

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE SUBSIDENCIAS
DE SUELOS Y SISMO USANDO LÓGICA DIFUSA SECTOR
SOLANDA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MENCIÓN ESTRUCTURAS**

CRISTIAN JAVIER AGUAIZA JARAMILLO

cristianaguaiza@gmail.com

DIRECTOR: MSc. ING. EDGAR DAVID MORA MARTÍNEZ

edgar.mora@epn.edu.ec

Quito, Noviembre 2020

DECLARACIÓN

Yo, Cristian Javier Aguaiza Jaramillo, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

CRISTIAN J. AGUAIZA JARAMILLO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Cristian Javier ~~Aguaiza~~ Jaramillo Moreno, bajo mi supervisión.

MSc. ING. EDGAR DAVID MORA MARTÍNEZ

DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi madre Narcisa, mi hermano Alex, mi madre putativa Zoila y toda mi familia, que han sido mi motor con su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A mi madre por todo su trabajo y dedicación que me brinda, quien a pesar de las circunstancias nunca dejo de luchar por su hijo.

A mi familia y seres queridos por sus consejos, enseñanzas y dedicación que me brindaron, con los cuales nunca me dejaron desfallecer a pesar de los problemas.

Un especial agradecimiento a mi director de tesis MSc. Ing Edgar David Mora por su paciencia, conocimiento y dedicación que otorgo en este proyecto, sin su ayuda no hubiese sido posible cumplir esta meta.

A mis amigos los “chichicos” quienes hicieron que esta etapa de mi vida sea más amena, con sus bromas y ocurrencias tanto en los buenos y malos momentos.

A la Escuela Politécnica Nacional, la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental y sus docentes quienes me formaron como persona y profesional a través de sus valores y conocimientos.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FOTAGRAFÍAS	XV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	3
1.4 ALCANCE	4
1.5 JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO II.....	7
2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	7
2.1. LOCALIZACIÓN	7
2.2 POBLACIÓN.....	8
2.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA CONFORMACIÓN DEL BARRIO SOLANDA	8
2.4 TIPOS DE VIVIENDA DEL BARRIO SOLANDA	10
2.5 DISPOSICIÓN DE LAS VIVIENDAS EN EL SECTOR.....	11

2.6 HIDROGRAFÍA.....	13
CAPÍTULO III.....	14
3 MARCO TEÓRICO	14
3.1 RIESGO	14
3.2 AMENAZA	14
3.2.1 AMENAZA POR SUBSIDENCIA	15
3.2.2 AMENAZA SÍSMICA	18
3.3 VULNERABILIDAD	20
3.4 GESTIÓN DEL RIESGO.....	20
3.4.1 PREVENCIÓN	21
3.4.2 MITIGACIÓN.....	21
3.5 LÓGICA DIFUSA	22
3.5.1 CONJUNTOS DIFUSOS	22
3.6 MACHINE LEARNING	23
3.7 VULNERABILIDAD SÍSMICA	23
3.7.1 PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES DEPENDIENTES DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	24
CAPÍTULO IV	29
4 MARCO METODOLÓGICO	29
4.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN	29
4.1.1 DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE	29
4.1.2 CONSTRUCCIÓN DE LA ENCUESTA	29
4.2 TRABAJO TÉCNICO Y DE CAMPO.....	33
4.2.1 PLANIFICACIÓN DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	33
4.2.2 PROBLEMÁTICA.....	35
4.2.3 CARACTERIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES.....	36
4.2.4 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES Y SECCIONES.....	36
4.2.5 MODELO COMPUTACIONAL DE LAS ESTRUCTURAS.....	41

