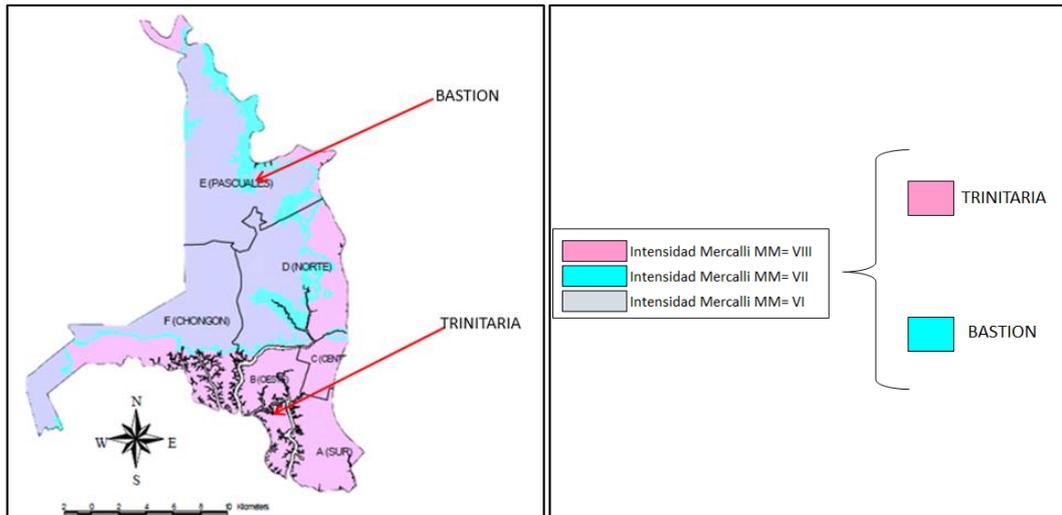


Figura 2.22 Intensidades provocadas por el sismo de diseño para diferentes sectores de la ciudad de Guayaquil (Proyecto Radius)

2.6 Cálculo de grado de daño

Basándonos en (Ferreira, Maio y Vicente, 2016), y en el sismo de diseño establecido por “Proyecto Radius” y explicado en la sección anterior, se procedió a estimar el daño de las edificaciones una vez ya obtenidos los índices de vulnerabilidad sísmica. Se siguieron los siguientes pasos:

- Seleccionar factor de ductilidad Q .
- Seleccionar intensidades a estudiar.
- Transformar valores de vulnerabilidad sísmica según las respectivas ecuaciones (Cálculo de V , con la variable I_v).

A continuación se presentan las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3, que se usaron para estimar el grado de daño (Ferreira, Maio y Vicente, 2016).

$V = \text{Índice de vulnerabilidad modificado}$

$I_v = \text{Índice de vulnerabilidad}$

$I = \text{Intensidad}$

$\mu_D = \text{Grado de daño}$

$Q = \text{Factor de ductilidad}$

$$V = 0.592 + 0.0057 * I_v \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

$$\mu_D = 2.5 + 3 \tanh\left(\frac{I+6.25V-12.7}{Q}\right) * f(V, I) \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

$$f(V, I) = \begin{cases} e^{\frac{V}{2}(I-7)}, & \text{si } I \leq 7 \\ 1, & \text{si } I > 7 \end{cases} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Esta metodología de estimación de grado de daño originalmente viene dada para intensidades en la escala EMS-98 y para fines de este proyecto se desea relacionar con el mapa dado en la (Figura 2.26) donde está representada en intensidades en la escala modificada de Mercalli. A pesar del grado de subjetividad inherente a dicho proceso, de acuerdo con Musson et al. (2010) estas las escalas de intensidad pueden compararse ampliamente una vez que se derivan de la misma propuesta exacta. De esta suposición, en adelante, la intensidad se representará de acuerdo con la escala Modificada de Mercalli, en donde los grados de las escalas EMS-98 y MMI están directamente asociadas. (Ferreira, Maio y Vicente, 2016)

2.7 Ensayos realizados

Adicionalmente a los estudios realizados, se llevaron a cabo ensayos de perforaciones de suelo, y pruebas con martillo neumático en las zonas de Trinitaria y Bastión Popular.

Perforaciones en suelo: Los ensayos se llevaron a cabo para tener indicios del tipo de suelo sobre el que se asentaban las construcciones en los diferentes sectores. Se realizaron tres perforaciones de aproximadamente 3 metros cada una en la zona de Bastión popular (Figura 2.23) debido a que la prueba del SPT en el último metro llegaba a los 50 golpes. Mientras que en la zona de Trinitaria (Figura 2.24) se llevó a cabo 2 perforaciones de 6 metros cada una.



Figura 2.23 Ubicación de sondeos en Bastión Popular (Google Earth, 2019)

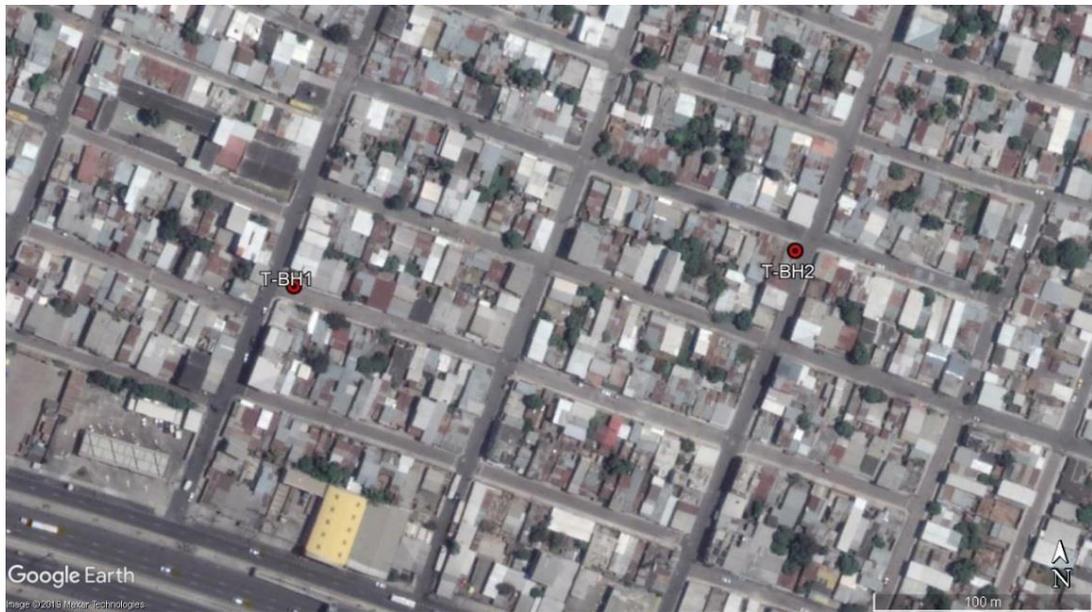


Figura 2.24 Ubicación de sondeos en Trinitaria (Google Earth, 2019)

La Figura 2.25 y 2.26 muestra el material obtenido para los diferentes sondeos.



Figura 2.25 Perforación del suelo en Bastión Popular (Geocimientos, 2019)



Figura 2.26 Perforación del suelo en Trinitaria (Geocimientos, 2019)

Ensayo de Martillo de rebote: Se llevaron a cabo los ensayos del martillo de rebote en las áreas de estudio (Figura 2.27) para tener una estimación aproximada

de la resistencia del concreto de las viviendas del sector. Este ensayo debe ejecutarse de acuerdo con las especificaciones del ensayo y del equipo usado.



Figura 2.27 Ejecución del ensayo del martillo de rebote (Autores)

2.8 Estimación de volumen de escombros por colapso de estructuras

Se desarrolló una estimación de escombros que se podrían generar en las áreas de estudio relacionando las viviendas de mayor grado de daño (potencial colapso), con una de las metodologías de estimación de volumen de escombros propuesta por la Organización Panamericana de la Salud. Cabe mencionar que estas estimaciones al ser relacionadas con el grado de daño y por lo tanto con la vulnerabilidad sísmica de la estructura, no contempla variables que incluyan un profundo análisis y cálculo como por ejemplo un estudio detallado y analítico de los riesgos de deslizamientos de tierra en la zona de Bastión Popular.

Se establecerá un aproximado del volumen promedio de desechos por metro cuadrado debido a colapso dada las características de las viviendas para poder desarrollar los cálculos pertinentes. Se tomarán los valores promedios de cada zona, conociendo las áreas aproximadas de construcción, distanciamiento entre

columnas, altura de entrepiso, y dimensiones más frecuentes usadas en los elementos estructurales.

2.8.1 Metodología usada para la estimación de escombros de demolición luego del sismo de febrero de 1999 en el Eje Cafetero, Colombia.

En esta metodología, se estableció que, para el lugar del terremoto, las construcciones tendrían un volumen de aproximadamente 0,5m³/m², y dicho valor se multiplicaría por el porcentaje de afectación de las viviendas luego del terremoto. En la presente investigación ya que no es un análisis posterior a la ocurrencia de un sismo, no se puede obtener con exactitud qué porcentaje requerirá de demolición, pero si cuantas viviendas potencialmente pueden colapsar, por lo tanto, se ha tomado ese valor para estimar una potencial generación de escombros de las viviendas que podrían colapsar. Adicionalmente se tomará el valor de 0,5m³/m² propuesto como constante, salvo que estimando de manera aproximada los escombros se encuentre una cifra superior.

Se presenta a continuación, la ecuación usada para la estimación de volúmenes de escombros (Organización Panamericana de la Salud).

$$Volumen\ total = \text{Área promedio}(m^2) * 0,5 \left(\frac{m^3}{m^2} \right) * (\# viviendas * \% afectación)$$

Ecuación (2.4)

2.9 Desarrollo de aplicación móvil (desarrollado por FIEC)

Es propicio dado que el proyecto es interdisciplinario, deba mencionarse brevemente sus otras componentes. El proyecto se complementa con el trabajo desarrollado por los integrantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación, los cuales se encargaron de:

- Recolectar las variables de las fichas de inspección, y en caso de ser necesario simplificarlas para su ingreso en el sistema.

- La programación de una aplicación móvil (Figura 2.29) que facilite la recolección de datos y se sincronice con un servidor en línea, permitiendo que el actual proyecto pueda en un futuro desarrollarse a una mayor escala.
- Programación y automatización del cálculo del índice de Vulnerabilidad sísmica de cada vivienda.
- La programación y desarrollo de la página web en la que se accede a la información ingresada.

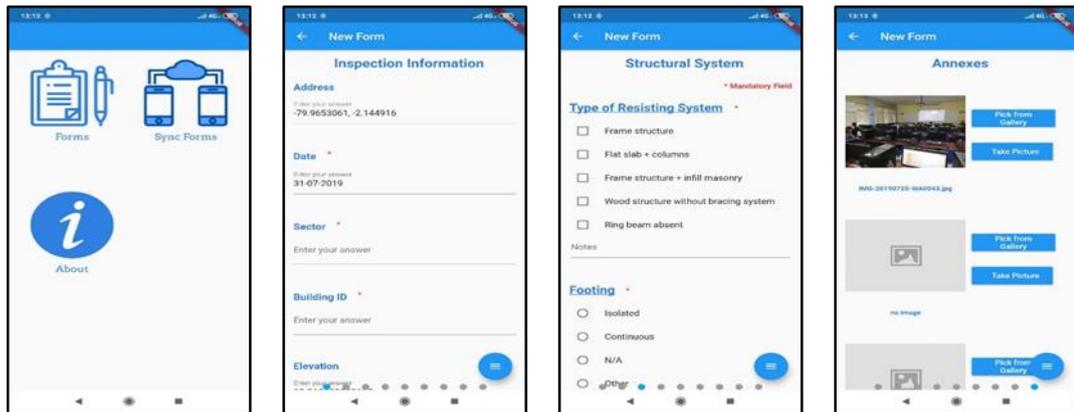


Figura 2.28 Aplicación móvil desarrollada para recolección de datos (FIEC, 2019)

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La metodología y parámetros para determinar el índice de vulnerabilidad, empleada por (Ferreira, Maio y Vicente, 2016), (Vicente et al., 2011) y (Silva et al., 2016), fue de gran importancia para la selección de los parámetros mostrados en la (Tabla 2.5). Gracias a esto se puede programar y determinar sencillamente el índice de vulnerabilidad de cada vivienda y así poder dar un nivel de vulnerabilidad con ayuda de la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Clasificación del Índice de Vulnerabilidad (López et al., 2014)

Clasificación de vulnerabilidad	Intervalo Iv
Muy Elevado	$60 \leq Iv < 100$
Elevado	$40 \leq Iv < 60$
Medio Alto	$30 \leq Iv < 40$
Medio Bajo	$20 \leq Iv < 30$
Bajo	$10 \leq Iv < 20$
Muy Bajo	$0 \leq Iv < 10$

3.1 Parámetros

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la ficha de evaluación para los parámetros con más peso que se consideraron para la obtención del índice de vulnerabilidad:

3.1.1 Tipo de sistema estructural

La Figura 3.1 y 3.2 muestra el tipo de sistema estructural para ambos sectores.

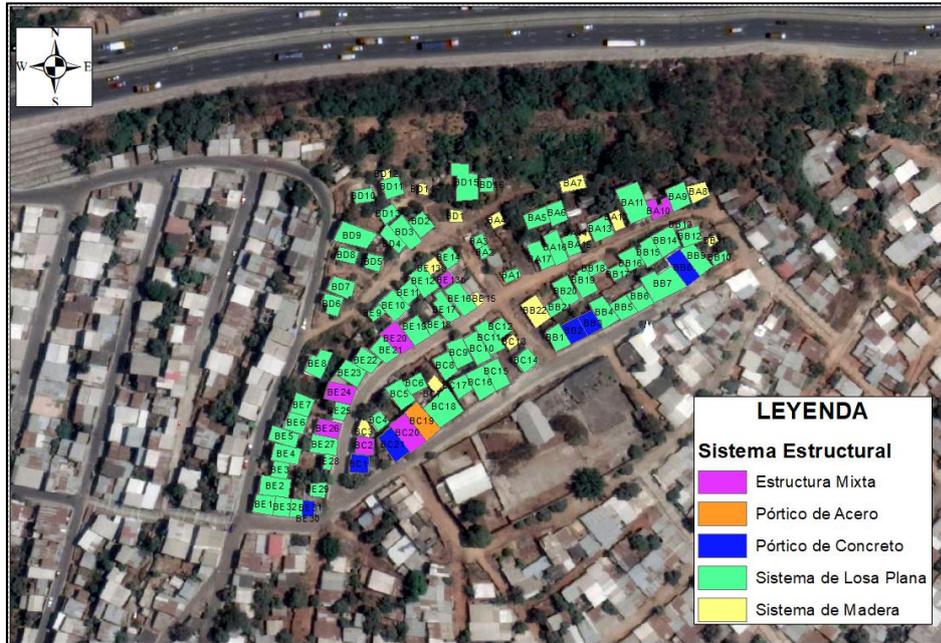


Figura 3.1 Tipo de Sistema Estructural, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)

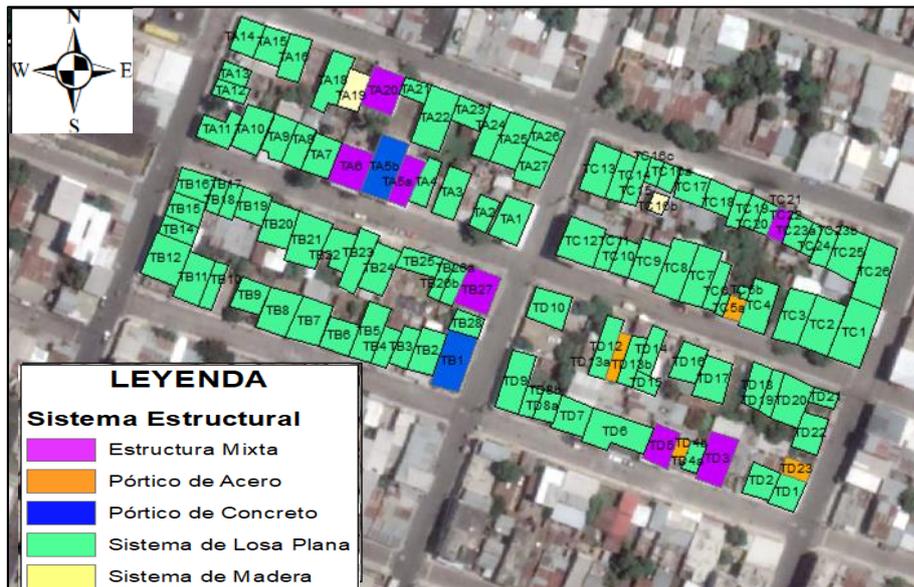


Figura 3.2 Tipo de Sistema Estructural, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)

Gracias al diagrama de pastel de la Figura 3.3 y 3.4 se puede observar que predomina con más del 70% el sistema de losa plana. Este tipo de sistema no debe ser considerado para una zona con alto riesgo sísmico como lo es Guayaquil, ya que el peralte tan bajo que las vigas manejan evita que éstas desarrollen ductilidad y así puedan disipar la gran cantidad de energía que ingresa durante un sismo.

Para Bastión Popular se observó que hay un porcentaje considerable de viviendas que manejan madera, esto es debido a que este sistema se adapta muy bien a las condiciones del sector teniendo estas bastantes laderas.

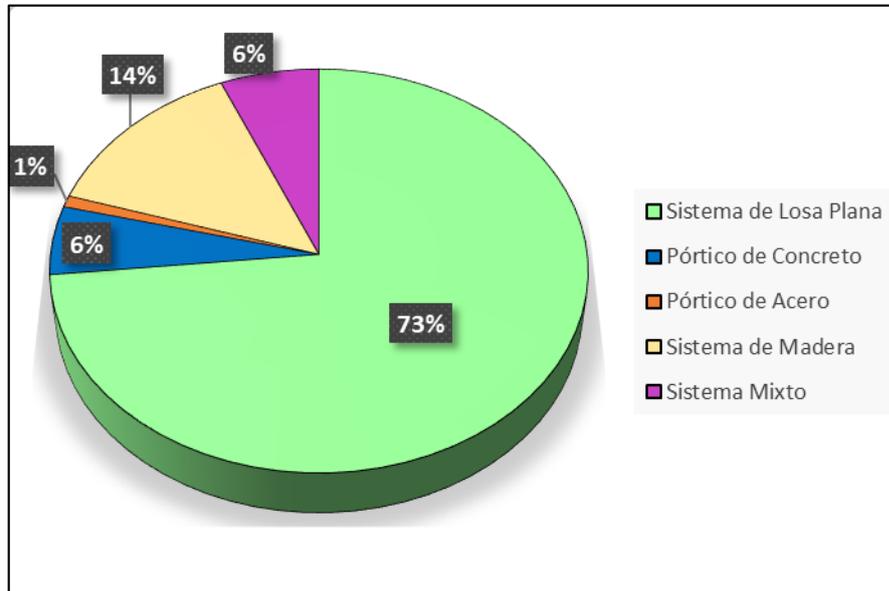


Figura 3.3 Distribución de Tipo de Sistema Estructural, Bastión Popular (Autores)

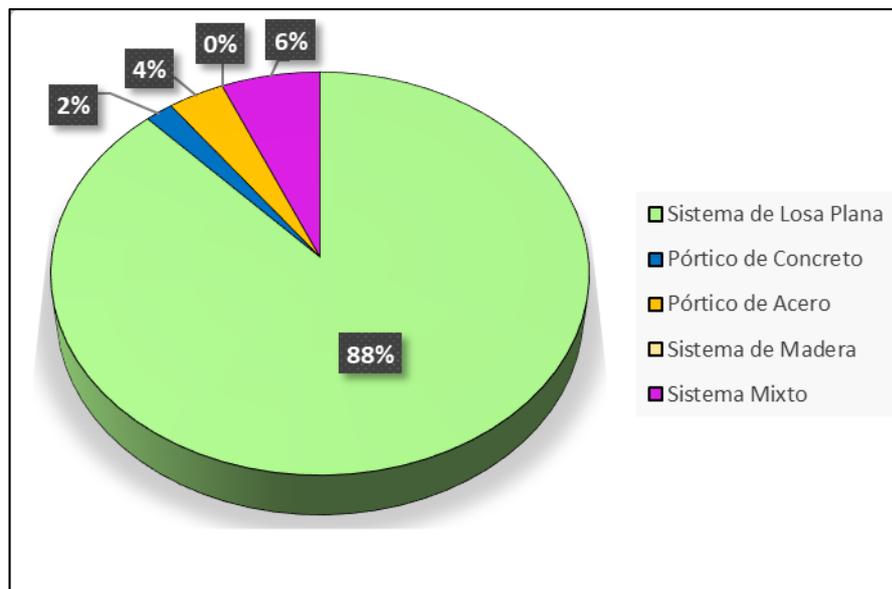


Figura 3.4 Distribución de Tipo de Sistema Estructural, Trinitaria (Autores)

3.1.2 Daño estructural

La Figura 3.5 y 3.6 muestra el daño estructural actual considerado en ambos sectores.

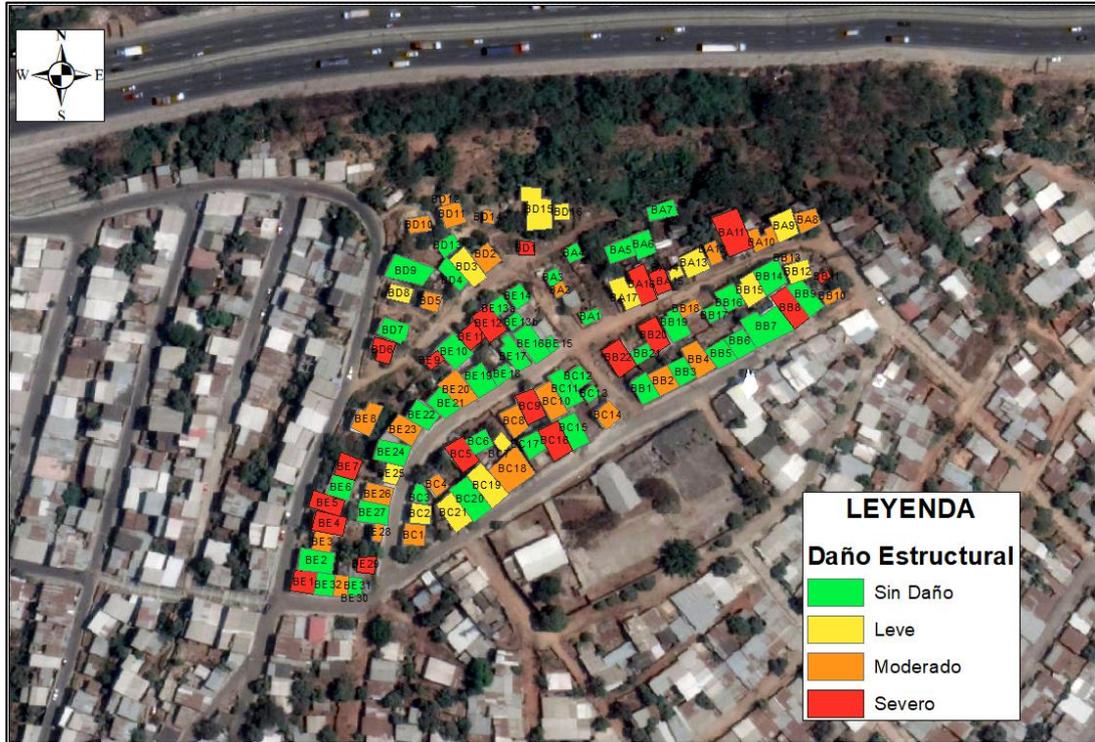


Figura 3.5 Daño Estructural, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)

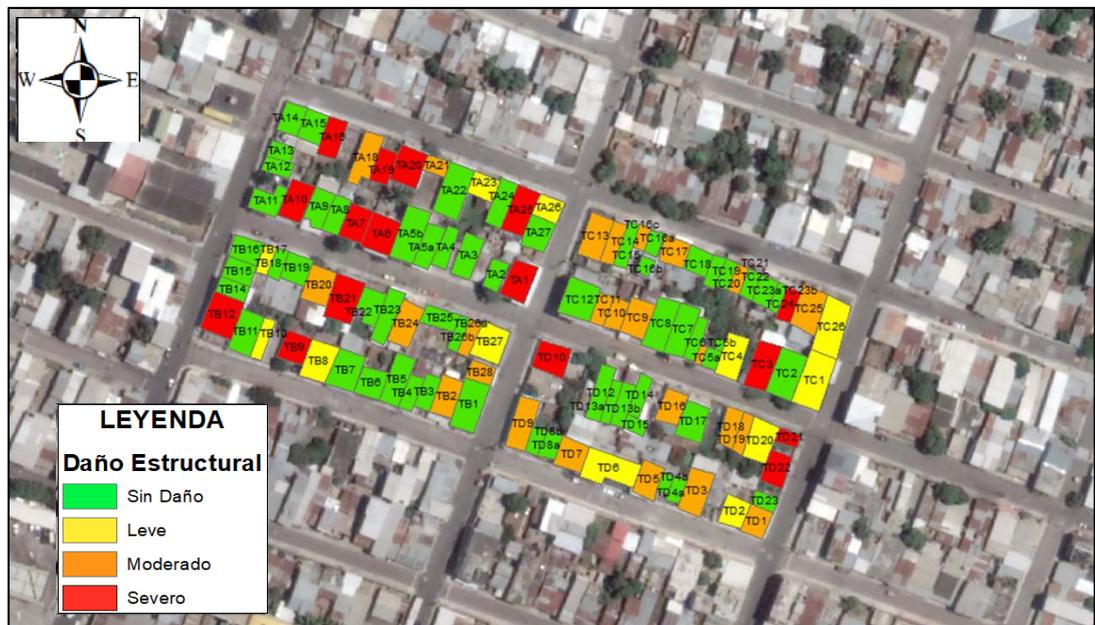


Figura 3.6 Daño Estructural, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)

El diagrama de pastel de la Figura 3.7 y 3.8 permite identificar en porcentajes el grado de daño estructural actual que presentan las viviendas y en qué condiciones estas se enfrentarían ante un futuro evento sísmico. Se observó que el 53% y 42% de viviendas en Trinitaria y Bastión Popular respectivamente, no presentan daño estructural alguno, sin embargo, debe destacarse que hubo varias viviendas a las que no se pudieron acceder al interior de las mismas para obtener un mejor detalle.

Además, se observó que un 15% a 18% son las viviendas que poseen daños estructurales severos debido a la existencia de vigas o columnas que no poseen recubrimiento alguno dejando al ambiente el acero de refuerzo. La exposición del acero de refuerzo provoca la corrosión del mismo disminuyendo así los beneficios que le presta al concreto armado.

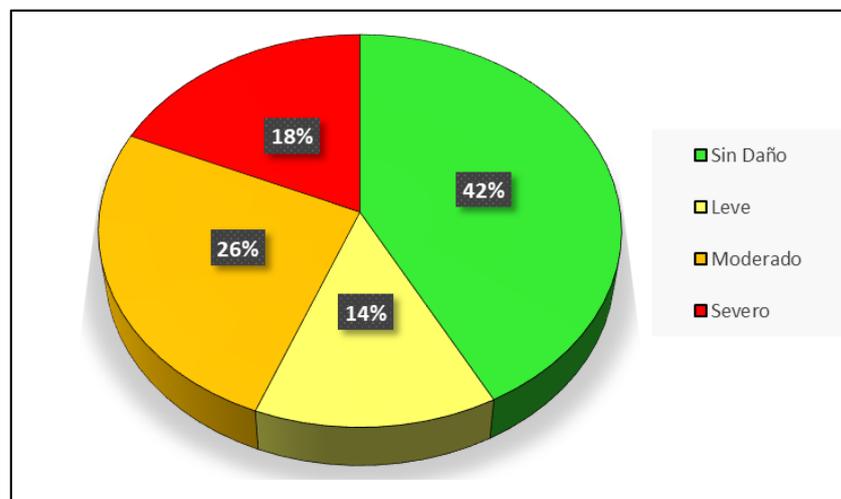


Figura 3.7 Gráfico Daño Estructural, Bastión Popular (Autores)

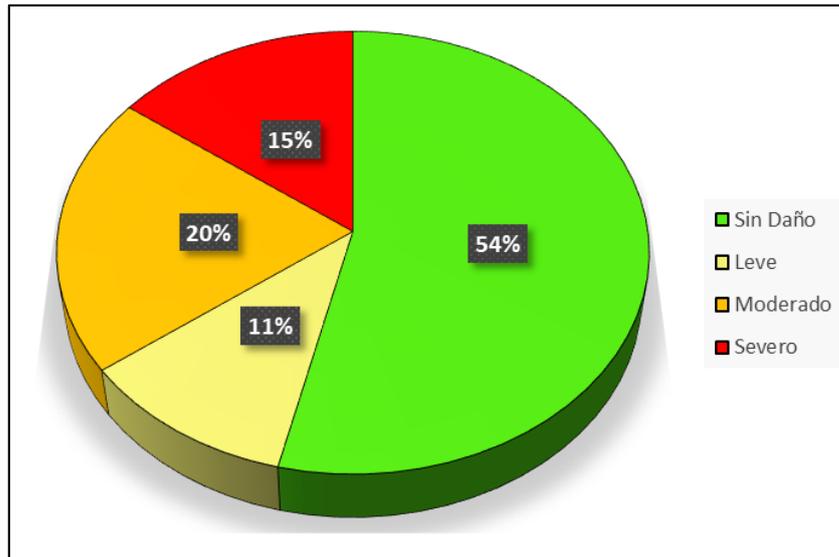


Figura 3.8 Gráfico Daño Estructural, Trinitaria (Autores)

3.1.3 Calidad de construcción

La Figura 3.9 y 3.10 muestra la calidad de la construcción para ambos sectores.

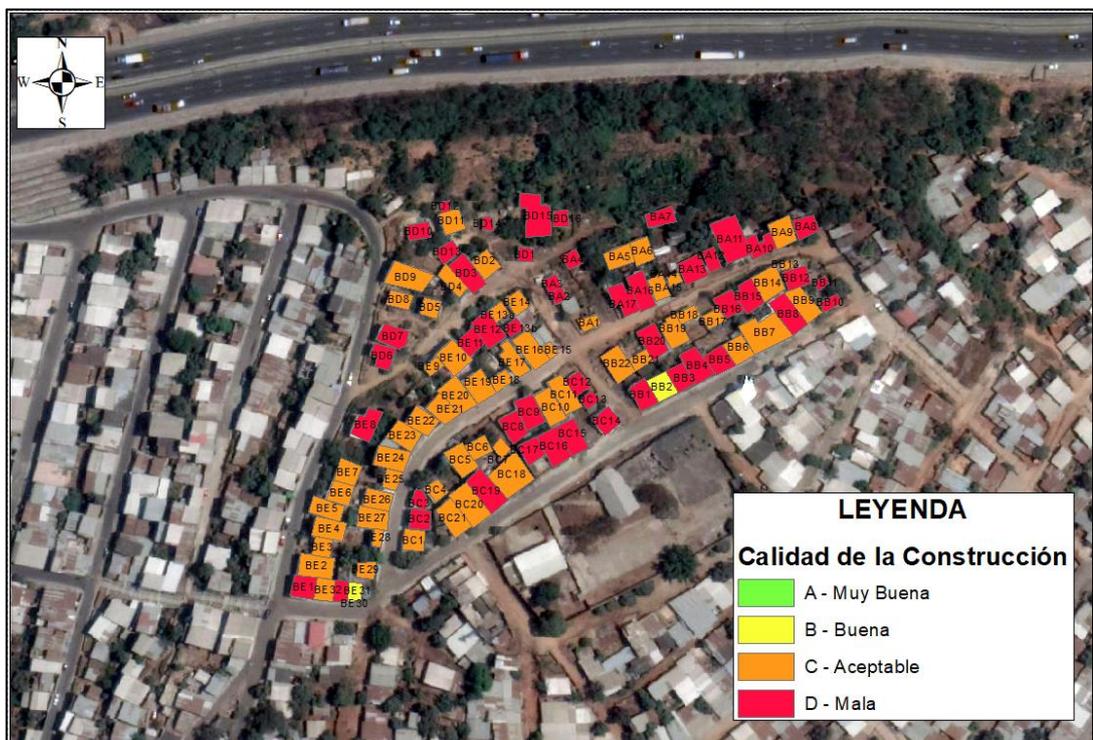


Figura 3.9 Calidad de Construcción, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)

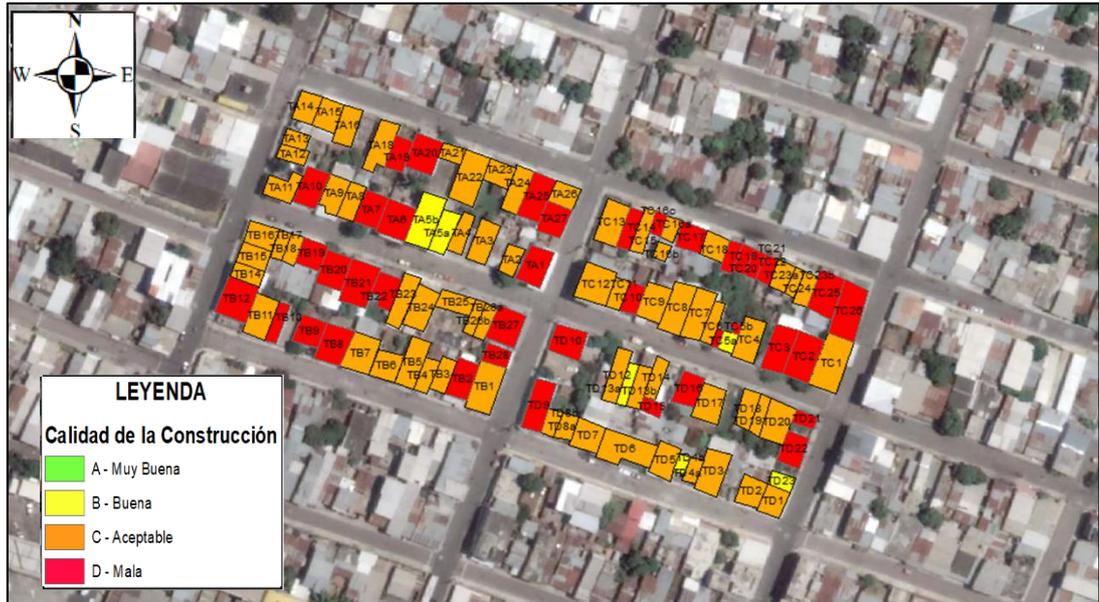


Figura 3.10 Calidad de Construcción, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)

El diagrama de la Figura 3.11 y 3.12 permite observar que, del 53% al 60% de las construcciones son consideradas de una calidad aceptable en cuanto a criterios del inspector se refiere. Sin embargo, existe un porcentaje considerable que presentaron directamente una mala construcción en las cuales se observaban problemas como: ratoneras, discontinuidad entre los elementos y refuerzo sobresalido.

En las encuestas realizadas se denotó que apenas unas 4 viviendas fueron construidas formalmente, es decir, su diseño y construcción fueron hechas por un Ingeniero.

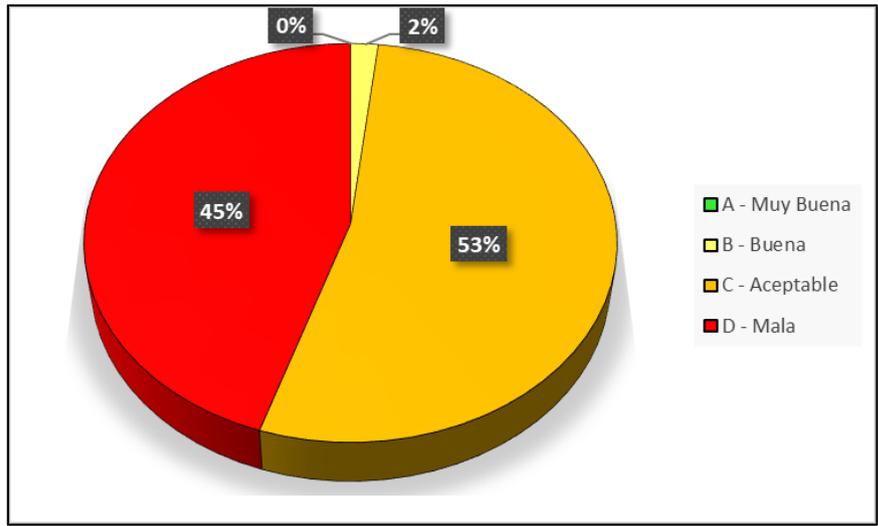


Figura 3.11 Gráfico Calidad de Construcción, Bastión Popular (Autores)

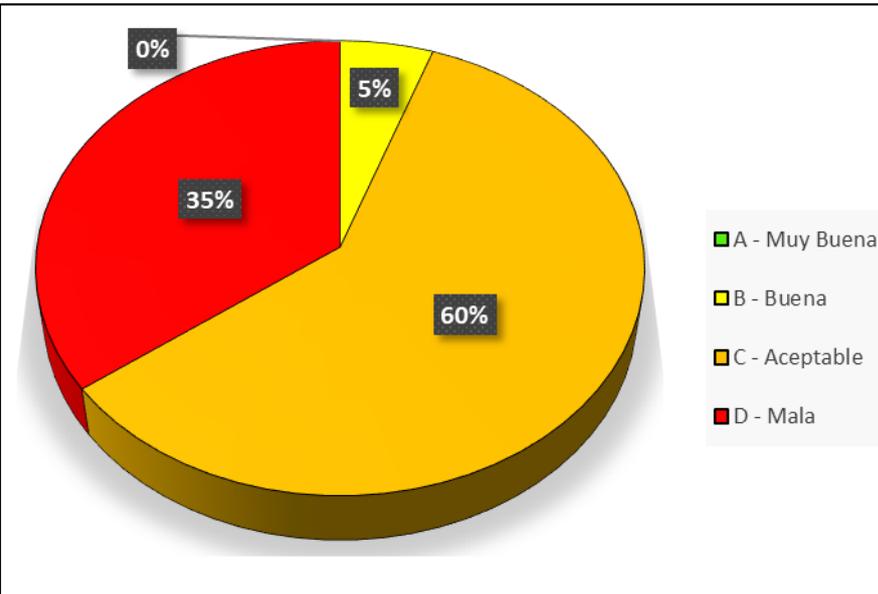


Figura 3.12 Gráfico Calidad de Construcción, Trinitaria (Autores)

3.2 Índice de Vulnerabilidad

La Figura 3.13 y 3.14 indica el índice de vulnerabilidad obtenido gracias a la inspección de campo.