4.2.6 CÁLCULO DE CARGAS	52
4.2.7 PONDERACIÓN DE VALORES PARA VARIABLES DE LA ENCUESTA	60
4.2.8 RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN LAS ENCUESTAS	77
4.2.9 VULNERABILIDAD CON MACHINE LEARNING Y LÓGICA FUZZY	84
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	97
4.3.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO	97
4.3.2 GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO.....	109
4.3.3 MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	113
CAPÍTULO V	119
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
5.1 CONCLUSIONES	119
5.2 RECOMENDACIONES.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXOS.....	127
ANEXO I: LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO	128
ANEXO II: PERFIL GEOTÉCNICO Y ESTRATIGRÁFICO SECTOR SOLANDA	138
ANEXO III: EJEMPLOS DE ENTRENAMIENTO PARA VULNERABILIDAD POR SUBSIDENCIA DE SUELO Y SISMO.....	140
ANEXO IV: RESULTADOS NIVEL DE RIESGO PARA SUBSIDENCIAS Y SISMO MANZANA A Y B.....	145
ANEXO V: ALGORITMO	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Solanda sector 1	7
Figura 2 Población-vivienda vs censos barrio Solanda	8
Figura 3 Plano de lotización programa Solanda sector 1	11
Figura 4 Modelos de vivienda originales en Solanda	12
Figura 5 Esquema de volumen vertical estado original y actual	13
Figura 6 Mapa hidrográfico del sur de Quito. (El círculo rojo representa la zona de estudio)	13
Figura 7 Subsistencia por erosión.....	16
Figura 8 Subsistencia por vibraciones	16
Figura 9 Subsistencia por extracción de agua o fluidos	17
Figura 10 Subsistencia por hidrocompactación.....	18
Figura 11 Subsistencia tectónica	18
Figura 12 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z	19
Figura 13 Gestión del riesgo de desastres	21
Figura 14 Lógica booleana y difusa.....	23
Figura 15 Opciones de desarrollador formulario electrónico ODK Build	32
Figura 16 Instalación y características de app ODK Collect	32
Figura 17 Vinculación ODK Build y app ODK Collect	33
Figura 18 Zona de estudio por manzanas	34
Figura 19 Ruta del Metro de Quito y zona de estudio.....	34
Figura 20 Crecimiento vertical de edificaciones sector Solanda	35
Figura 21 Invasión de los pasajes peatonales por las edificaciones.....	36
Figura 22 Especificaciones técnicas de materiales usados en el programa de vivienda Solanda.....	37
Figura 23 Esfuerzo de fluencia del acero (Fy)	38

Figura 24 Configuración losa nervada.....	39
Figura 25 Altura de vigas	40
Figura 26 Dimensiones de muretes.....	41
Figura 27 Variación del módulo de Young dinámico (izquierda) y estático (derecha) en función del contenido de áridos. E_c determinado mediante resonancia longitudinal siguiendo el procedimiento ASTM C215.	42
Figura 28 Modelación losa nervada	44
Figura 29 Diagonales equivalentes ubicados en los pórticos	44
Figura 30 Tipo y análisis de link	45
Figura 31 Curvas de fragilidad para mampostería de bloque	46
Figura 32 Curvas de fragilidad en fuerza (parametrizadas) para mampostería de bloque.....	47
Figura 33 Curva de capacidad mampostería.....	48
Figura 34 Cuadro de columnas proyecto Solanda.....	52
Figura 35 Vista en planta losa nervada 1 m2	53
Figura 36 Aceleración a nivel del suelo en el sector de estudio	57
Figura 37 Espectro de diseño (SISQuito).....	58
Figura 38 Evolución del daño estructural en muros de mampostería confinada	62
Figura 39 Nivel de daño en paredes de mampostería para 1 eje asentados MZ A vivienda de 2 pisos.....	63
Figura 40 Nivel de daño en paredes de mampostería para 2 ejes asentados MZ A vivienda de 2 pisos.....	64
Figura 41 Nivel de daño en paredes de mampostería para un eje asentado MZ A vivienda de 4 pisos.....	64
Figura 42 Nivel de daño en paredes de mampostería para 2 ejes asentados MZ A vivienda de 4 pisos.....	65