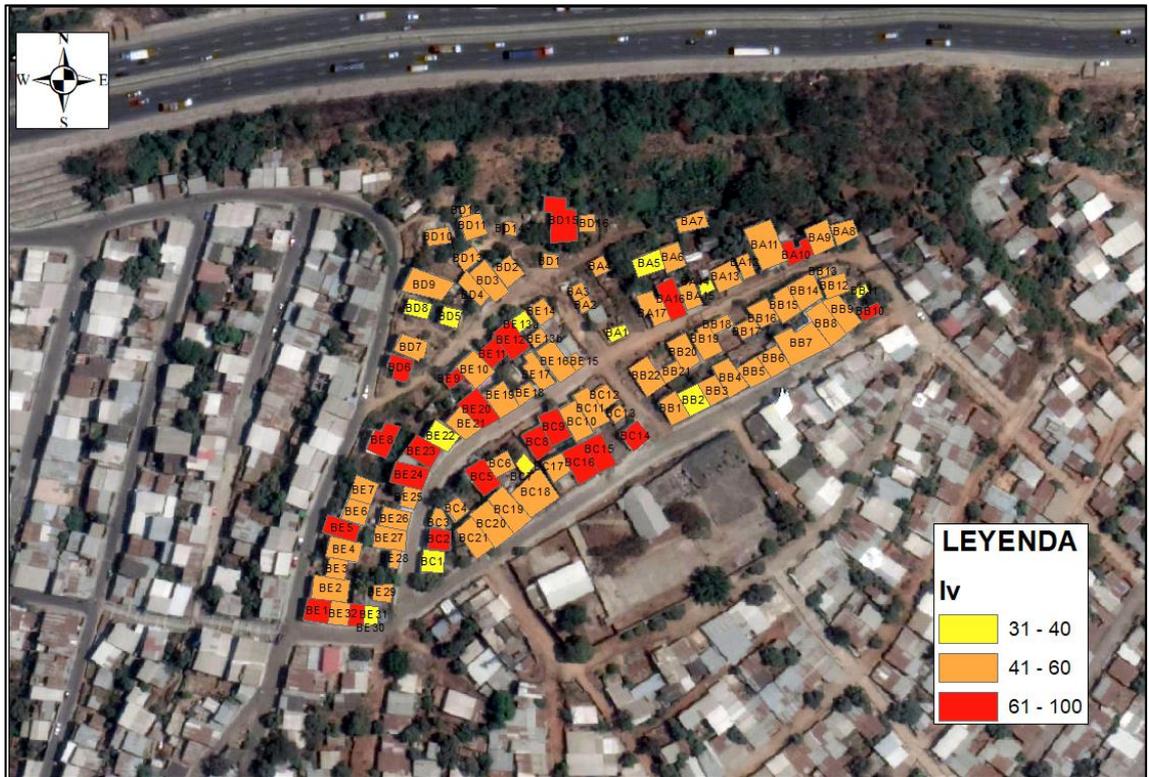


Figura 3.13 Índice de Vulnerabilidad, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)

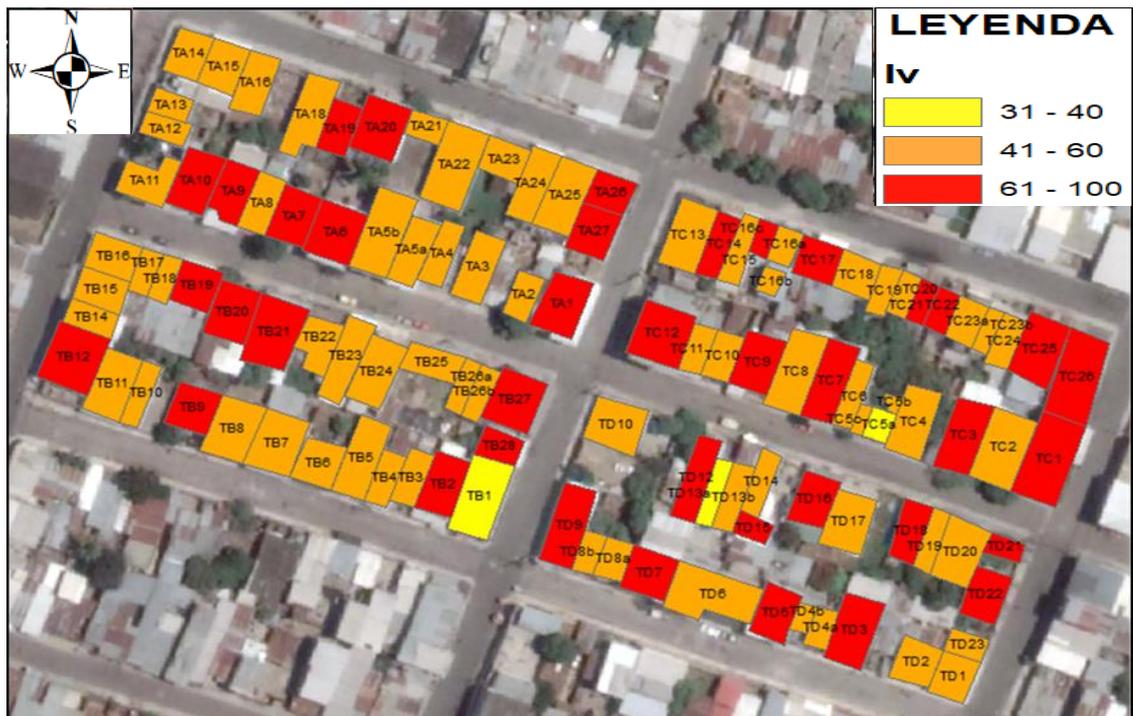


Figura 3.14 Índice de Vulnerabilidad, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)

El histograma mostrado en la Figura 3.15 muestra la distribución que tienen las viviendas del sector Bastión Popular, en el cual se observa que la mayor cantidad

presenta un nivel de vulnerabilidad de elevada a muy elevada según la Tabla 3.1. Sin embargo, existe una pequeña cantidad de construcciones con un nivel considerado medio-alto.

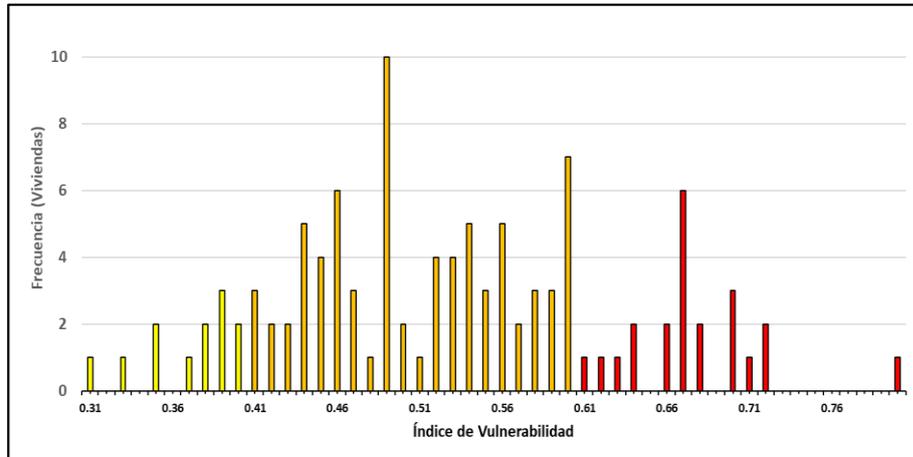


Figura 3.15 Histograma de Frecuencias Índice de Vulnerabilidad, Bastión Popular (Autores)

Por otro lado, la información presentada en la Figura 3.16 se indica que para Trinitaria la mayor parte de las viviendas presentan un nivel de vulnerabilidad elevada a muy elevada. Esto indica el sector estudiado en su totalidad tiene una muy elevada vulnerabilidad general.

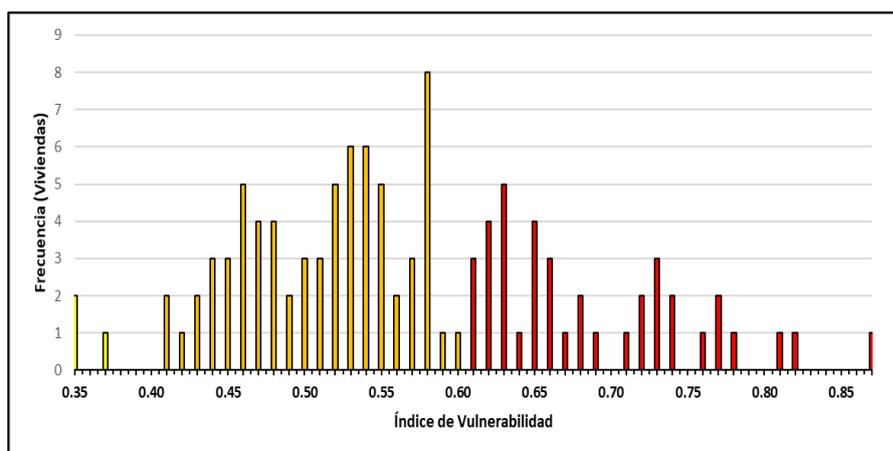


Figura 3.16 Histograma de Frecuencias Índice de Vulnerabilidad, Bastión Popular (Autores)

El diagrama de cajas y bigotes de la Figura 3.17 indica que del 25% al 75% de los datos se encuentran equitativamente distribuidos alrededor de la mediana (nivel de

vulnerabilidad elevada). El bigote inferior indica mayor concentración de viviendas con un nivel de vulnerabilidad medio-alto, a diferencia del superior cuyos valores se encuentran más dispersos. Además, se denota que el rango de valores del índice de vulnerabilidad se encuentra entre el 0.31 y el 0.80.

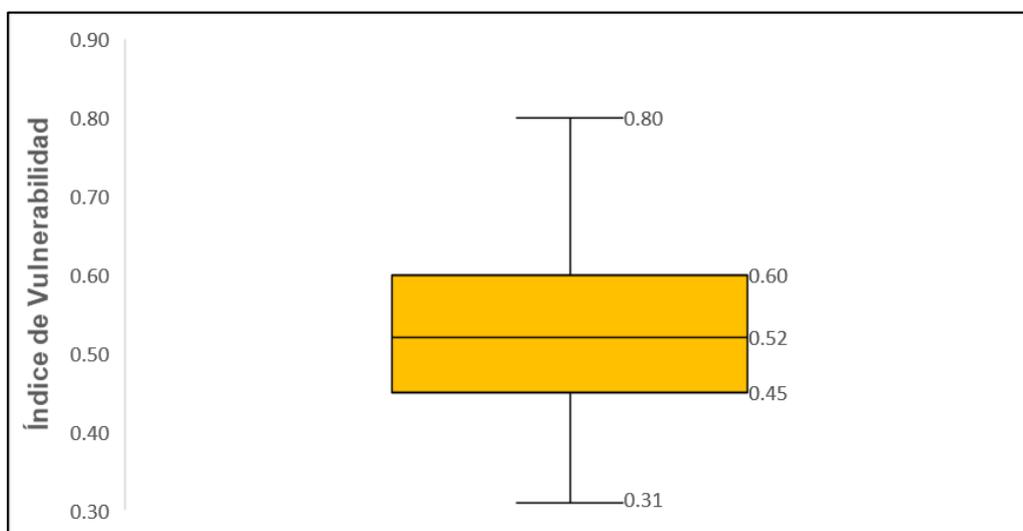


Figura 3.17 Diagrama de Cajas Índice de Vulnerabilidad, Bastión Popular (Autores)

La Figura 3.18 muestra el mismo resultado en cuanto a la ubicación de los bigotes, es decir, la concentración del 25% de los datos. Sin embargo, en este sector no hay una distribución equitativa del 50% de los datos alrededor de la mediana. Además, se observa claramente que los resultados presentan un índice de vulnerabilidad del 0.35 al 0.82, descartando el valor 0.87 como un dato aberrante.

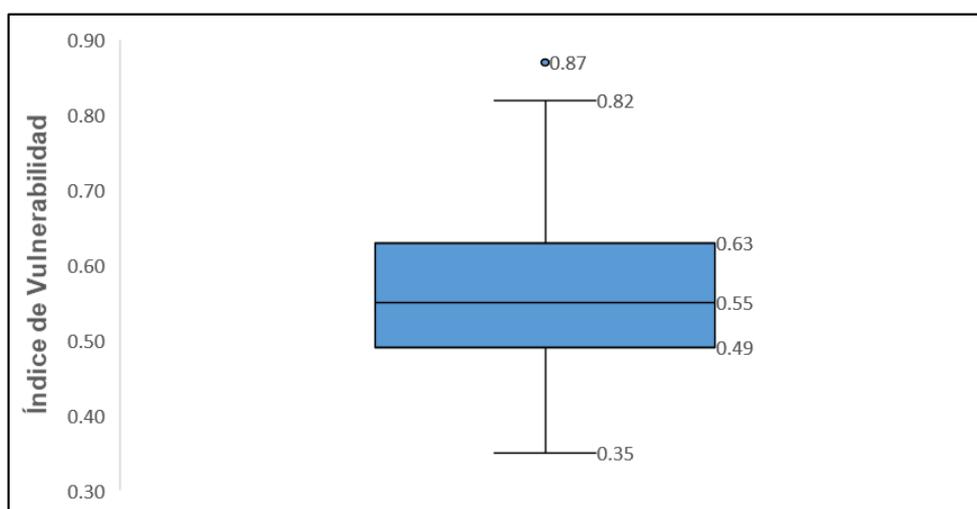


Figura 3.18 Diagrama de Cajas Índice de Vulnerabilidad, Trinitaria (Autores)

Con los datos obtenidos para cada diagrama individual mostrados en la Tabla 3.2, se puede realizar una comparación del comportamiento del índice de vulnerabilidad para ambos sectores.

Tabla 3.2 Datos de Diagrama de Cajas (Autores)

Sector	Mínimo	Q1	Q2	Q3	Máximo
Bastión Popular	0.31	0.45	0.52	0.63	0.80
Trinitaria	0.35	0.49	0.55	0.60	0.87

La Figura 3.19 muestra que Trinitaria tiene un mayor grado de vulnerabilidad que Bastión Popular para los sectores estudiados, ya que tanto los valores mínimos como máximos son mayores para Trinitaria, así como la mediana que supera en 3% en valor a la de Bastión Popular.

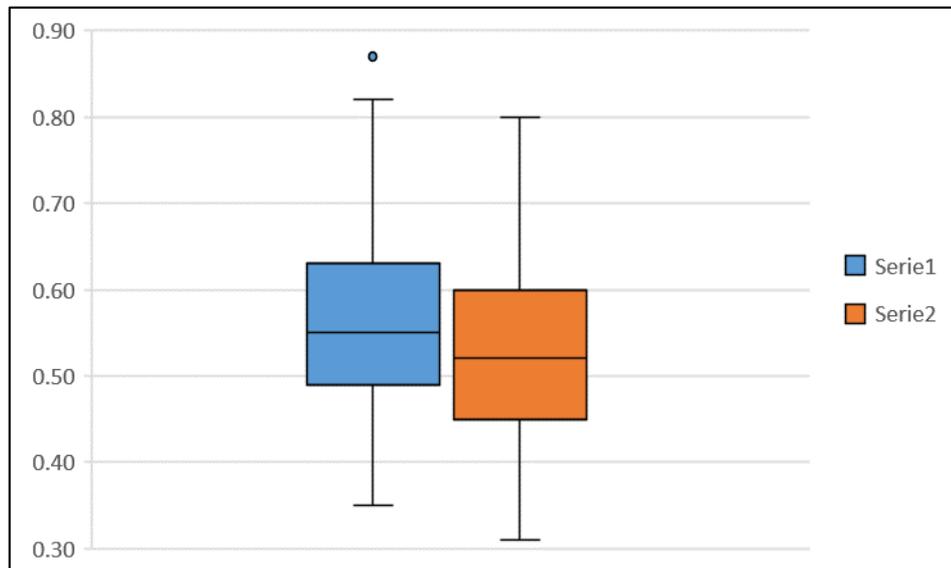


Figura 3.19 Comparación de Diagrama de Cajas Índice de Vulnerabilidad (Autores)

3.3 Grados de Daño

Los grados o niveles de daño que puede presentar una vivienda al ocurrir un sismo de determinada Intensidad fueron desarrollados en base a la ecuación 2.1. Los resultados obtenidos proporcionaron valores entre 1 y 5 para cada vivienda cuya clasificación se detalla en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Grados de Daño (Ferreira et al., 2016)

Grado de Daño	
0-0.5	Mínimo o Sin Daño
0.5-1.0	
1.0-1.5	
1.5-2.0	
2.0-2.5	Moderado
2.5-3.0	
3.0-3.5	Severo
3.5-4.0	
4.0-4.5	Potencial Colapso
4.5-5.0	

A continuación, se presentan los niveles de daño para viviendas empleando sismos de intensidades macrosísmicas VII, VIII y IX.

3.3.1 Sismo de Intensidad VII

La Figura 3.20 y 3.21 muestra los grados de daño para un sismo de intensidad VII.

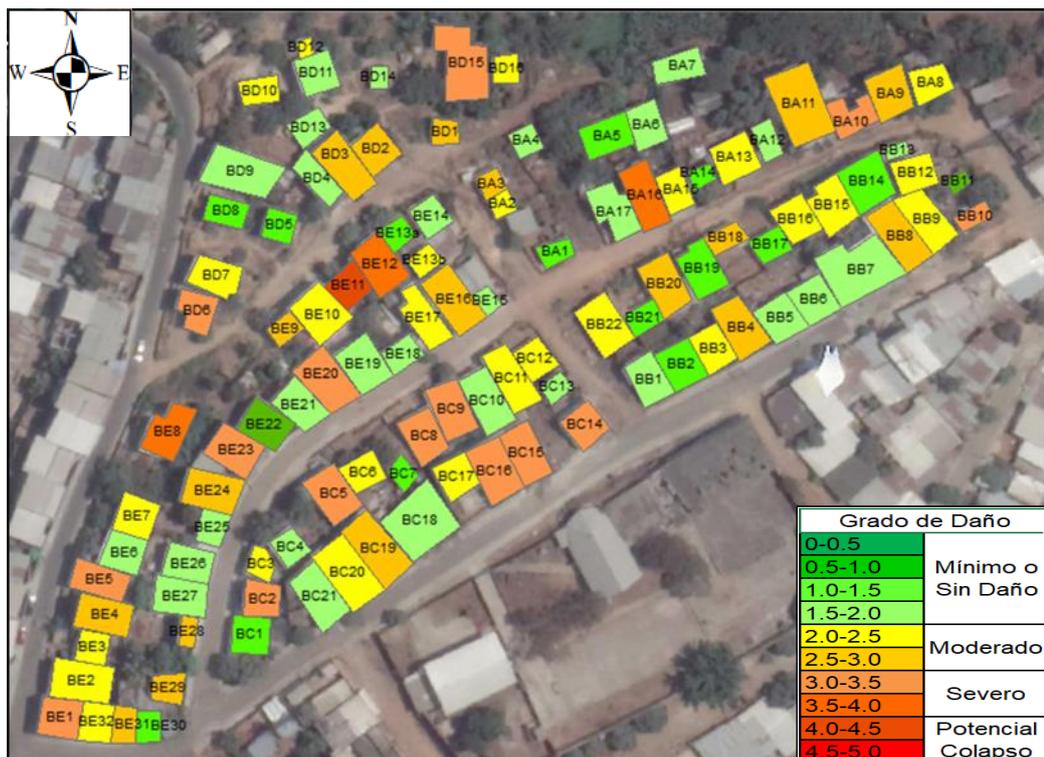


Figura 3.20 Grado de Daño Sismo de Intensidad VII, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)



Figura 3.21 Grado de Daño para Sismo de Intensidad VII, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)

La Figura 3.22 muestra que ante una intensidad VII existe un gran porcentaje de viviendas que no van a presentar daño en Bastión Popular, encontrando un menor porcentaje en Trinitaria. A su vez, alrededor del 20% de las viviendas presentaran un daño severo y apenas un mínimo presentan un colapso potencial de la estructura.

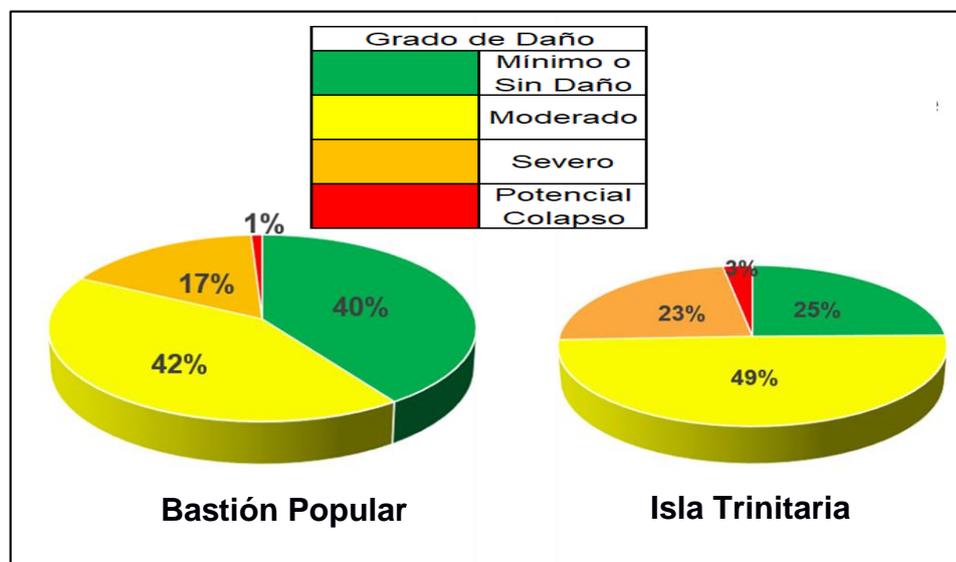


Figura 3.22 Gráfico de Grado de Daño para Sismo de Intensidad VII (Autores)

3.3.2 Sismo de Intensidad VIII

La Figura 3.23 y 3.24 muestra los grados de daño para un sismo de intensidad VIII.

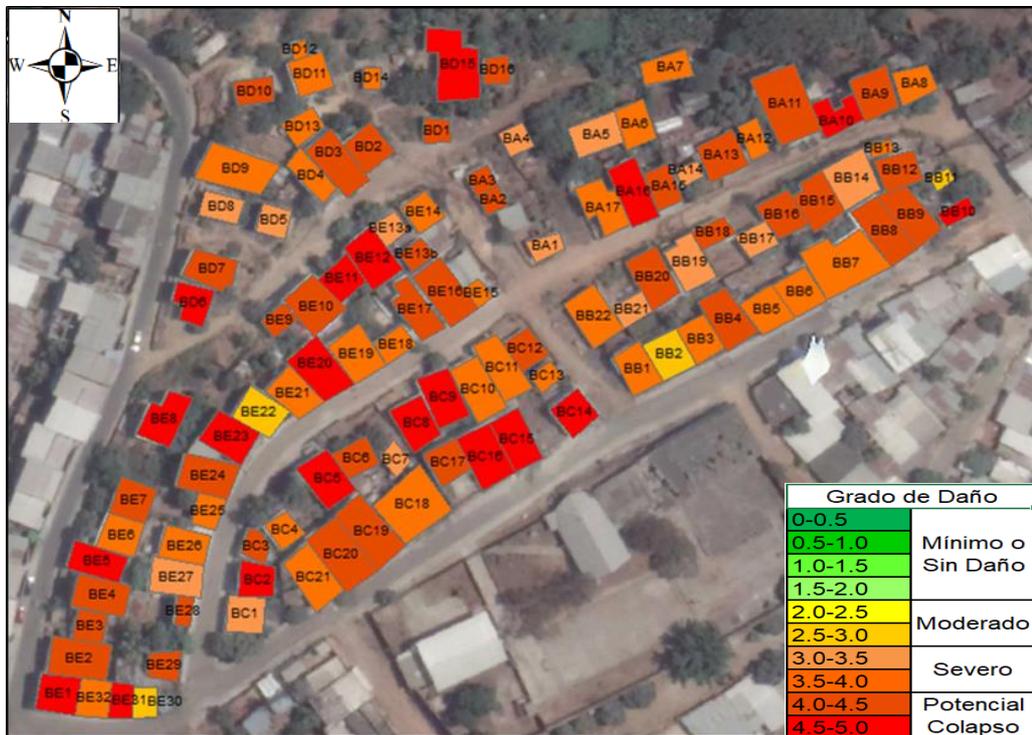


Figura 3.23 Grado de Daño para Sismo de Intensidad VIII, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS, 2019)



Figura 3.24 Grado de Daño para Sismo de Intensidad VIII, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS, 2019)

Al incrementar en un nivel la intensidad hacia un sismo de intensidad considerada como “Gravemente Dañino” según la “Escala Macrosísmica Europea”, se aprecia en la Figura 3.25 como aumenta el daño que sufren las viviendas principalmente el colapso potencial de las mismas.

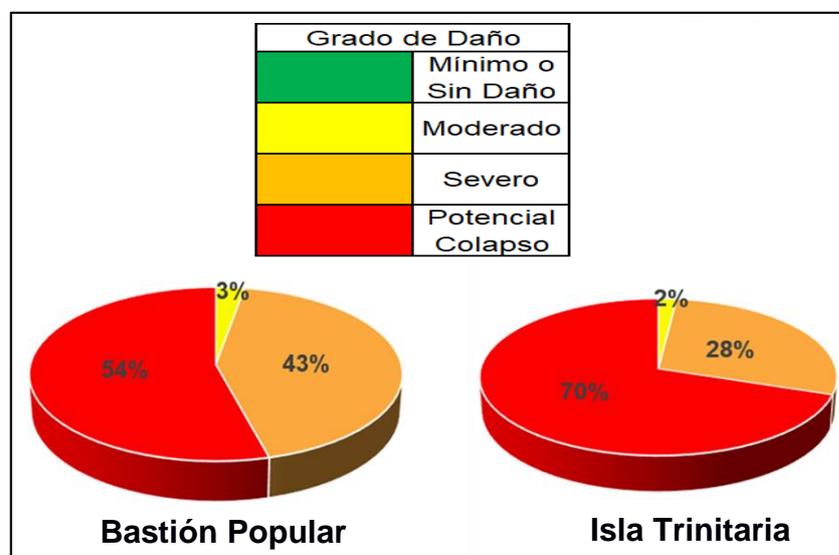


Figura 3.25 Gráfico de Grado de Daño para Sismo de Intensidad VIII (Autores)

3.3.3 Sismo de Intensidad IX

La Figura 3.26 y 3.27 muestra los grados de daño para un sismo de intensidad IX.

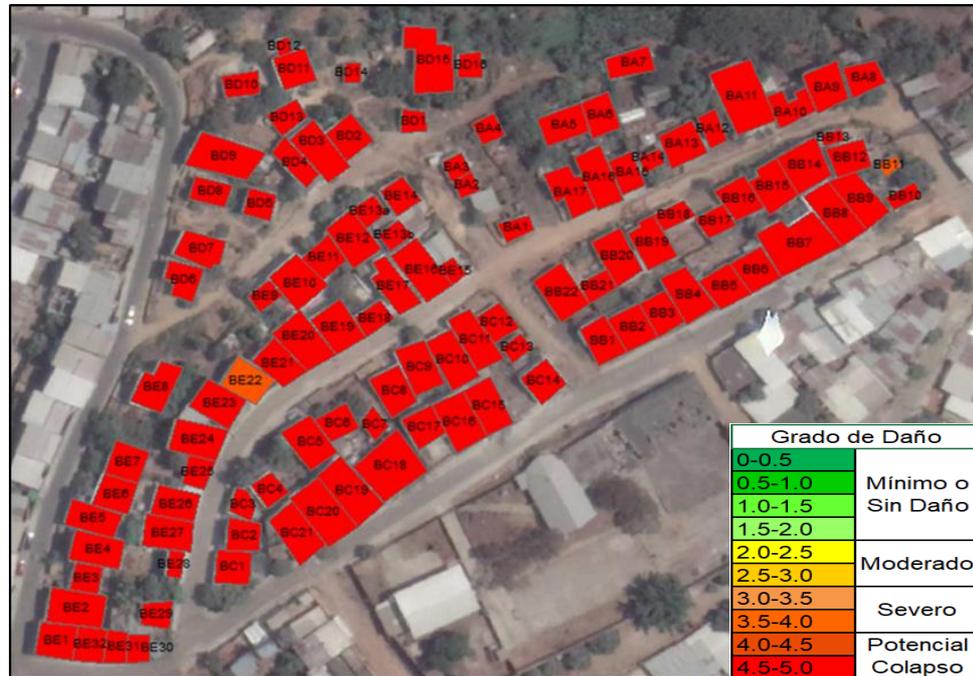


Figura 3.26 Grado de Daño para Sismo de Intensidad IX, Bastión Popular (Desarrollado en ArcGIS)



Figura 3.27 Grado de Daño para Sismo de Intensidad IX, Trinitaria (Desarrollado en ArcGIS)

Si ocurre un evento sísmico de intensidad IX considerado como “Destructor” según la escala macrosísmica europea, la Figura 3.28 muestra que un 100% de las viviendas se encontrarán ante un colapso potencial. Prácticamente la destrucción total de la zona.

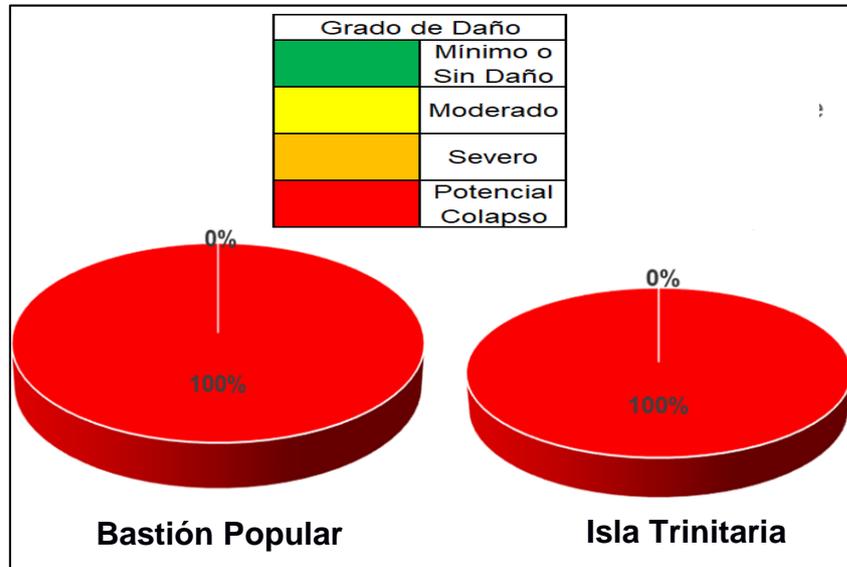


Figura 3.28 Gráfico de Grado de Daño para Sismo de Intensidad IX (Autores)

Sin embargo, no es correcto el suponer que la misma intensidad funciona para ambos sectores durante un evento sísmico ya que las condiciones de sitio son diferentes en cada caso, por lo que RADIUS adopta un sismo de diseño cuya intensidad varía con cada sector como se puede observar en la Figura 2.33. Teniendo en cuenta esta información, se puede conocer los niveles de daño de ambos sectores mostrados en la Figura 3.29 ante el sismo de diseño, por lo que ante el sismo de diseño el sector de Trinitaria muestra un grado de daño notablemente mayor al de Bastión Popular.

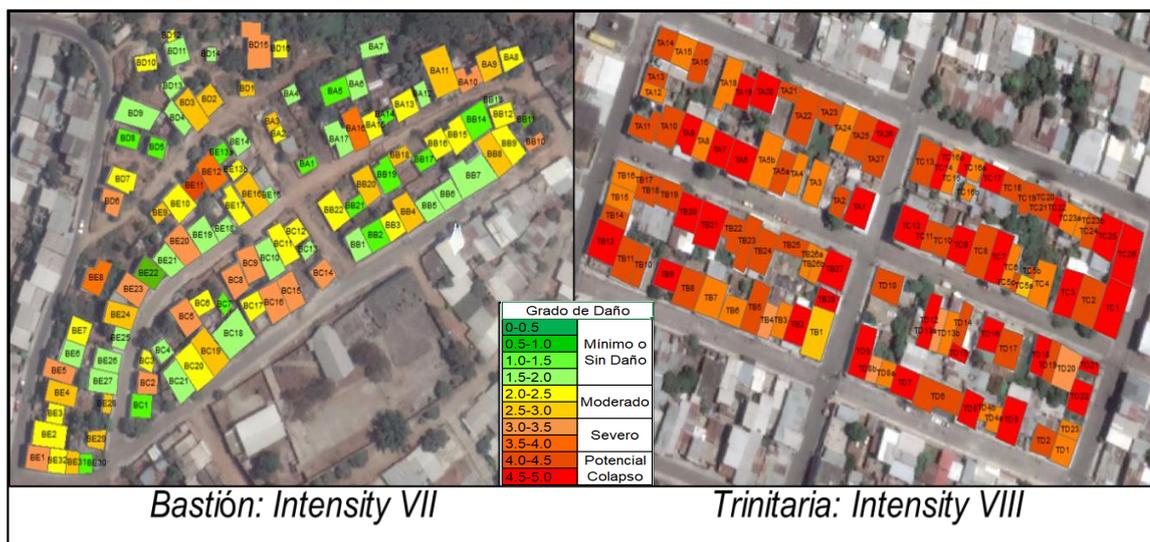


Figura 3.29 Daño Basado en el Sismo de Diseño Propuesto por RADIUS (Desarrollado en ArcGIS)

3.4 Ensayos

3.4.1 Martillo de Rebote

Para analizar la calidad del concreto empleado en la fundición de las viviendas se utilizó el ensayo del martillo de rebote, este ensayo muestra la resistencia a la compresión del hormigón cuyos resultados para cada sector se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Resultados de Ensayo Martillo de Rebote (Autores)

Compressive Strength Results (Kg/cm ²)	
Trinitaria	Bastión Popular
110	110
110	150
129	120
129	158
158	220
370	249
370	320

La NEC 2015 indica que la resistencia a la compresión mínima dada para viviendas es de 210 Kg/cm², sin embargo, se observa que más de la mitad de las

viviendas para cada sector no cumplen con dicha disposición. Resistencias muy bajas del hormigón representan la mala calidad y el descuido por parte de los propietarios en el proceso de construcción.

3.4.2 Perforaciones

3.4.2.1 Trinitaria

El tipo de suelo predominante en el sondeo (Figura 3.30) es una arena mal graduada no plástica (SP) con limos y grava, debido a que es un material suelto no se pudo determinar el índice plástico (IP) de la mayoría de los estratos, el nivel freático se encuentra a 1.6 metros bajo la superficie. La presencia de arena bajo el nivel freático, además de ser una zona con alto riesgo sísmico puede inducir la licuefacción en el sector.

En relación al Apéndice A, Figura 2.3 y a los resultados del sondeo (Figura 3.30), se clasificó al suelo como Tipo F debido a que son suelos finos no plásticos (NP), además del potencial de licuefacción del terreno.

GEOCIMENTOS		FR-IT-CNS-03-01 Versión 02 25/03/2019 Hoja 1 de 1																
Consultoría en Ingeniería Civil		PROYECTO :		Vulnerabilidad Sísmica ESPOL - U Colorado														
		UBICACIÓN :		Isla Trinitaria, Guayaquil														
		SOLICITANTE :		-														
FECHA :		23/07/2019		SONDEO		REVISADO POR :		Ing. Francisco Grau A.										
ORDEN No. :		-		1		COORDENADAS :		17M 618576 E 9753009 S										
N. FREÁTICO :		1,60 m.																
Z	PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	T. MSTR	ESTRATIG	MUESTRA #	PROFUNDIDAD	SUCS	ω %	PASANTE (%) # 4 # 200	LÍMITES DE ATTERBERG LL LP IP	γ T/m³	qu T/m³	ε %	SPT N N ₆₀			
	1		Relleno ARENA mal graduada con grava, de compacidad media y color café amarillento			1	0,50 a 1,00	SP	13	63	4	NP	NP	NP	-	-	6-6-15 (21)	16
	2		ARENA mal graduada con limo con grava, de compacidad media y color gris			2	1,50 a 2,00	SPSM	18	66	5	NP	NP	NP	-	-	10-9-10 (19)	14
	3		ARENA mal graduada con arcilla con grava, de compacidad media y color gris			3	2,50 a 3,00	SPSC	38	59	9	26	16	10	-	-	4-8-7 (15)	11
	4		Presencia de material orgánico LIMO de baja plasticidad arenoso, de consistencia media y color gris			4	3,50 a 4,00	ML	198	86	57	NP	NP	NP	-	-	4-3-3 (6)	5
	5		Presencia de material orgánico ARENA mal graduada con grava, de compacidad media y color gris			5	4,50 a 5,00	SP	78	85	2	NP	NP	NP	-	-	5-13-16 (29)	25
	6		LIMO de baja plasticidad, de consistencia media y color gris			6	5,50 a 6,00	ML	95	96	87	NP	NP	NP	-	-	4-4-4 (8)	7
			<i>Fin del Sondeo</i>															

Figura 3.30 Sondeo No 1, Trinitaria (Geocimientos, 2019)

La metodología empleada para la evaluación de potencial licuefacción del suelo fue la propuesta por (Idriss & Boulanger, 2008), los resultados se dieron en base a la siguiente información:

- **Magnitud de sismo de diseño:** 8.0 Mw adoptado por RADIUS.
- **Aceleración máxima del terreno:** 0.39g para Trinitaria basado en el estudio de microzonificación sísmica (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2015).
- **Estudios de caracterización del suelo:** Sondeo No 1 en el sector deseado (Geocimientos S.A.).
- **Nivel freático:** Sondeo No 1 en el sector deseado (Geocimientos S.A.).