Figura 43 Nivel de daño en paredes de mampostería para un eje asentado MZ B vivienda de 2 pisos.....	66
Figura 44 Nivel de daño en paredes de mampostería para 2 ejes asentados MZ B vivienda de 2 pisos.....	66
Figura 45 Nivel de daño en paredes de mampostería para un eje asentado MZ B vivienda de 4 pisos.....	67
Figura 46 Nivel de daño en paredes de mampostería para 2 ejes asentados MZ B vivienda de 4 pisos.....	68
Figura 47 Curva de capacidad, de demanda y punto de desempeño para vivienda de 2 pisos MZA	71
Figura 48 Curva de capacidad, de demanda y punto de desempeño para vivienda de 4 pisos MZA	72
Figura 49 Curva de capacidad, de demanda y punto de desempeño para vivienda de 2 pisos MZB	73
Figura 50 Curva de capacidad, de demanda y punto de desempeño para vivienda de 4 pisos MZB	74
Figura 51 Niveles de daño de acuerdo a criterios de aceptación	75
Figura 52 Formalidad de las edificaciones MZ A.....	77
Figura 53 Porcentaje formalidad de las edificaciones MZ A	78
Figura 54 Número de pisos MZ A.....	78
Figura 55 Porcentaje número de pisos MZ A	79
Figura 56 Sistema estructural MZ A	79
Figura 57 Dimensiones de columnas MZ A.....	80
Figura 58 Porcentaje dimensiones de columnas MZ A.....	80
Figura 59 Formalidad de las edificaciones MZ B.....	81
Figura 60 Porcentaje formalidad de las edificaciones MZ B	81
Figura 61 Número de pisos MZ B.....	82
Figura 62 Porcentaje número de pisos MZ B	82

Figura 63 Sistema estructural MZ B	83
Figura 64 Dimensiones de columnas MZB	83
Figura 65 Porcentaje dimensiones de columnas MZ B.....	84
Figura 66 Precisión usando k fold cross-validation y coeficiente kappa	87
Figura 67 Metodología usada en el Machine Learning	89
Figura 68 Vulnerabilidad por subsidencias de suelos para diferentes niveles de daño MZ A	91
Figura 69 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por subsidencias de suelo MZ A	91
Figura 70 Vulnerabilidad por subsidencias de suelos para diferentes niveles de daño MZ B	92
Figura 71 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por subsidencias de suelo MZ B	92
Figura 72 Vulnerabilidad por sismo MZ A.....	93
Figura 73 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por sismo MZ A	94
Figura 74 Vulnerabilidad por sismo MZ B.....	94
Figura 75 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por sismo MZ B	95
Figura 76 Vulnerabilidad por sismo en viviendas previamente afectadas por subsidencias de suelo MZ A	95
Figura 77 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por sismo previamente afectadas por subsidencias de suelo MZ A.....	96
Figura 78 Vulnerabilidad por sismo en viviendas previamente afectadas por subsidencias de suelo MZ B	96
Figura 79 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por sismo previamente afectadas por subsidencias de suelo MZ B.....	97
Figura 80 Etapas del proceso de evaluación del riesgo	98

Figura 81 Amenaza por subsidencias de suelo MZ A y B	102
Figura 82 Mapa de amenaza sísmica del Ecuador	103
Figura 83 Riesgo por subsidencias de suelo MZ A y B	106
Figura 84 Porcentaje y número de viviendas que presentan riesgo por subsidencias de suelo MZ A y B.....	107
Figura 85 Riesgo por sismo MZ A y B	108
Figura 86 Porcentaje y número de viviendas que presentan riesgo por sismo MZ A y B	108
Figura 87 Proceso de creación del Riesgo-Desastre	109
Figura 88 Procesos clave o misionales de la Gestión del Riesgo de Desastre.....	110
Figura 89 Gestión del riesgo del desastre sector Solanda	112
Figura 90 Enchapado de paredes	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de población y vivienda barrio Solanda.....	8
Tabla 2 Número de lotes y viviendas programa Solanda	9
Tabla 3 Distribución de los tipos de lotes según su ubicación Solanda-sector 1	10
Tabla 4 Tipos de subsidencia.....	15
Tabla 5 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada	20
Tabla 6 Encuesta del riesgo ante subsidencias de suelo	30
Tabla 7 Encuesta de riesgo ante sismo sector Solanda	31
Tabla 8 Dimensiones de columnas	38
Tabla 9 Funciones de probabilidad y parámetros para variables.....	39
Tabla 10 Esfuerzo de compresión por murete.....	41
Tabla 11 Resistencia a la compresión del murete	41
Tabla 12 Propiedades Mecánicas del Hormigón	42
Tabla 13 Propiedades Mecánicas Acero de Refuerzo.....	43
Tabla 14 Desplazamiento por niveles de daño mampostería	47
Tabla 15 Fuerza por niveles de daño mampostería	47
Tabla 16 Valores de balasto.....	50
Tabla 17 Coeficientes de balasto	51
Tabla 18 Cálculo peso losa nervada	53
Tabla 19 Cálculo peso enlucido y masillado losa	53
Tabla 20 Peso final losa	54
Tabla 21 Cálculo del peso de mampostería	54
Tabla 22 Cálculo del peso de masillado	54
Tabla 23 Resumen de carga muerta por mampostería y masillado.....	55
Tabla 24 Carga viva.....	55
Tabla 25 Resumen carga muerta y viva	55
Tabla 26 Coordenadas de las Viviendas	57