La Tabla 3.5 presenta el potencial de licuefacción por estratos, se observó que los estratos potencialmente licuables se dan en los limos no plásticos arenosos con contenido orgánico (ML) y en la arena mal graduada con arena con grava (SPSC). El Apéndice A, Tabla A.1 muestra la tabla de desarrollo para la determinación del potencial de licuación.

Tabla 3.5 Potencial de Licuefacción (Autores)

z (m)	SUCS	POTENCIAL
0-1	SP	-
1-2	SPSM	-
2-3	SPSC	LICUABLE
3-4	ML	LICUABLE
4-5	SP	NO LICUABLE
5-6	ML	LICUABLE

El tipo de suelo predominante en el sondeo (Figura 3.31) son dos, por una parte, se tuvo arena pobremente graduada (SP) en los 2 primeros metros de profundidad y arcilla de baja plasticidad (CL) en el resto, el nivel freático se identificó a 1.5 m bajo la superficie. Debido a la poca presencia de arena bajo el nivel freático, el suelo no cumple con las disposiciones para licuación ante un evento sísmico. El índice de plasticidad de los diferentes estratos permitió clasificar al suelo como Tipo E (Apéndice A, Figura A.3)

GEOCIMENTOS		FR-IT-CNS-03-01 Versión 02 25/03/2019 Hoja 1 de 1																	
Consultoría en Ingeniería Civil		PROYECTO :				Vulnerabilidad Sísmica ESPOL - U Colorado													
		UBICACIÓN :				Isla Trinitaria, Guayaquil													
		SOLICITANTE :				-													
FECHA :		23/07/2019		SONDEO		REVISADO POR :				Ing. Francisco Grau A.									
ORDEN No. :		-		2		COORDENADAS :				17M 618805 E 9753025 S									
N. FREÁTICO :		1,50 m.																	
Z	PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	T.METE	ESTRATIG	MUESTRA		SUCS	w %	PASANTE (%)		LÍMITES DE ATTERBERG			γ T/m³	qu T/m²	ε %	SPT	
						#	PROFUNDIDAD			# 4	# 200	LL	LP	IP				N	N ₆₀
	1		Relleno ARENA mal graduada con grava, de compacidad suelta y color café amarillento		1	0,50 a 1,00	SP	9	66	1	36	18	18	-	-	-	7-3-5 (8)	6	
	2		ARENA mal graduada con limo, de compacidad suelta y color gris		2	1,50 a 2,00	SPSM	20	94	7	NP	NP	NP	-	-	-	8-5-1 (6)	5	
	3		ARENA arcillosa, de compacidad suelta y color gris		3	2,50 a 3,00	SC	35	99	18	46	20	26	-	-	-	12-5-4 (9)	7	
	4		ARCILLA de alta plasticidad, de consistencia muy blanda y color gris verdoso claro		4	3,50 a 4,00	CH	18	100	91	72	18	54	-	-	-	1-1-1 (2)	2	
	5		ARCILLA de baja plasticidad, de consistencia blanda y color gris verdoso claro		5	4,50 a 5,00	CL	16	99	91	42	16	26	-	-	-	2-2-2 (4)	3	
	6		ARCILLA de alta plasticidad, de consistencia media y color gris verdoso claro		6	5,50 a 6,00	CH	34	99	91	79	27	52	-	-	-	4-4-5 (9)	8	
			<u>Fin del Sondeo</u>																

Figura 3.31 Sondeo No 2, Trinitaria (Geocimientos, 2019)

3.4.2.2 Bastión Popular

El tipo de suelo predominante en la Figura 3.32 es una arena arcillosa (SC) muy densa, debido al elevado número de golpes. Por cuestiones topográficas, permitiendo al agua escurrir en épocas lluviosas, no se determinó la presencia de nivel freático en el sondeo.

De acuerdo con el Apéndice A, Figura A.3 y a los resultados de la perforación se estableció un suelo Tipo C para el terreno.

				FR-IT-CNS-03-01 Versión 02 25/03/2019 Hoja 1 de 1															
FECHA :		1/7/2019		SONDEO				REVISADO POR :		Ing. Francisco Grau									
ORDEN No. :		-		1				COORDENADAS :		17M 618795 E 9769915 S									
N. FREÁTICO :		No se detectó																	
Z	PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	E. MSTR	ESTRATIG	MUESTRA		SUCS	ω %	PASANTE (%)		LÍMITES DE ATTERBERG			γ T/m³	qu T/m²	ε %	SPT	
						#	PROFUNDIDAD			# 4	# 200	LL	LP	IP				N	N ₆₀
1			ARENA arcillosa con grava, de compacidad muy densa y color café claro			1	0,50 a 1,00	SC	14	70	28	33	15	18	-	-	-	27-40-50 (90)	68
2			ARENA arcillosa con grava, de compacidad muy densa y color café claro			2	1,50 a 2,00	SC	12	65	26	30	15	15	-	-	-	40-47-35 (82)	62
3			ARENA arcillosa con grava, de compacidad muy densa y color café amarillento			3	2,50 a 3,00	SC	12	82	33	34	15	19	-	-	-	50 en 12 cm	
			<i>Fin del Sondeo</i>																

Figura 3.32 Sondeo No 1, Bastión Popular (Geocimientos, 2019)

Las siguientes perforaciones, correspondientes a la Figura 3.33 y 3.34 poseen un comportamiento similar en cuanto a la ubicación del estrato resistente se refiere, en este caso la grava arcillosa (GC) se encuentra a los 2 metros de profundidad. Las consideraciones del nivel freático son las mismas para el Sondeo No 1, es decir, debido a efectos topográficos y a la permeabilidad del estrato no se lo pudo encontrar en la perforación. Debido a la cercanía del estrato resistente el perfil del terreno puede clasificarse como Tipo C.

				FR-IT-CNS-03-01 Versión 02 25/03/2019 Hoja 1 de 1															
FECHA :		1/7/2019		SONDEO				REVISADO POR :		Ing. Francisco Grau									
ORDEN No. :		-		2				COORDENADAS :		17M 618799 E 9770021 S									
N. FREÁTICO :		No se detectó																	
Z	PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	E. MSTR	ESTRATIG	MUESTRA		SUCS	ω %	PASANTE (%)		LÍMITES DE ATTERBERG			γ T/m³	qu T/m²	ε %	SPT	
						#	PROFUNDIDAD			# 4	# 200	LL	LP	IP				N	N ₆₀
1			GRAVA arcillosa con arena, de compacidad media y color café claro			1	0,50 a 1,00	GC	14	44	14	30	18	12	-	-	-	3-6-8 (14)	11
2			GRAVA mal graduada con arcilla con arena, de compacidad media y color café			2	1,50 a 2,00	GPGC	8	35	8	27	15	12	-	-	-	6-8-12 (20)	15
3			GRAVA arcillosa con arena, de compacidad muy densa y color café claro			3	2,50 a 3,00	GC	15	48	14	26	15	11	-	-	-	50 en 15cm	
			<i>Fin del Sondeo</i>																

Figura 3.33 Sondeo No 2, Bastión Popular (Geocimientos, 2019)

GEOCIMENTOS		FR-IT-CNS-03-01 Versión 02 25/03/2019 Hoja 1 de 1																	
Consultoría en Ingeniería Civil		PROYECTO :				Vulnerabilidad Sísmica ESPOL - U Colorado													
		UBICACIÓN :				Bastión Popular, Guayaquil													
		SOLICITANTE :				-													
FECHA :	1/7/2019	SONDEO				REVISADO POR :				Ing. Francisco Grau									
ORDEN No. :	-	3				COORDENADAS :				17M 618893 E 9770046 S									
N. FREÁTICO :	No se detectó																		
Z	PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	T. MSTR	ESTRATIG	MUESTRA		SUCS	ω %	PASANTE (%)		LÍMITES DE ATTERBERG			γ T/m ³	qu T/m ²	ϵ %	SPT	
						#	PROFUNDIDAD			# 4	# 200	LL	LP	IP				N	N ₆₀
	1		ARCILLA de alta plasticidad con grava, de consistencia rígida y color café			1	0,50 a 1,00	CH	15	87	73	50	19	31	-	-	-	11-8-6 (14)	11
	2		ARCILLA de baja plasticidad con grava, de consistencia media y color café amarillento			2	1,50 a 2,00	CL	17	88	71	29	17	12	-	-	-	4-3-7 (10)	8
	3		GRAVA arcillosa con arena, de compacidad muy densa y color café			3	2,50 a 3,00	GC	9	64	38	33	16	17	-	-	-	50 en 14cm	
<i>Fin del Sondeo</i>																			

Figura 3.34 Sondeo No 3, Bastión Popular (Geocimientos, 2019)

3.5 Problemas Comunes

3.5.1 Conexiones

La Figura 3.35 muestra varios ejemplos de viviendas que tienen sus elementos con mala conexión, lo que al momento de ocurrir una actividad sísmica estos no van a actuar como un solo cuerpo y existe una gran probabilidad de que el fallo ocurra en estos tramos.

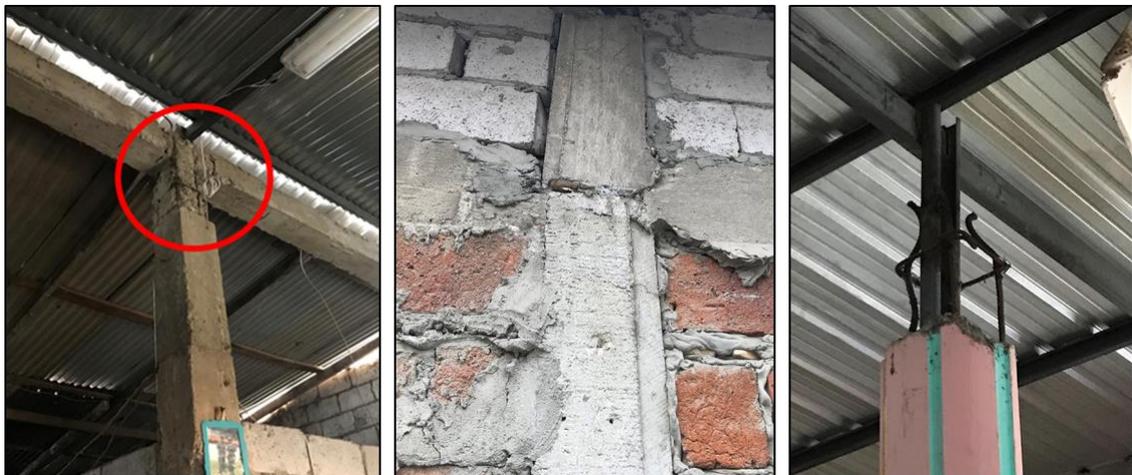


Figura 3.35 Viviendas con Malas Conexiones Estructurales (Autores)

3.5.2 Ausencia de Recubrimiento

La Figura 3.36 muestra elementos estructurales cuyo refuerzo está expuesto debido a la ausencia de recubrimiento, la exposición del refuerzo al ambiente provoca la corrosión del mismo debido a la humedad del clima. La corrosión del acero de refuerzo anula las propiedades que este brinda al concreto, privando al elemento de la resistencia a flexión necesaria.



Figura 3.36 Viviendas con Ausencia de Recubrimiento (Autores)

3.5.3 Remoción Intencional de Concreto

Se evidenció en las áreas de estudio que posterior a la construcción de los elementos estructurales y no estructurales, ante diferentes condiciones los habitantes de las viviendas improvisaron soluciones inadecuadas removiendo parcialmente elementos estructurales o porciones de concreto dejando expuesto el acero de refuerzo y debilitando las estructuras.

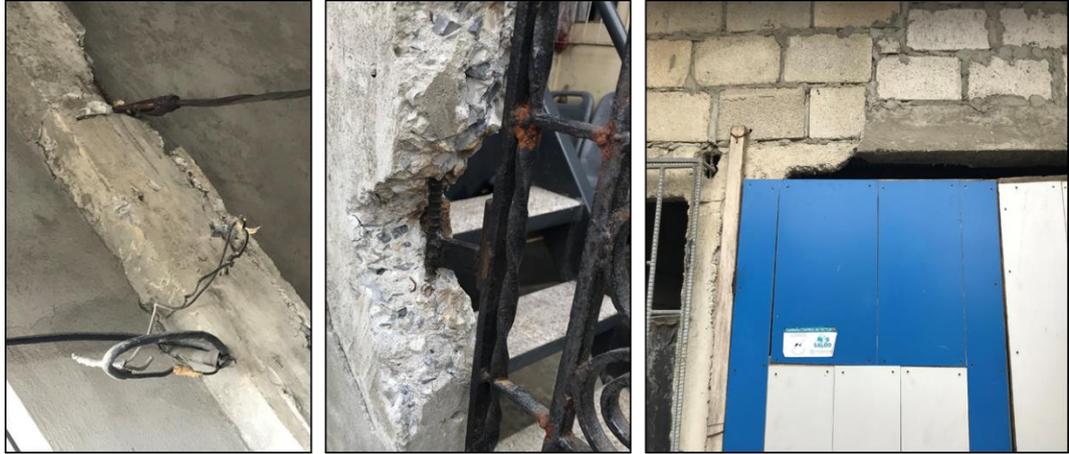


Figura 3.37 Viviendas que Presentan Remoción Intencional del Concreto (Autores)

3.5.4 Inadecuadas Expansiones

Al expandir una vivienda se deben tomar ciertas medidas que eviten un cambio o alteración inadecuada del sistema estructural, la Figura 3.38 muestra el cambio brusco empleado al añadir vigas y columnas a una construcción. Esta ampliación, al no encontrarse adecuadamente conectados los elementos provoca que el sistema no trabaje monolíticamente.



Figura 3.38 Viviendas con Malas Expansiones (Autores)

3.5.5 Columna corta

El problema de columna corta es muy común en zonas de laderas como se muestra en la Figura 3.39, debido a que las viviendas buscan estar al mismo nivel y, en zonas populares los habitantes no poseen el dinero suficiente para poder

nivelar el terreno ni colocar muros de contención al mismo. El problema de la columna corta es que son estas las que van a soportar mayores tensiones, provocando así una falla frágil en el elemento.



Figura 3.39 Viviendas con Presencia de Columna Corta (Autores)

3.5.6 Ausencia de Elementos Estructurales

La ausencia de elementos estructurales especialmente columnas visto en la Figura 3.40 provoca que toda la energía que las columnas deben transmitir a la cimentación al momento de un evento sísmico sea retenida en la estructura. Aumentando en gran medida los daños provocados en vigas o elementos no estructurales.



Figura 3.40 Viviendas con Ausencia de Elementos Estructurales (Autores)

3.5.7 Muros sin Adecuado Drenaje

Un error muy común en sectores montañosos es el obviar el drenaje de aguas lluvias en muros de contención tal como se muestra en la Figura 3.41. La acumulación del fluido en este terreno provoca un mayor empuje del suelo hacia el muro, el cual si no se encuentra correctamente diseñado y/o construido puede fallar ya sea por volteo o deslizamiento.



Figura 3.41 Ausencia de Drenaje en Muros de Contención (Autores)

3.5.8 Daño Estructural y no Estructural

Siempre es importante prestar mucha atención en los daños existentes en una estructura, para conocer el tipo de daño de los elementos y así poder dar posibles soluciones y recomendaciones al propietario. La imagen de la izquierda de la Figura 3.42 muestra una grieta a lo largo de dos aperturas, es común encontrar este tipo de daño no estructural muchas veces debido a la ausencia de “pilaretes” en puertas o dinteles en las ventanas. Por otra para la imagen de la derecha muestra una mala adhesión de la mampostería al elemento estructural, esto puede ser debido a la mala calidad del mortero, ausencia de varillas “chicotes” o un mal control en la etapa de construcción en el levantamiento de mampostería.



Figura 3.42 Viviendas con Daños en Elementos (Autores)

3.6 Implicaciones ambientales por generación de escombros en caso de colapso por sismo.

En las siguientes secciones se muestra lo relacionado a la problemática ambiental por generación de escombros y las medidas a tomar ante estas situaciones, en concordancia con lo manifestado por la SEMARNAT (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales de México) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

3.6.1 Volumen de escombros por colapso de estructuras

La metodología que se ha usado en este proyecto fue la expuesta por la Organización Panamericana de la Salud, la cual fue empleada para la estimación de escombros por demolición luego del sismo de febrero de 1999 en el Eje Cafetero, Colombia.

Para Trinitaria, las viviendas teniendo un área promedio en planta de 92m^2 , y siendo un 67% de una planta, 22% de dos plantas y 11% de 3 pisos, con un espaciamiento entre columnas de aproximadamente 4 metros en su luz más larga y 3 en su luz más corta. Se cuantificó que aproximadamente tendrían $0,45\text{m}^3/\text{m}^2$ de escombros por metro cuadrado en planta de construcción, y dado que es menor al valor usado en la referencia, se tomó la constante usada de $0,5\text{m}^3/\text{m}^2$.

Finalmente, con esta metodología, se obtuvo una generación de escombros de alrededor de 3505m³.

Para la zona de Bastión Popular, las viviendas teniendo un área promedio en planta de 72m², con un 62% de estructuras de una planta, 37% de dos plantas y 1% de 3 pisos, poseen espaciamiento máximo entre columnas de aproximadamente 4 metros en su luz más larga y 3 en su luz más corta. Se obtuvo que tendrían un valor ligeramente menor (0,40m³/m²) que la constante usada en la referencia, se hizo uso de dicha constante 0,5m³/m². Se obtuvo mediante esta metodología una generación de escombros de 35m³.

Podemos observar que los escombros que se produzcan en Bastión Popular serán mucho menores que los de Isla Trinitaria, debido a que Trinitaria obtendrá un grado de daño mayor que Bastión ante un terremoto.

3.6.2 Criterios para el manejo de escombros generados por un sismo

Los residuos de construcción y demolición generados por un evento sísmico son de suma importancia, debido a la gran cantidad de volumen generado. En base a esto la SEMARNAT elaboró una estrategia para evitar impactos ambientales y en la salud de la población, por lo cual considera los siguientes apartados:

- Ubicación del sitio para los escombros.
- Operación del sitio.
- Aprovechamiento y reciclaje de residuos de construcción.
- Saneamiento y clausura del sitio.