Tabla 27 Periodo de Vibración Viviendas.....	59
Tabla 28 Parámetros para el cálculo del corte basal.....	60
Tabla 29 Representación gráfica diferentes niveles de daño	62
Tabla 30 Asentamientos máximos y mínimos	68
Tabla 31 Participación modal de los modos fundamentales de las cuatro viviendas .	70
Tabla 32 Ponderación de posible daño para subsidencias de suelo	76
Tabla 33 Ponderación de posible daño para sismo	76
Tabla 34 Nivel de daño de acuerdo a la vulnerabilidad asignado en "R"	86
Tabla 35 Ejemplo de entrenamiento para subsidencia de suelo.....	86
Tabla 36 Ejemplo de entrenamiento para sismo previamente afectado por subsidencias	86
Tabla 37 Nivel de amenaza.....	98
Tabla 38 Asignación de niveles de vulnerabilidad para subsidencias de suelo y sismo	104
Tabla 39 Resultado de la combinación de amenaza y vulnerabilidad como resultado (Riesgo)	104
Tabla 40 Evaluación para el riesgo de acuerdo con los niveles de vulnerabilidad y amenaza para subsidencias de suelo	105
Tabla 41 Evaluación para el riesgo de acuerdo a los niveles de vulnerabilidad y amenaza para sismo.....	105

ÍNDICE DE FOTAGRAFÍAS

Fotografía 1 Pasajes peatonales originales.....	9
Fotografía 2 Informalidad	24
Fotografía 3 Incompatibilidad de materiales	25
Fotografía 4 Piso blando	26
Fotografía 5 Golpeteo	27
Fotografía 6 Columna corta.....	28
Fotografía 7 Afectación por subsidencias de suelo	69
Fotografía 8 Interrelación de estructuras adyacentes.....	69
Fotografía 9 Nivel de amenaza igual a 1 (baja) edificación evaluada representada dentro del rectángulo rojo.....	99
Fotografía 10 Nivel de amenaza igual a 2 (media) aparición de fisuras diagonales	100
Fotografía 11 Nivel de amenaza igual a 2 (media) causado por el aumento de pisos en viviendas adyacentes.....	100
Fotografía 12 Nivel de amenaza igual a 3 (alta) representado por la aparición de grietas y la degradación de la rigidez y resistencia	101

RESUMEN

El presente trabajo de titulación propone la realización de una guía que permita la evaluación del riesgo producido por subsidencias de suelo y sismo que afecta a las viviendas en el sector de Solanda. Para esto se optó por una nueva metodología que permita reducir la incertidumbre de los datos a recolectar y abarque el uso de herramientas computacionales como el Machine Learning (Aprendizaje Automatizado) y la Lógica Difusa que son descritas por medio de un algoritmo creado en el software libre R.

La evaluación del riesgo de las viviendas se realizó con la implementación de una encuesta definida por la experiencia de estudios ya realizados en el sector y las características que afectan a las diferentes estructuras. Una correcta valoración del riesgo tiene como dificultades la recolección y análisis de datos, para minimizar estas dificultades se utilizó el Machine Learning, que permite a las máquinas (ordenadores) aprender datos, recopilar información, identificar patrones y tomar decisiones con la menor intervención humana posible. La máquina aprende a través de ejemplos de entrenamiento que fueron realizados a partir de la experiencia de profesores de la Escuela Politécnica Nacional y validados con modelos computacionales.

La comprobación de los ejemplos de entrenamiento se realizó con la modelación y análisis no lineal de cuatro viviendas del sector, encontrando su desempeño y los posibles niveles de daño de las estructuras, esto permitió realizar una ponderación de las variables definidas en la encuesta. Realizado este análisis y conociendo que los ejemplos de entrenamientos fueron basados en criterios con incertidumbre, se optimizó los resultados finales a través de la Lógica Difusa, esta teoría es un método de razonamiento aproximado la cual intenta emular el razonamiento humano, a partir del procesamiento de información imprecisa hacia una respuesta o conclusión.

ABSTRACT

In the present project will be proposed a guide that allows the evaluation of the risk produced by soil subsidence and earthquake that affects the houses in the sector of Solanda. The used a new methodology was chosen to reduce the uncertainty of the data to be collected and to include the use of computational tools such as Machine Learning and the fuzzy theory that are described by an algorithm created in the free software R.

The risk assessment of the houses was carried with the implementation of a survey defined by the experience of studies in the sector and the characteristics that affect the different structures. A correct risk assessment has as difficulties the collection and analysis of data, to minimize these difficulties was used the Machine Learning, which allows the machines (computers) to learn data, gather information, identify patterns and make decisions with minimal human intervention.

The machine learns through training examples that made from the experience of teachers from the National Polytechnic School and validated with computer models and non-linear analysis of four homes in the sector.

To conclude, the study includes a comprehensive risk management plan with possible mitigation measures for different risk levels in the sector.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El Distrito Metropolitano de Quito se encuentra ubicado en una zona donde la presencia de amenazas naturales como terremotos, subsidencias de suelo, erupción de volcanes, inundaciones, etc. El riesgo que se origina de las amenazas naturales tuvo un crecimiento de forma significativa en los últimos años especialmente en países medios y bajos ingresos como es el caso del Ecuador (Trelles & Rodríguez, 2018), por este motivo es necesario el desarrollo de metodologías que permitan evaluar el nivel de afectación a la que se encuentra expuesta la población y sus bienes.

Las diferentes secretarías que manejan la Gestión de Riesgos en el Distrito Metropolitano de Quito, ubican al sector de Solanda como una área que necesita la intervención y evaluación inmediata del riesgo que afecta a la zona, para esto se desarrolló un Plan Integral de Gestión de Riesgos enfocándose especialmente en la situación actual de las viviendas del sector (DMQ, 2015).

El Plan Integral de Gestión de Riesgos tiene como objetivo conocer las amenazas presentes en el sector y la vulnerabilidad a la que se encuentran expuestas las viviendas, para lograr este objetivo se necesita la elaboración de una encuesta donde se pueda tener las características físicas de cada estructura con el fin de obtener una evaluación correcta de la vulnerabilidad. La ejecución de este proceso hace que se tenga una cierta incertidumbre sobre la información levantada, lo que lleva a tener resultados no deseados.

El análisis Multi-criterios basado en el método de la lógica difusa es la mejor forma de evaluar el riesgo, ya que este método permite tomar decisiones similares a como lo haría un humano, evaluando variables y el grado de pertenencia de estas (Malczewski & Rinner, 2015) y el Machine Learning permitirá optimizar los resultados a través de

ejemplos de entrenamiento realizado por el conocimiento y experiencia de expertos (Carreño, Cardona, & Barbat, 2011).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En diferentes zonas sísmicas se ha construido estructuras con códigos sísmicos antiguos o sin ningún criterio sismo resistente. Esto ha provocado que muchas edificaciones estén expuestas a sufrir diferentes niveles de daño durante la presencia de un sismo (Carreño et al., 2014). Para evitar estos daños es necesario realizar un diagnóstico del nivel de riesgo y sus factores, para esto se desarrolló una guía que ayuda a la evaluación del riesgo a partir de una evaluación detallada (encuesta) que permita caracterizar los posibles daños estructurales y no estructurales, sino también los efectos locales del suelo (Carreño et al., 2014). Para este caso estudio se desarrolló una guía de evaluación del riesgo subsidencias de suelo y sismo en el sector de Solanda.

En 1976, cerca de 150 hectáreas de la Hacienda Marqueza de Solanda fueron donadas a la Fundación Mariana de Jesús, esta entidad y la Junta Nacional de la Vivienda y con cooperación del Banco Nacional de la Vivienda inició la creación de la Urbanización Solanda, con el propósito que las viviendas a construir sean de carácter social (Ilustre Consejo Municipal de Quito, 1983).

El área de estudio comprende un conjunto de viviendas ubicadas en el sector de Solanda, el programa de vivienda fue planificado con la premisa de construir viviendas de una y dos plantas del tipo cascaron, pero a medida que la población aumento existió un crecimiento vertical sin control que llevo al aumento de pisos en las viviendas.