Relacionando los apartados con la situación local se tomarán los siguientes criterios para la acumulación del material de escombros.

3.6.3 Ubicación del sitio

Debido a la composición de los residuos, se consideraron las siguientes restricciones y criterios:

- No se debe colocar en áreas naturales protegidas; los escombros serán depositados en una cantera.
- Distancia entre el sitio y los cuerpos de agua superficiales debe ser mínimo 500 m; la distancia entre la cantera y el cuerpo de agua más cercana es de 1.7 Km y Km para Trinitaria y Bastión Popular correspondientemente.
- Se deberá colocar en un rango no mayor de 25 Km alrededor de la zona de desastre; la distancia entre la zona de posible desastre estudiada y la cantera más cercana es de 12.6 Km y Km para Trinitaria y Bastión Popular correspondientemente.
- Se considerarán zonas donde el paisaje se encuentre degradado; material depositado en cantera.
- Se consideran zonas con suelos poco productivos; por lo que el material será depositado temporalmente en una cantera.

3.6.4 Operación del sitio

- Se prohíbe la mezcla de los escombros con otros residuos ajenos o que alteren su composición.
- Se debe dar mantenimiento al sitio mediante riego con agua tratada (no potable) para mitigar emisiones de polvos.
- Señalización necesaria para evitar accidentes.
- Obras hidráulicas que permitan el adecuado drenaje de las aguas lluvias; de tal manera que el agua no afecte a ciertos materiales como acero y madera.

3.6.5 Aprovechamiento y reciclaje de escombros

Los residuos pueden ser aprovechados de diferentes maneras siempre y cuando estos sean previamente tratados y correctamente clasificados y evitar su contaminación con residuos tóxicos. Ante un posible desastre debido a un evento sísmico los materiales que pueden ser utilizados son los siguientes:

- Escombros de concreto; cuya molienda puede ser aprovechada para sub-base en caminos y rellenos.

- Acero de refuerzo; deberá ser debidamente separado y clasificado para su reciclaje.
- Madera; puede ser empleada para la generación de carbón.

3.6.6 Transporte de escombros

El escombros resultante de un sismo debe ser retirado lo más rápido posible, para lo cual será necesario la ayuda de mano de obra comunitaria para trabajos como clasificación de material, y maquinaria pesada para el transporte del material más grande.

La figura 3.43 y 3.44 muestra las rutas de transporte de los escombros hacia la cantera más cercana.

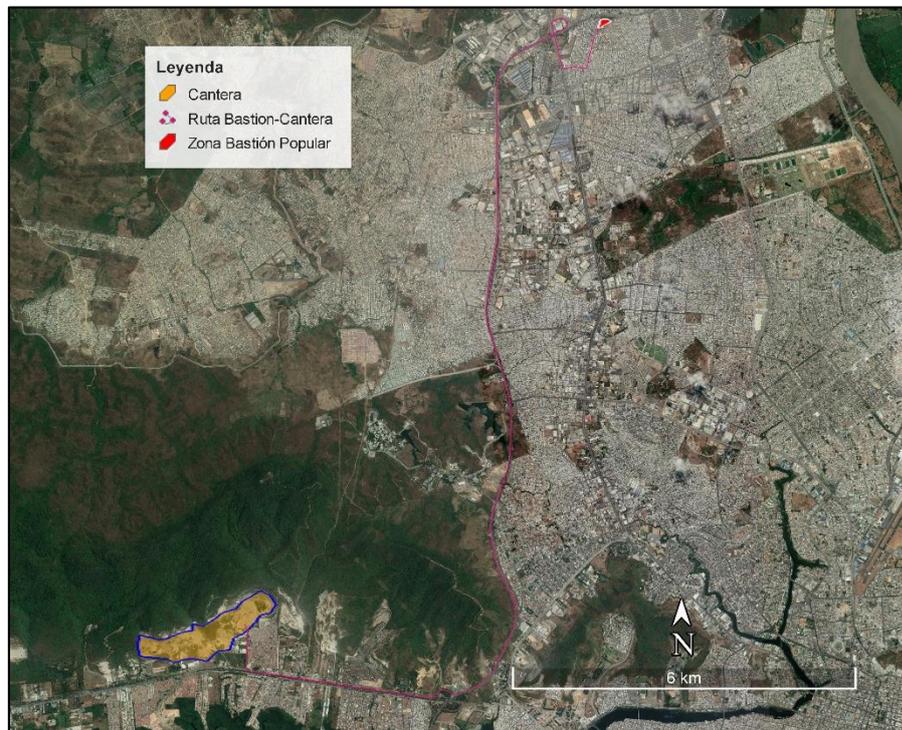


Figura 3.43 Ruta de Acarreo de Material Bastión-Cantera (Google Earth)

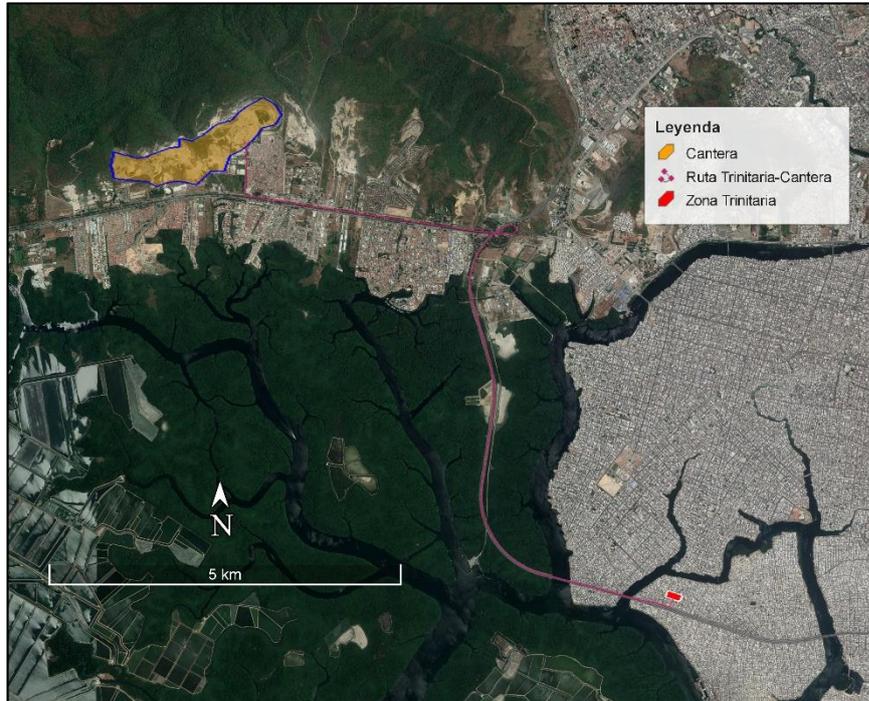


Figura 3.44 Ruta de Acarreo de Material Trinitaria-Cantera (Google Earth)

La Tabla 3.6 detalla las maquinarias a ser empleadas, así como el tiempo que estas se van a tardar en realizar el trabajo. Se ha tomado una de las canteras más cercanas a las áreas de estudio para ejemplificar el traslado de los escombros ante un desastre por sismo.

Tabla 3.6 Maquinarias y Tiempo Estimado de Trabajo

Sector	Excavadoras (2 m ³)	Excavadora frontal	Volquetas (12 m ³)	Tiempo estimado (días)
Trinitaria	1	1	5	7
Bastión Popular	1	1	1	1

3.7 Soluciones ante deficiencias de las estructuras

En base a los problemas comunes observados en las viviendas, FEMA 547 proporciona técnicas para rehabilitación en viviendas existentes. Estas técnicas dependen del tipo de edificación y se encuentra muy detallado en FEMA, la Figura 3.43 muestra el tipo de construcción que más se acopla a las analizadas cuyas características a destacar son: edificaciones con columnas de concreto, sistemas de losas planas y paredes de mampostería sin refuerzo.

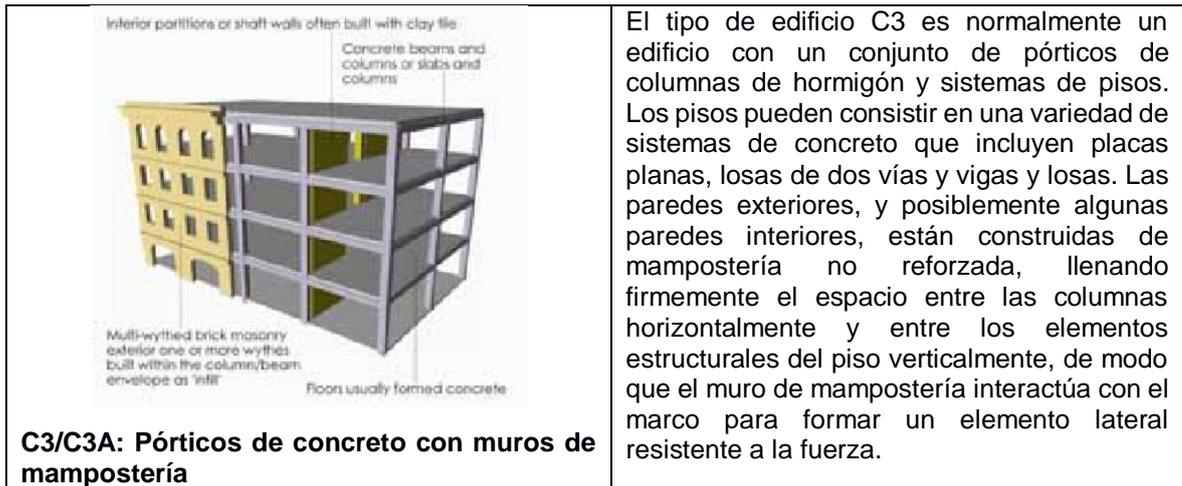


Figura 3.45 Tipo de Edificación (FEMA)

Las Tabla 3.7 muestra las deficiencias sísmicas más comunes e importantes con sus respectivas técnicas de rehabilitación para en el tipo de estructura estudiado, entre estas técnicas de rehabilitación destacan el añadir nuevos elementos o simplemente mejorar los ya existentes.

Tabla 3.7 Deficiencia Sísmica y Técnicas Potenciales de Rehabilitación

Deficiencia		Técnicas de Rehabilitación	
Categoría	Deficiencia	Añadir Nuevos Elementos	Mejorar Elementos Existentes
Fuerza Global	Columnas inadecuadas a fuerzas de volteo.	-	Añadir confinamiento. Añadir capacidad de tensión a la capa exterior de la columna.
	Mampostería débil o deteriorada.	-	Colocar mampostería adyacente. Inyectar lechada a paredes.
Configuración	Entrepiso débil.	Colocar paredes interiores de concreto. Añadir riostras interiores de acero.	-

3.8 Presupuesto

El presupuesto se lo realizó en base a las soluciones propuestas para los diferentes problemas que se encontraron en la visita de campo.

3.8.1 Confinamiento de columnas

La NEC-15 dice que la mínima dimensión para los lados de una columna para un diseño sismo resistente es de 30cm, sin embargo, muchas viviendas estudiadas en la inspección poseían columnas de 20cm a 25cm. Una de las soluciones que más se han utilizado para incrementar la resistencia o capacidad de estos elementos es el encamisado, el cual puede ser de recubrimiento de hormigón armado, es importante que se garantice la adherencia del concreto viejo con el nuevo. La Figura 3.46 muestra el encamisado de concreto de una columna, si esta es de muy grandes dimensiones se procederá a colocar estribos que atraviesen la columna, para el caso estudiado no es necesario debido a la pequeña dimensión del elemento.

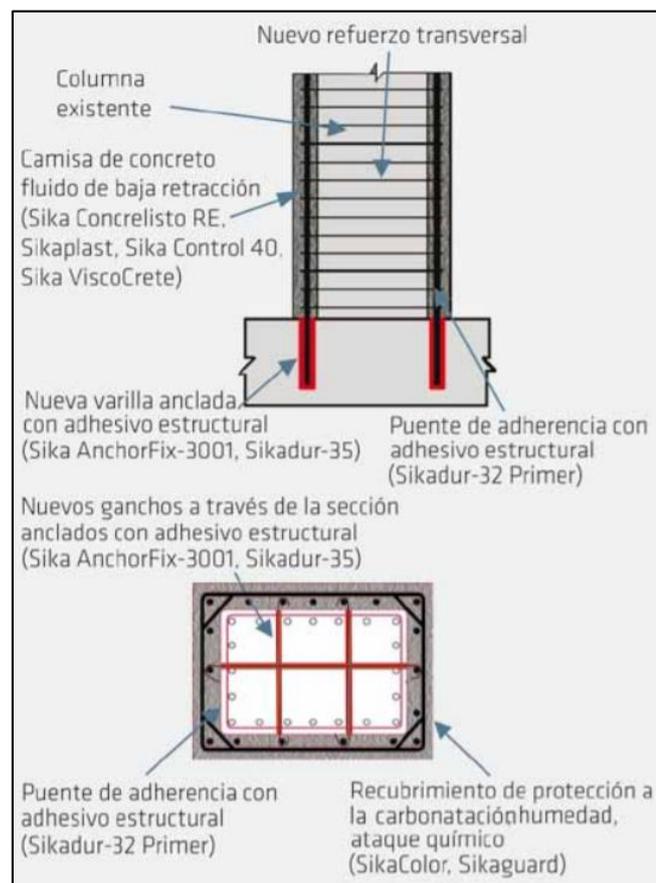


Figura 3.46 Detalle para confinamiento de columna (SIKA, 2017)

Se tomaron como ejemplos columnas de 20 cm de lado, la Tabla 3.8 muestra el costo de la rehabilitación de estos elementos por metro lineal, aumentando la sección a 35 cm.

Tabla 3.8 Presupuesto para Rehabilitación de Columnas (Autores)

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS POPULARES ASENTADAS EN CERROS Y EN EL SUR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL - REHABILITACIÓN DE COLUMNAS					
TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
Cód.	Rubro	Unidad	Cantidad	P.unit	P.total
1.00	Encofrado y desencofrado de columna cuadrada	M	1	5.79	5.790
2.00	Vertido de hormigón	M	1	25.74	25.740
3.00	Refuerzo de acero	M	1	26.87	26.870
				Total/m	58.400

3.8.2 Fisuras en mampostería

Las fisuras en mampostería pueden ser sencillamente tratadas si se coloca la masilla adecuada (Figura 3.47), la Tabla 3.9 muestra el costo de rehabilitación de la mampostería fisurada por metro lineal, cabe destacar que el valor puede incrementar al ser más grande la grieta.



Figura 3.47 Detalle para sellado de fisuras (SIKA)

Tabla 3.9 Presupuesto para Rehabilitación de Mampostería Fisurada (Autores)

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS POPULARES ASENTADAS EN CERROS Y EN EL SUR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL - SELLADO DE FISURAS					
TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
Cód.	Rubro	Unidad	Cantidad	P.unit	P.total
4.00	Masilla para sellado de fisuras	M	1	1.40	1.400
				Total/m	1.400

3.8.3 Transporte de escombros

En caso de ocurrir algún evento sísmico que comparta similitudes con el sismo de diseño adaptado por RADIUS se estimaron los costos para el transporte de los escombros generados. Debido a que el precio depende en gran medida de la distancia a la cantera más cercana, se optó por encontrar la distancia óptima hacia el sitio. Además, se consideró un aumento en 30% para el transporte debido al esponjamiento del material, la Tabla 3.10 muestra el total en \$ USD para el traslado de escombros.

Tabla 3.10 Presupuesto para traslado de escombros (Autores)

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS POPULARES ASENTADAS EN CERROS Y EN EL SUR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL - TRANSPORTE DE ESCOMBROS					
TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
Sector	Rubro	Unidad	Cantidad	P.unit	P.total
Bastión	Transporte de escombros	M3	4206	3.16	13,290.960
Trinitaria	Transporte de escombros	M3	42	3.16	132.720
				\$	13,423.680

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La importancia del presente proyecto radica en el hecho de que no se han concebido recientemente estudios de similares características en los sectores seleccionados, que han estado en constante cambio a lo largo de las últimas décadas.

Un punto importante de esta investigación es la recopilación y evidencia de las deficiencias constructivas que se manifiestan en las zonas estudiadas. Identificar las fallas que se cometen en la construcción nos permitió conocer concretamente qué es lo que está volviendo más vulnerable a las zonas marginales estudiadas. En consecuencia, el proyecto permite a futuro un planteamiento de qué hacer para evitar que los mismos errores se sigan llevando a cabo, y qué se podría realizar para dar solución a las construcciones que actualmente son vulnerables ante la ocurrencia del evento sísmico.

Desde el inicio del proyecto se planteó su alcance, considerando los recursos y principalmente el tiempo que se tendría para realizarse. Por consiguiente, se limitó al estudio de 220 construcciones, produciendo resultados muy relevantes de las áreas de estudio, pero que no logran evidenciar la situación a un nivel general de toda la ciudad de Guayaquil. Dicho esto, la actual investigación permite proseguir hacia una evaluación de la vulnerabilidad sísmica de áreas mucho más amplias y diversas de la ciudad captando un panorama más general de la vulnerabilidad sísmica en Guayaquil.

Las principales causas observadas que permiten la existencia de estructuras vulnerables a los terremotos en los sectores estudiados son: la falta de inspecciones por autoridades pertinentes, insuficientes recursos económicos, la informalidad, e improvisación de soluciones estructurales por parte de personas no calificadas para la construcción.

4.1 Conclusiones

1. El índice de vulnerabilidad sísmica calculado nos indica que el 35% de las edificaciones en Isla Trinitaria, mientras que el 23% en Bastión Popular, poseen una vulnerabilidad sísmica muy elevada. El potencial colapso según el cálculo de grado de daño para el sismo de diseño sería de apenas el 1% en Bastión frente al 70% en Trinitaria debido a que el primero mencionado

experimentaría una intensidad de VII mientras el segundo una intensidad de VIII. Por lo que se puede concluir que, pese a que ambos sectores no difieren demasiado en su índice de vulnerabilidad, las condiciones del lugar sobre el que se asientan las viviendas generan una gran brecha del grado de daño esperado entre Trinitaria y Bastión Popular.