De acuerdo a diferentes estudios realizados en el sector, se ha determinado que la gran mayoría de las viviendas fueron construidas de manera informal (Vidal & Goyes, 2016), lo que ha provocado que la presencia de subsidencias del suelo sea mayor, causando en las viviendas asentamientos diferenciales, y por consecuencia

produciendo daños en elementos estructurales y no estructurales como mampostería, ventanas, pisos y recubrimientos.

Como parte de los estudios e investigaciones del sector, se realizó un análisis de vulnerabilidad por subsidencias y sismo mediante encuestas en coordinación del Municipio de Quito y la Consultora ICIA, para eso se elaboró una encuesta con 40 preguntas y se necesitó de un gran despliegue de encuestadores, lo que conllevó a un gran gasto económico y de tiempo.

Este estudio llevó a cabo una nueva metodología para la evaluación del riesgo por subsidencias de suelo y sismo, disminuyendo el tiempo por encuesta reduciendo de 40 a 6 preguntas y optimizando los recursos por medio de herramientas de recolección de datos (Open Data Kit). Para lograr resultados muy parecidos a la realidad se utilizó el análisis Multi-criterios basado en el método de la lógica difusa, este método fue reforzado por medio del Machine Learning el cual permite predecir resultados a partir de la experiencia y optimización del procesamiento de datos, para lograr predecir los resultados se creó ejemplos de entrenamiento (o reglas) los cuales fueron elaborados y derivados de la experiencia de profesores de la EPN y validados por modelos computacionales no lineales estáticos para subsidencias y sismo, los cuales están basados en los códigos internacionales (ASCE/SEI 41, 2017; ASCE/SEI 7, 2016).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una guía que ayude a evaluar el nivel de daño de las estructuras en el sector de Solanda mediante el método de Multi-criterios aplicado a la teoría de conjuntos difusos y aprendizaje automatizado (*Machine Learning*) para lograr identificar el nivel de riesgo ante subsidencias de suelos y sismo.

1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- a) Establecer una encuesta que vaya de lo particular a lo general con la ayuda de expertos, que permita lograr una mejor evaluación de las viviendas en los

factores geológicos y estructurales para determinar las viviendas más afectadas.

- b) Determinar un modelo computacional basado en redes neuronales artificiales y la teoría de conjuntos difusos, para procesar la información disponible que está establecida en calificaciones lingüísticas y que suelen ser subjetivas y así lograr cuantificar las estructuras más vulnerables.
- c) Elaborar una guía que permita realizar un mapa de riesgo geológico y estructural de las viviendas evaluadas para facilitar las decisiones sobre habitabilidad y reparación de las estructuras en el caso de estudio, sector de Solanda.

1.4 ALCANCE

El presente proyecto está enfocado en la creación de una guía que permita la evaluación del riesgo ante subsidencias del suelo y sismo usando Lógica Difusa. La necesidad de conocer y caracterizar los posibles niveles de daño ha llevado a la creación de nuevas metodologías que permita evaluar de una forma más rápida y precisa el riesgo.

Para este caso de estudio se tomó la problemática que presenta el barrio de Solanda ubicado en el sur occidental del Distrito Metropolitano de Quito, se evaluara el nivel del riesgo para subsidencias y sismo de 171 viviendas del sector. Se conoce que la presencia del riesgo y sus diferentes características particulares se deben a determinados factores, estos se pueden clasificar en factores de amenaza y vulnerabilidad (Lavell et al., 2009). Para lograr la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas se realizó un análisis Multi-Criterios por medio del método de Lógica Difusa, este método constituye un intento de emular el razonamiento humano, que puede ser considerado como el procesamiento de información imprecisa hacia una conclusión o decisión (Demartinos & Dritsos, 2006). Para disminuir la incertidumbre y obtener resultados más cercanos a la realidad se utilizó Machine Learning (aprendizaje automatizado), el cual por medio de un algoritmo permite aprender datos, identificar patrones y tomar decisiones (Ramasubramanian & Singh, 2019).

Los resultados obtenidos serán representados de manera lingüística en un mapa de Riesgo, que permita construir una Gestión Integral del Riesgo por medio del manejo de desastres.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La evaluación del nivel de riesgo y sus factores ha sido un problema debido a sus características y tiempo de evaluación. Este estudio comprende la creación de una guía que permita la evaluación del riesgo de una manera más rápida y por medio de la lógica difusa disminuir la incertidumbre que genera el levantamiento y análisis de información.

El área de estudio comprende un conjunto de viviendas implementadas por el Banco Nacional de la Vivienda en los años 80s, ubicadas en el sector de Solanda, Sur de Quito, en este sector existen subsidencias del suelo, causando en las viviendas asentamientos diferenciales, daños en elementos no estructurales como mamposterías, ventanas, pisos, recubrimientos. Algunas de las posibles causas pueden ser, el diseño y construcción no técnicos del lugar y el suelo de mala calidad bajo las estructuras (Bucheli & Realpe, 2018; Vidal & Goyes, 2016)

Estudios realizados en el sector, como el realizado por el Massachusetts Institute of Technology (Vidal & Goyes, 2016) y la Universidad Católica del Ecuador (Bucheli & Realpe, 2018) han confirmado que la gran mayoría de construcciones son informales es por eso que esta investigación pretende elaborar una guía que permita lograr evaluar el riesgo estructural ante las subsidencias de suelos y el alto peligro sísmico en el sector por medio de un análisis Multi-criterios aplicando al método de la Lógica Difusa y apoyados en el Aprendizaje Automatizado (*Machine Learning*) para lograr tener los resultados más aproximados a la realidad en un menor tiempo.

Con la implementación de esta metodología para la evaluación del riesgo en el sector de Solanda, se va a lograr mejorar las metodologías existentes y determinar una

evaluación más exacta y en menor tiempo del posible daño que puede causar las subsidencia del suelo y sismo sobre las estructuras (Carreño et al., 2011).

Una vez procesado los datos, aplicando los métodos descritos anteriormente, se presentarán resultados lingüísticos que serán interpretados para el manejo de Gestión de Riesgo realizando un mapeo de las zonas más críticas por medio de Sistemas de Información Geográfica (GIS) y lograr tomar decisiones importantes para la mitigación del riesgo en el sector de Solanda (Malczewski & Rinner, 2015).

El desarrollo de este proyecto de investigación es útil para la carrera de Ingeniería Civil, ya que la metodología presentada no fue impartida durante el curso de la carrera y podrá ser fuente de consulta para proyectos relacionados con la evaluación estructural y el manejo de la gestión de riesgo.

CAPÍTULO II

2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para lograr poner en práctica la metodología a usar se tomó como referencia la problemática que presenta el sector de Solanda, esta zona de estudio es un medio que permitirá el desarrollo de la metodología presentada, cabe mencionar que esta metodología de evaluación del riesgo y sus factores podrán ser usados en zonas con mayor extensión e incluso para otros problemas.

2.1. LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se ubica en el sector sur occidental del Distrito Metropolitano de Quito, es parte de la parroquia Solanda que conforma el barrio Solanda I. Los límites son las calles Manuel Alvarado y José Belda al norte, Avenida Solanda al sur, José Alemán al este y Cardenal de la Torre al Oeste como se observa en la Figura 1.



Figura 1 Solanda sector 1

FUENTE: (Google Maps, 2020)

2.2 POBLACIÓN

De acuerdo a los datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), se identifica un aumento poblacional y de vivienda entre el censo de 1990 y 2010, lo que provoco en el sector de Solanda un crecimiento poblacional del 350%, y un crecimiento del 510% en unidades de vivienda, como se puede evidenciar en la Figura 2 y Tabla 1.