2. En la zona analizada de Trinitaria, 76 estructuras presentan “potencial colapso” ante el sismo de diseño según la estimación de grado de daño efectuada. Consecuentemente, puede llegar a producirse 3505 m³ de escombros por colapsos generando una problemática ambiental y pudiendo costar alrededor de \$13423 el acarreo y depósito del material.
3. Los ensayos esclerométricos realizados en los distintos elementos estructurales, nos indican de manera aproximada, que menos de la mitad cumplieron con la resistencia mínima establecida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Por dicho motivo, se pudo evidencia la pobre resistencia existente en los elementos de las estructuras inspeccionadas.
4. Pese a guardar similitudes entre los problemas constructivos comunes observados, se evidenció deficiencias particulares de cada sector. En Isla Trinitaria se presenciaron mayor cantidad de viviendas de concreto ampliadas de manera inadecuada con pequeños perfiles metálicos (correas y/o perfiles “C”). Mientras que en Bastión Popular se encuentra más frecuentemente que en Trinitaria los problemas de columna corta, y muros sin apropiados drenajes.
5. Algunas viviendas presentan señales de gran deterioro y/o deficiencias constructivas importantes. Por lo tanto, estas viviendas son propensas a experimentar colapso parcial o completo, incluso sin la ocurrencia del sismo de diseño.
6. Una vez comparado el tipo de suelo que se encontró según las perforaciones realizadas en cada zona de estudio, podemos establecer que la zona de Bastión Popular inspeccionada no presenta riesgos en este ámbito, mientras que Isla Trinitaria posee estratos potencialmente licuables.

4.2 Recomendaciones

Llevado a cabo la estimación de vulnerabilidad sísmica y grado de daño de las zonas de estudio se pueden dar las siguientes recomendaciones respecto a futuras acciones que puedan llevarse a cabo en pro de solucionar las problemáticas de estos sectores:

- Impartir los criterios básicos de construcción a los propietarios, y constructores informales de cómo debe construirse y qué errores volverían más vulnerables sus viviendas y no pueden darse en la construcción.
- Constitución de una guía simple para la construcción, que se especialice en mostrar de forma clara y visual (por medio de fotografías y gráficos) los principales errores que deben evitar al momento de construir, y especialmente al momento de intentar llevar a cabo expansiones de sus viviendas.
- Por parte de las autoridades pertinentes, constituiría un gran aporte la inspección periódica de las áreas populares, monitoreando de esta manera todo tipo de acción en la construcción que esté en progreso, o que se haya realizado recientemente y pueda representar un potencial peligro. Adicionalmente constituir un plan de acción, para efectuar la readecuación de las viviendas que son propensas a colapsos, aún sin la ocurrencia del sismo de diseño.

Ante el colapso de estructuras y enormes cantidades de escombros, se da una problemática ambiental, para lo cual se enlistaron un grupo de recomendaciones para afrontar y reducir estas dificultades:

- Generación de estudios de las capacidades de las actuales escombreras, y rellenos sanitarios de la ciudad.
- Investigación de alternativas de nuevos lugares de depósito de escombros temporal o permanentemente.
- Llevar a cabo programas de reciclaje y recolección de escombros, reduciendo los volúmenes de escombros antes de su disposición final, y dándole un nuevo uso a los materiales reciclables, principalmente el acero.

BIBLIOGRAFÍA

ASCE/SEI 41-13 (2013) Evaluación sísmica y remodelación de edificios existentes

Barbat, A.H., & Pujades, L. (2004). Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico en zonas urbanas, Aplicación a Barcelona. Sísmica 2004, 6° Congreso Nacional de Sismología en Engenharia Sísmica, Guimaraes, Portugal 14-16 de Abril de 2004.

Bernardini, A, B. A. (2010, 2 julio). Vulnerabilità e previsione di danno a scala territoriale secondo una metodologia macrosismica coerente con la scala EMS-98. Recuperado 24 agosto, 2019, de <https://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/4060>

Chiriboga, M. I., Pillasagua, J. L. & Santos, E. (2000). Rendimiento de Equipo Pesado para la Explotación de una Cantera de Cielo Abierto.

Das, Braja M. (2013). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (4ta ed.). México D.F., ISBN: 978-607-519-373-1

El Universo. Accedido el 25 de mayo, 2019 desde <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/02/18/nota/7195268/cuatro-viviendas-evacuadas-mapasingue-oeste-hundimiento-tierra>

El Universo. Accedido el 25 de mayo, 2019 desde <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/03/14/nota/7232021/dos-recicladores-sepultados-deslizamiento-cerro>

El Universo. Accedido el 25 de mayo, 2019 desde <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/03/30/nota/7260002/dos-carros-destruidos-luego-colapso-vivienda-guayaquil>

FEMA P-154: Rapid Visual Screening for Potential Seismic Hazards, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

Ferreira, T., Maio, R., & Vicente, R. (2016). Seismic vulnerability assessment of the old city centre of Horta, Azores: calibration and application of a seismic vulnerability index

method. Bulletin Of Earthquake Engineering, 15(7), 2879-2899. doi: 10.1007/s10518-016-0071-9

Gestión de residuos sólidos en situaciones de desastre. (2003). Estados Unidos: OPS (Organización Panamericana de la Salud).

Giovinazzi S, Lagomarsino S (2002) A methodology for the vulnerability analysis of Built-up Areas. In: Lungu D, Wenzel F, Mouroux P, Tojo I (eds) Proc. of the international conference on earthquake loss estimation and risk reduction, vol. 2. Bucharest, Romania, pp 3–18, ISBN 973-85112–9-1

Giovinazzi S, Lagomarsino S (2004) A macroseismic model for the vulnerability assessment of buildings. In: Proc. 13th world conference on earthquake engineering. Vancouver, Canada.

GNDT-SSN. (1994). *Scheda di esposizione e vulnerabilità e di rilevamento danni di primo e secondo livello (murata e cemento armato)*. Gruppo Nazionale per La Difesa Dai Terremoti. Roma: Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma.

Grünthal, G. (1998). European macroseismic scale 1998 EMS-98. Luxembourg.

Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional (IGEPN). Accedido el 1 de junio, 2019 desde <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1312-informe-sismico-especial-n-8-2016>

Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional (IGEPN). Accedido el 1 de junio, 2019 desde <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/16479-triptico-sismos-generalidades/file>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC). Accedido el 25 de mayo, 2019 desde <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/guayas.pdf>

Lantada, N., Pujades, L., & Barbat, A. (2008). Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison. *Natural Hazards*, 51(3), 501-524. doi: 10.1007/s11069-007-9212-4

NEC, N. E. (2015). *Geotécnia y Cimentaciones*. Quito: Direccion de Comunicacion MIDUVI.

NEC, N. E. (2015). *Peligro sismico- Diseño sismoresistente*. Quito: Direccion de Comunicacion MIDUVI.

NEC, N. E. (2015). *Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m*. Quito: Direccion de Comunicacion MIDUVI.

Okada, Shigeyuki & Takai, Nobuo. (1999). Classifications of structural types and damage patterns of buildings for earthquake field investigation. *Journal of Structural and Construction Engineering*, AIJ. 524. 10.3130/aijs.64.65_5.

OPS. (1993). *Mitigation of disasters in health facilities: volume 4 - engineering issues. Evaluation and Reduction of Physical and Functional Vulnerability*. Retrieved from <http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/Mitigasalud/Mitigacion/Contenidos/english/>

PROYECTO RADIUS (1999). *Evaluación del peligro sísmico de guayaquil definición del sismo adoptado para el escenario sísmico de radius y evaluación de peligros colaterales*. Guayaquil.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT 2017). *Criterios para el manejo de los residuos de construcción y demolición generados por el sismo del 19 de septiembre para los estados de México, Morelos, Puebla y Ciudad de México*.

SIKA (2017) *Reforzamiento de estructuras de concreto, técnicas y materiales (4ta Ed.)*. Colombia

Silva, J. M. (2016). *Desenvolvimento de uma metodologia de Avaliação da Vulnerabilidade Sísmica de Edifícios em Betão Armado*. Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.

T.G. Sitharam, Naveen James, Chapter 19 - GIS Based Macrolevel Landslide Hazard Zonation Using , Newmark's Methodology, Editor(s): Pijush Samui, Dookie Kim, Chandan Ghosh, Integrating Disaster Science and Management, Elsevier, 2018, Pages 329-342, ISBN 9780128120569, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812056-9.00019-1>.

Vicente, R., Parodi, S., Lagomarsino, S., Varum, H., & Silva, J. (2010). Seismic vulnerability and risk assessment: case study of the historic city centre of Coimbra, Portugal. *Bulletin Of Earthquake Engineering*, 9(4), 1067-1096. doi: 10.1007/s10518-010-9233-3.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Normas usadas, referencias estudiadas y tabla de potencial de licuefacción

Parameters	Class C_{vi}				Weight p_i	Relative weight	
	A	B	C	D			
Group 1. Structural building system							
P1	Type of resisting system	0	5	20	50	0.75	46/100
P2	Quality of resisting system	0	5	20	50	1.00	
P3	Conventional strength	0	5	20	50	1.50	
P4	Maximum distance between walls	0	5	20	50	0.50	
P5	Number of floors	0	5	20	50	1.50	
P6	Location and soil conditions	0	5	20	50	0.75	
Group 2. Irregularities and interactions							
P7	Aggregate position and interaction	0	5	20	50	1.50	27/100
P8	Plan configuration	0	5	20	50	0.75	
P9	Height regularity	0	5	20	50	0.75	
P10	Wall facade openings and alignments	0	5	20	50	0.50	
Group 3. Floor slabs and roofs							
P11	Horizontal diaphragms	0	5	20	50	1.00	15/100
P12	Roofing system	0	5	20	50	1.00	
Group 4. Conservation status and other elements							
P13	Fragilities and conservation status	0	5	20	50	1.00	12/100
P14	Non-structural elements	0	5	20	50	0.50	

Figura A.1 Parámetros Asociados al Índice de Vulnerabilidad (Vicente et al., 2011)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo	
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP	
		Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM	
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC	
		Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	
		Menos de 5% finos ^b	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP	
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^e	CL	
		Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^e	ML	
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Límite líquido: secado	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
			Límite líquido: no secado	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
		Orgánico	Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH	
			Límite líquido: secado	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico				Pt	

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
^c $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.
^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Figura A.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (Das, 2013)

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1 —Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2 —Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3 —Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4 —Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5 —Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6 —Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Figura A.3 Tipo de Perfil de Suelo (NEC-SE-DS, 2015)

Building typology	Buildings in Barcelona (%)	Vulnerability classes*					
		A	B	C	D	E	F
Unreinforced masonry	M3.1: unreinforced masonry bearing walls with wooden slabs	27.5	○	■	○		
	M3.2: unreinforced masonry bearing walls with Masonry vaults	1.5	●	■	●		
	M3.3: unreinforced masonry bearing walls with composite steel and masonry slabs	27.6	○	■	●		
Reinforced concrete	M3.4: reinforced concrete slabs	18.8		●	■	○	
	RC3.2: concrete frames with unreinforced masonry infill walls with irregularly frames (i.e., irregular structural system, irregular infills, soft/weak story)	20.5		●	■	○	
Steel	S1: steel moment frames	1.7	○	●	■	○	
	S3: steel frames with unreinforced masonry infill walls		○	●	■	○	
Wood	S5: steel and RC composite systems	2.1				○	■ ●
	W: wood structures	0.3	○	●	■	●	

* ■ Most probable class; ● possible class; ○ unlikely class (exceptional cases)

Figura A.4 Matriz de tipología de construcción (Giovinazzi y Lagomarsino, 2002)

Tabla A.1 Tabla de Desarrollo de Potencial de Licuefacción (Autores)

z (m)	SUCS	δ	IP	LL	w%	FC%	σ _v	σ' _v	a (PGA)	N ₆₀	m	CN	N _{1 60} (cs)	α	β	rd	C _σ	K _σ	CRR	CRS	FS	POTENCIAL
0.5	SP	1.89	0	0	12	4	0.945	0.945	0.39	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	SPSM	1.78	0	0	18	5	2.78	2.78	0.39	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	SPSC	1.8	10	26	38	9	4.57	3.67	0.39	11	0.5	1.67771	18.1793	-0.0915	0.01215	1.01438	0.12457	1.1	0.18553	0.32021	0.5794	LICUABLE
3.5	ML	1.2	0	0	98	57	6.07	4.17	0.39	5	0.5	1.57392	3.83549	-0.1501	0.01885	1.00267	0.07191	1.06523	0.07959	0.36999	0.21512	LICUABLE
4.5	SP	1.89	0	0	78	2	7.615	4.715	0.39	25	0.5	1.48016	37.0041	-0.2149	0.02624	0.97787	0.29515	1.1	1.75142	0.40036	4.37463	NO LICUABLE
5.5	ML	1.2	0	0	95	87	9.16	5.26	0.39	7	0.5	1.40138	5.37307	-0.2855	0.03425	0.93878	0.07699	1.05196	0.08831	0.41443	0.21308	LICUABLE

APÉNDICE B

Modelo de ficha de evaluación, y matriz de cálculo de índice de vulnerabilidad sísmica

Address: _____
 Date: _____
 Sector: _____
 Building ID: _____
 **Elevation: _____
 Inspector: _____
 Building age: _____



1. GENERAL INFORMATION

Number of Stories	Material	*Use
1 <input type="checkbox"/>	Steel <input type="checkbox"/>	Residential <input type="checkbox"/>
2 <input type="checkbox"/>	Concrete <input type="checkbox"/>	Business <input type="checkbox"/>
≥ 3 <input type="checkbox"/>	Timber <input type="checkbox"/>	Emergency services <input type="checkbox"/>
_____	Mixed <input type="checkbox"/>	Public <input type="checkbox"/>
_____	_____	Education <input type="checkbox"/>
_____	_____	Other _____

2. STRUCTURAL SYSTEM

*Type of resisting system	Footing	Span Length
Frame structure <input type="checkbox"/>	Isolated <input type="checkbox"/>	Less than 5 m <input type="checkbox"/>
Flat slab + columns <input type="checkbox"/>	Continuous <input type="checkbox"/>	3-5 m <input type="checkbox"/>
Frame structure+infill masonry <input type="checkbox"/>	N/A <input type="checkbox"/>	More than 5 m <input type="checkbox"/>
Wood structure without bracing system <input type="checkbox"/>	Other _____	N/A <input type="checkbox"/>
Ring beam absent <input type="checkbox"/>	_____	_____

3. IRREGULARITIES

*Height regularity	Cantilever	Building location
Without irregularities <input type="checkbox"/>	None <input type="checkbox"/>	Slope <input type="checkbox"/>
Stories with different widths <input type="checkbox"/>	One side <input type="checkbox"/>	Plain <input type="checkbox"/>
Stories with different heights <input type="checkbox"/>	>1 side <input type="checkbox"/>	Plain on hill <input type="checkbox"/>
Soft story <input type="checkbox"/>	_____	_____
Short Column <input type="checkbox"/>	_____	_____
N/A <input type="checkbox"/>	_____	_____
Plan configuration	*Pounding	*Openings
Rectangle shape <input type="checkbox"/>	None <input type="checkbox"/>	Percent by area: Lintel presence:
Low irregularities <input type="checkbox"/>	One side <input type="checkbox"/>	<25% <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/>
Non-parallel frames <input type="checkbox"/>	Two sides - corner <input type="checkbox"/>	25%<A<50% <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
'L', 'I' and 'T' shape <input type="checkbox"/>	Two sides - row <input type="checkbox"/>	>50% <input type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/>
N/A <input type="checkbox"/>	Interstory alignmet: Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Minimum distance < 40 cm <input type="checkbox"/>
_____	_____	Windows and doors aligned:
_____	_____	Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> N/A <input type="checkbox"/>

4. CONSTRUCTION QUALITY

Construction quality	*Roofing system	Construction quality
Non-Formal <input type="checkbox"/>	Concrete slab <input type="checkbox"/>	A <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Formal <input type="checkbox"/>	Light (steel structure) <input type="checkbox"/>	B <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>
N/A <input type="checkbox"/>	Light (wood structure) <input type="checkbox"/>	_____
_____	Light unknown <input type="checkbox"/>	_____

Figura B.1 Ficha de inspección, Página 1 (Autores)

5. EXISTING DAMAGES

Settlement		Structural Damages		Non-Structural Damages	
Differential	<input type="checkbox"/>	No damage	<input type="checkbox"/>	No damage	<input type="checkbox"/>
Uniform	<input type="checkbox"/>	Minimum	<input type="checkbox"/>	Minimum	<input type="checkbox"/>
None	<input type="checkbox"/>	Moderate	<input type="checkbox"/>	Moderate	<input type="checkbox"/>
N/A	<input type="checkbox"/>	Severe	<input type="checkbox"/>	Severe	<input type="checkbox"/>

5. TESTS

**Concrete hammer test

6. OBSERVATIONS

Social Problems:

Additional hazards observed:

- A
- B
- C
- D

Additional notes:

7. ANNEXED

GENERAL PICTURE

SPECIFIC PICTURE

SPECIFIC PICTURE

SPECIFIC PICTURE

*These parameters can have several solutions (checks)

**These parameters are optionals

Figura B.2 Ficha de inspección, Página 2 (Autores)

Seismic Vulnerability Assessment Scoring Matrix							Relative Weight		
Parameter	Survey Data	Classification							
		A (0)	B (5)	C (20)	D (50)				
P1	Type of Resisting System	Part 1, Material	Special moment frames with detailing that meets or exceeds modern seismic code	Unreinforced masonry with bearing walls	Concrete Frame Structure + Infill Masonry	Flat Slab + Columns, Steel Frame Structure + Infill Masonry & Wood Structure w/out Bracing System; If Mixed Frame Structure + Infill Masonry (+10)	20%		
		Part 2, Type of Resisting System							
		Part 4, Roofing System						If Concrete Slab (-5)	
		Part 2, Type of Resisting System						If Ring Beam Absent (+15)	
P2	Building Position	Part 3, Pounding (#) & Relative Arrangement	2 sides, row	None	2 sides, corner	1 side	6%		
		Part 3, Pounding	If no interstory alignment (+20)						
		Part 3, Building Location, Soil Information	'A' soil in plain	'A' soil in infill; 'A' & 'B' soil in plain	'A' soil in slope; 'B' & 'C' soil in infill; 'D' & 'E' soil in plain	'F' soil; 'B' & 'C' soil in slope; 'D' & 'E' soil in infill or slope	10%		
P3	Height	Part 1, Number of Stories	1	2		≥3	4%		

Figura B.3 Matriz de asignación de ponderaciones utilizada, parámetros 1, 2, y 3 (autores)

P4	Plan Configuration	Part 3, Plan Configuration	Rectangle Shape		Low Irregularities	Non-Parallel/ High Irr.	4%
P5	Height Regularity	Part 3, Height Regularity	Without Irregularities		Stories with different widths or short columns	Both from class. C	4.5%
		Number of Stories Cantilevered	None		1 Story*	2 Stories*	4.5%
		Part 3, Cantilever			If 2 sides (+10)	If 2 sides (+10)	
P6	Soft Story/Opening	Part 3, Height Regularity, Soft Story	No Soft Story			Soft Story	7%
		Part 3, Openings (%)	<25%		25%≤A<50%	≥50%	5%
		Part 3, Openings (Lintel)	If openings do not have Lintels (+10)				
		Part 3, Openings	If Windows & Doors are not Aligned (+5)				
P7	Existing Damage	Part 5, Structural Damage	No damage	Hairline cracks in columns and beams of frame	Deep and widespread cracking in columns and beams and in	Spalling of concrete cover, exposed reinforcing rods	10%
		Part 5, Non-Structural Damage	No damage	Hairline cracks in few walls	Large and extensive cracks in walls	Serious failure of walls	5%
P8	Construction Quality	Part 4, Construction Quality	A	B	C	D	10%
		Part 2, Span Length	<3m		3m ≤ S < 5m	≥5m	7%
	Non-Structural Hazards	Part 6, Observations	Presence of large signs, water tanks, antenna, cell tower, AC units or other items which could become a hazard during an earthquake. Settlement.				3%
			A	B	C	D	

Figura B.4 Matriz asignación de ponderaciones utilizada, parámetros 4, 5, 6, 7 y 8 (autores)

APÉNDICE C

Columnas estratigráficas de sondeos

Z		PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	T. MSTR	ESTRATIG	#	PROFUNDIDAD	SUCS	ω %	PASANTE (%)	LÍMITES DE ATTERBERG			γ T/m ³	qu T/m ²	ϵ %	SPT		
											# 4	# 200	LL	LP	IP				N	N ₆₀
	1			Relleno: Arena color café amarillento, compacidad media			1	0,50 a 1,00								-	-	-	6-6-15 (21)	16
	2			Relleno: Arena color gris, compacidad media			2	1,50 a 2,00								-	-	-	10-9-10 (19)	14
	3			Relleno: Arena con arcilla, color gris, compacidad media			3	2,50 a 3,00								-	-	-	4-8-7 (15)	11
	4			Relleno: Arena con arcilla, color gris, compacidad suelta, con material orgánico			4	3,50 a 4,00								-	-	-	4-3-3 (6)	5
	5			Arena con arcilla, color gris, compacidad media, con material orgánico			5	4,50 a 5,00								-	-	-	5-13-16 (29)	25
	6			Arena con arcilla, color gris, compacidad media			6	5,50 a 6,00								-	-	-	4-4-4 (8)	7
				<i>Fin del Sondeo</i>																

OBSERVACIONES :

Dirección: Mapasingue Oeste Av. 7ma #448, Guayaquil, EC - Teléfonos: (04) 5014438 - 2013480 - email: info@geocimientos.com

Figura C.1 Sondeo 1 en Isla Trinitaria (Geocimientos, 2019)

FR-IT-CNS-03-01		Versión 02		25/03/2019		Hoja 1 de 1													
		PROYECTO :		Vulnerabilidad Sísmica ESPOL - U Colorado															
UBICACIÓN :		Isla Trinitaria, Guayaquil																	
SOLICITANTE :		-																	
FECHA :	23/7/2019	SONDEO		REVISADO POR :		Ing. Francisco Grau													
ORDEN No. :	-	2		COORDENADAS :		17M 618805 E 1,50 m. 9753025 S													
N. FREÁTICO :	1,50 m.																		
Z	PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	T. INSTR.	ESTRATIG	MUESTRA		SUCS	ω %	PASANTE (%)		LÍMITES DE ATTERBERG			γ T/m³	qu T/m³	ε %	SPT	
						#	PROFUNDIDAD			# 4	# 200	LL	LP	IP				N	N ₆₀
	1		Relleno: Arena color café amarillento, compacidad suelta		1	0,50 a 1,00												7-3-5 (8)	6
	2		Relleno: Arena color gris, compacidad suelta		2	1,50 a 2,00												8-5-1 (6)	5
	3		Relleno: Arena con arcilla, color gris, compacidad suelta		3	2,50 a 3,00												12-5-4 (9)	7
	4		Arcilla de alta plasticidad, color gris verdosa, consistencia muy blanda		4	3,50 a 4,00												1-1-1 (2)	2
	5		Arcilla de alta plasticidad, color gris verdosa, consistencia muy blanda		5	4,50 a 5,00												2-2-2 (4)	3
	6		Arcilla de alta plasticidad, color gris verdosa, consistencia muy blanda		6	5,50 a 6,00												4-4-5 (9)	8
			<i>Fin del Sondeo</i>																

OBSERVACIONES :

Dirección: Mapasingue Oeste Av. 7ma #448, Guayaquil, EC - Teléfonos: (04) 5014438 - 2013480 - email: info@geocimientos.com

Figura C.2 Sondeo 2 en Isla Trinitaria (Geocimientos, 2019)

FR-IT-CNS-03-01		Versión 02		25/03/2019		Hoja 1 de 1													
		PROYECTO :		Vulnerabilidad Sísmica ESPOL - U Colorado															
		UBICACIÓN :		Bastión Popular, Guayaquil															
		SOLICITANTE :		-															
FECHA :	1/7/2019	SONDEO		REVISADO POR :		Ing. Francisco Grau													
ORDEN No. :	-	1		COORDENADAS :		17M		618795		E									
N. FREÁTICO :	No se detectó			9769915		S													
Z	PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	T. MSTR	ESTRATIG	MUESTRA		SUCS	ω %	PASANTE (%)		LÍMITES DE ATTERBERG			γ T/m³	qu T/m²	ε %	SPT	
						#	PROFUNDIDAD			# 4	# 200	LL	LP	IP				N	N ₆₀
	1		ARENA arcillosa con grava, de compacidad muy densa y color café claro			1	0,50 a 1,00	SC	14	70	28	33	15	18	-	-	-	27-40-50 (90)	68
	2		ARENA arcillosa con grava, de compacidad muy densa y color café claro			2	1,50 a 2,00	SC	12	65	26	30	15	15	-	-	-	40-47-35 (82)	62
	3		ARENA arcillosa con grava, de compacidad muy densa y color café amarillento			3	2,50 a 3,00	SC	12	82	33	34	15	19	-	-	-	50 en 12 cm	
			<u>Fin del Sondeo</u>																

OBSERVACIONES :

Dirección: Mapasingue Oeste Av. 7ma #448, Guayaquil, EC - Teléfonos: (04) 5014438 - 2013480 - email: info@geocimientos.com

Figura C.3 Sondeo 1 en Bastión Popular (Geocimientos, 2019)

GEOCIMENTOS		FR-IT-CNS-03-01 Versión 02 25/03/2019 Hoja 1 de 1																	
Consultoría en Ingeniería Civil		PROYECTO :		Vulnerabilidad Sísmica ESPOL - U Colorado															
FECHA :		1/7/2019		SONDEO		REVISADO POR :		Ing. Francisco Grau											
ORDEN No. :		-		2		COORDENADAS :		17M		618799 E		9770021 S							
N. FREÁTICO :		No se detectó																	
Z	PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	T. MSTR	ESTRATIG	MUESTRA		SUCS	ω %	PASANTE (%)		LÍMITES DE ATTERBERG			γ T/m ³	qu T/m ²	ε %	SPT	
						#	PROFUNDIDAD			# 4	# 200	LL	LP	IP				N	N ₆₀
	1		GRAVA arcillosa con arena, de compacidad media y color café claro		1	0,50 a 1,00	GC	14	44	14	30	18	12	-	-	-	3-6-8 (14)	11	
	2		GRAVA mal graduada con arcilla con arena, de compacidad media y color café		2	1,50 a 2,00	GPGC	8	35	8	27	15	12	-	-	-	6-8-12 (20)	15	
	3		GRAVA arcillosa con arena, de compacidad muy densa y color café claro		3	2,50 a 3,00	GC	15	48	14	26	15	11	-	-	-	50 en 15cm		
			<u>Fin del Sondeo</u>																

OBSERVACIONES :

Dirección: Mapasingue Oeste Av. 7ma #448, Guayaquil, EC - Teléfonos: (04) 5014438 - 2013480 - email: info@geocimientos.com

Figura C.4 Sondeo 2 en Bastión Popular (Geocimientos, 2019)

FR-IT-CNS-03-01		Versión 02		25/03/2019		Hoja 1 de 1													
		PROYECTO :		Vulnerabilidad Sísmica ESPOL - U Colorado															
UBICACIÓN :		Bastión Popular, Guayaquil																	
SOLICITANTE :		-																	
FECHA :	1/7/2019	SONDEO		REVISADO POR :		Ing. Francisco Grau													
ORDEN No. :	-	3		COORDENADAS :		17M	618893	E											
N. FREÁTICO :	No se detectó						9770046	S											
Z	PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	T. METR	ESTRATIG	MUESTRA		SUCS	ω %	PASANTE (%)		LÍMITES DE ATTERBERG			γ T/m³	qu T/m²	ε %	SPT	
						#	PROFUNDIDAD			# 4	# 200	LL	LP	IP				N	N ₆₀
	1		ARCILLA de alta plasticidad con grava, de consistencia rígida y color café			1	0,50 a 1,00	CH	15	87	73	50	19	31	-	-	-	11-8-6 (14)	11
	2		ARCILLA de baja plasticidad con grava, de consistencia media y color café amarillento			2	1,50 a 2,00	CL	17	88	71	29	17	12	-	-	-	4-3-7 (10)	8
	3		GRAVA arcillosa con arena, de compacidad muy densa y color café			3	2,50 a 3,00	GC	9	64	38	33	16	17	-	-	-	50 en 14cm	
			<u>Fin del Sondeo</u>																

OBSERVACIONES :

Dirección: Mapasingue Oeste Av. 7ma #448, Guayaquil, EC - Teléfonos: (04) 5014438 - 2013480 - email: info@geocimientos.com

Figura C.5 Sondeo 3 en Isla Trinitaria (Geocimientos, 2019)

Tabla C.1 Localización de sondeos en Isla Trinitaria (Geocimientos, 2019)

CÓDIGO	COORDENADAS UTM			NIVEL FREÁTICO (m)	PROFUNDIDAD (m)
	ZONA	NORTE	ESTE		
S1	17M	9753009 S	618576 E	1.60	6.0
S2	17M	9753025 S	618805E	1.50	6.0

Tabla C.2 Localización de sondeos en Bastión Popular (Geocimientos, 2019)

CÓDIGO	COORDENADAS UTM			NIVEL FREÁTICO (m)	PROFUNDIDAD (m)
	ZONA	NORTE	ESTE		
S1	17M	9769915 S	618795 E	No se detectó	3.0
S2	17M	9770021 S	618799 E	No se detectó	3.0
S3	17M	9770046 S	618893 E	No se detectó	3.0

APÉNDICE D

Análisis de precios unitarios

Nombre del Oferente:	William Loja					
Proyecto:	Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas Populares Asentadas en Cerros y en el Sur de la Ciudad de Guayaquil					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
ID Rubro:	1.00			Unidad	ml	
Detalle:	Encofrado y desencofrado de columna cuadrada 40 X 40 cm					
Rendimiento:	2	Unidades/hora		0.500	Horas/unid	
EQUIPOS						
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	Herramienta menor					0.230
SUBTOTAL EQUIPOS (EQ.)						0.2300
MANO DE OBRA						
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	Peón	0.8000	3.5800	2.8640	0.5000	1.4320
	Carpintero	0.4000	3.6200	1.4480	0.5000	0.7240
	Maestro mayor	0.0800	4.0100	0.3208	0.5000	0.1604
SUBTOTAL MANO DE OBRA (MO)						2.3164
MATERIALES						
	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
	Tabla dura de encofrado 0.4 m		u	1.6700	1.1130	1.85871
	Tiras		u	0.5000	0.0800	0.04
	Clavos		Kg	0.1700	2.0000	0.34
	Pingos		m	0.5000	0.0833	0.04165
SUBTOTAL MATERIALES (MA.)						2.2804
TRANSPORTE						
	DESCRIPCIÓN	DMT	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL TRANSPORTE (TR.)						-
		1	COSTO DIRECTO(CD = EQ+MO+MA TOTAL CD:			4.8268
		2	GASTOS GENERALES 6.00% x (CD)			0.2896
		3	UTILIDAD (UT) 4.00% x (CD)			0.1931
		4	OTROS INDIRECTOS 10.00% x (CD)			0.4827
		5	COSTO TOTAL DEL RUBRO GG+UT+OI+C			5.7921
			VALOR OFERTADO			5.79
**VALOR OFERTADO NO INCLUYE IVA						
LUGAR Y FECHA	GUAYAQUIL, AGOSTO/2019					
			FIRMA			

Figura D.1 Análisis de precios unitarios de encofrado y desencofrado (Autores)

Nombre del Oferente:	William Loja					
Proyecto:	Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas Populares Asentadas en Cerros y en el Sur de la Ciudad de Guayaquil					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
ID Rubro:	2.00			Unidad	ml	
Detalle:	Vertido de hormigón					
Rendimiento:	1.82	Unidades/hora		0.549	Horas/unid	
EQUIPOS						
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	Concretera	1.00	5.000	5.000	0.549	2.745
	Vibrador	1.00	2.500	2.500	0.549	1.373
	Andamio metálico	1.00	0.350	0.350	0.549	0.192
	Herramienta menor					0.230
	SUBTOTAL EQUIPOS (EQ.)					4.5397
MANO DE OBRA						
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	Peón	0.4000	3.5800	1.4320	0.5490	0.7862
	Operador de equipo liviano	1.0000	4.0100	4.0100	0.5490	2.2015
	Maestro mayor	0.1000	4.0100	0.4010	0.5490	0.2201
	SUBTOTAL MANO DE OBRA (MO)					3.2078
MATERIALES						
	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
	Cemento		Kg	25.2000	0.0833	2.09916
	Arena		m3	0.0207	0.0800	0.001656
	Ripio		m3	0.0415	1.1130	0.0461895
	Agua		m3	0.0163	2.0000	0.0326
	Sikadur Epoxi		Kg	0.4800	24.0000	11.52
	SUBTOTAL MATERIALES (MA.)					13.6996
TRANSPORTE						
	DESCRIPCIÓN	DMT	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
	SUBTOTAL TRANSPORTE (TR.)					-
		1	COSTO DIRECTO (CD = EQ+MO+MA+ TR.)			21.4471
		2	GASTOS GENERALES (GG) 6.00% x (CD)			1.2868
		3	UTILIDAD (UT) 4.00% x (CD)			0.8579
		4	OTROS INDIRECTOS (OI) 10.00% x (CD)			2.1447
		5	COSTO TOTAL DEL RUBRO (GG+UT+OI+CD)			25.7365
			VALOR OFERTADO			25.74
**VALOR OFERTADO NO INCLUYE IVA						
LUGAR Y FECHA	GUAYAQUIL, AGOSTO/2019					
			FIRMA			

Figura D.2 Análisis de precios unitarios de vertido de hormigón (Autores)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
ID Rubro:	3.00			Unidad	ml	
Detalle:	Acero de refuerzo fy=4200Kg/cm2					
Rendimiento:	2.33	Unidades/hora			0.429	Horas/unid
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	C	COSTO
Cortadora-Dobladora	1.00	1.600	1.600	0.429		0.687
SUBTOTAL EQUIPOS (EQ.)						0.6867
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	C	COSTO
Inspector de obra	0.0100	4.0200	0.0402	0.4292		0.0173
Peón	0.0300	3.5800	0.1074	0.4292		0.0461
Fierrero	0.0100	3.6200	0.0362	0.4292		0.0155
SUBTOTAL MANO DE OBRA (MO)						0.0789
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.		COSTO
Acero longitudinal d16		m	9.6000	1.8067		17.34432
Acero transversal d10		m	5.9232	0.7056		4.17940992
Alambre de amarre		Kg	0.1050	1.0000		0.105
SUBTOTAL MATERIALES (MA.)						21.6287
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	DMT	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA		COSTO
SUBTOTAL TRANSPORTE (TR.)						
	1	COSTO DIRECTO(CD = EQ+MO+MA· TOTAL CD:				22.3943
	2	GASTOS GENERALES 6.00% x (CD)				1.3437
	3	UTILIDAD (UT) 4.00% x (CD)				0.8958
	4	OTROS INDIRECTOS 10.00% x (CD)				2.2394
	5	COSTO TOTAL DEL RUBRO GG+UT+OI+C				26.8732
		VALOR OFERTADO				26.87
**VALOR OFERTADO NO INCLUYE IVA						
LUGAR Y FECHA	GUAYAQUIL, AGOSTO/2019					
	FIRMA					

Figura D.3 Análisis de precios unitarios de acero de refuerzo para columnas (Autores)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
ID Rubro:	4.00			Unidad	ml		
Detalle:	Masilla para sellado de fisuras 5mm						
Rendimiento:	5	Unidades/hora			0.200	Horas/unid	
EQUIPOS							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
Herramienta menor					0.230		
SUBTOTAL EQUIPOS (EQ.)						0.2300	
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
Albañil	0.8000	3.6200	2.8960	0.2000	0.5792		
Inspector de obra	0.1000	4.0200	0.4020	0.2000	0.0804		
SUBTOTAL MANO DE OBRA (MO)						0.6596	
MATERIALES							
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
Sikacryl Premium		Kg	0.0417	6.6700	0.278139		
SUBTOTAL MATERIALES (MA.)						0.2781	
TRANSPORTE							
DESCRIPCIÓN	DMT	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
SUBTOTAL TRANSPORTE (TR.)						-	
	1	COSTO DIRECTO(CD = EQ+MO+MA)				TOTAL CD:	1.1677
	2	GASTOS GENERALES				6.00% x (CD)	0.0701
	3	UTILIDAD (UT)				4.00% x (CD)	0.0467
	4	OTROS INDIRECTOS				10.00% x (CD)	0.1168
	5	COSTO TOTAL DEL RUBRO				GG+UT+OI+C	1.4013
		VALOR OFERTADO					1.40
**VALOR OFERTADO NO INCLUYE IVA							
LUGAR Y FECHA	GUAYAQUIL, AGOSTO/2019						
FIRMA							

Figura D.4 Análisis de precios unitarios de sellado de fisuras (Autores)

Nombre del Oferente:	William Loja					
Proyecto:	Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas Populares Asentadas en Cerros y en el Sur de la Ciudad de Guayaquil					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
ID Rubro:	5.00			Unidad	m3	
Detalle:	Transporte de escombros (Distancia máxima de 45 km)					
Rendimiento:	79.75	Unidades/hora			0.013	Horas/unid
EQUIPOS						
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	Volqueta de capacidad 12 m3	6.0000	35.0000	210.0000	0.0125	2.6332
SUBTOTAL EQUIPOS (EQ.)						2.6332
MANO DE OBRA						
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
SUBTOTAL MANO DE OBRA (MO)						
MATERIALES						
	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
SUBTOTAL MATERIALES (MA.)						
TRANSPORTE						
	DESCRIPCIÓN	DMT	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL TRANSPORTE (TR.)						-
		1	COSTO DIRECTO(CD = EQ+MO+MA+T)			TOTAL CD: 2.6332
		2	GASTOS GENERALES			6.00% x (CD) 0.1580
		3	UTILIDAD (UT)			4.00% x (CD) 0.1053
		4	OTROS INDIRECTOS (I)			10.00% x (CD) 0.2633
		5	COSTO TOTAL DEL RUBRO			GG+UT+OI+C 3.1599
			VALOR OFERTADO			3.16
**VALOR OFERTADO NO INCLUYE IVA						
LUGAR Y FECHA	GUAYAQUIL, AGOSTO/2019					
FIRMA						

Figura D.5 Análisis de precios unitarios de transporte de escombros (Autores)