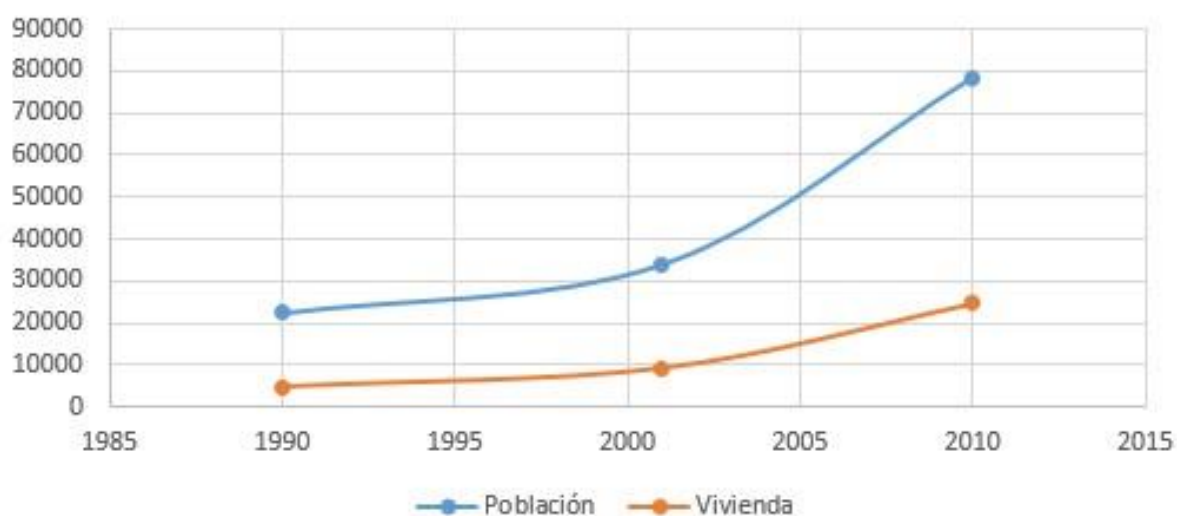


Figura 2 Población-vivienda vs censos barrio Solanda

FUENTE: INEC 1990, 2001 Y 2010

Tabla 1 Cuadro de población y vivienda barrio Solanda

VARIABLES	Censo 1990	Censo 2001	Censo 2010
Población	22361	33934	78279
Vivienda	4817	9254	24526

FUENTE: INEC 1990, 2001 Y 2010

2.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA CONFORMACIÓN DEL BARRIO SOLANDA

En 1976, aproximadamente 150 hectáreas de la Hacienda Marqueza de Solanda fueron donadas a la Fundación Mariana de Jesús. Esta entidad en unión con La Junta

Nacional de la Vivienda, la cual fue creada en 1972 por el gobierno militar de Guillermo Rodríguez Lara iniciaría la creación de la Urbanización “Solanda” (Cacuango, 2013).

El Banco Nacional de la Vivienda junto a la Fundación Mariana de Jesús y la Junta Nacional de la Vivienda se sumaron a trabajar en conjunto, con el propósito que las viviendas a construir sean de carácter social. El 8 de agosto de 1983 El Ilustre Consejo Municipal de Quito decreta la ordenanza numero 2292 autorizando a la Junta Nacional de la Vivienda, la urbanización y parcelación del Programa Solanda el cual constara de 4 sectores, como se muestra a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2 Número de lotes y viviendas programa Solanda

	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 4	TOTAL
Nº LOTES	1307	744	766	1448	4275
Nº VIVIENDAS	1854	1069	1102	2022	6047

FUENTE: (Ilustre Consejo Municipal de Quito, 1983)

El programa de vivienda Solanda presenta una organización radial, organizadas por super manzanas, que están conformadas por manzanas las que se componen por super lotes los que se encuentran conformados por lotes, cada manzana cuenta con un parque en el centro y pasajes que ayudan a la circulación peatonal como se muestra en la Fotografía 1. Todo el sistema circulatorio es abierto, lo cual permite que la circulación peatonal conecte con cualquier punto de la urbanización (Guerrero, 2017).



Fotografía 1 Pasajes peatonales originales

FUENTE: MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, OFICINA DE CATASTROS

2.4 TIPOS DE VIVIENDA DEL BARRIO SOLANDA

El programa de vivienda “Solanda” fue destinada para personas con recursos económicos bajos, es por eso que se decidió reducir la construcción a áreas mínimas necesarias, las viviendas iban desde los 24 m² hasta los 80 m² de construcción (Ilustre Consejo Municipal de Quito, 1983).

Con los antecedentes mencionados se escogió el prototipo de vivienda “tipo cascarón” que consta únicamente de paredes perimetrales y paredes de baño, dejando las divisiones interiores para que el propietario pueda construir según su disposición económica, lo que obligo a los usuarios a modificar la vivienda de manera casi inmediata (Guerrero, 2017).

La Junta Nacional de la Vivienda y la Fundación Mariana de Jesús decidieron construir 6 tipos de vivienda en el Sector 1, de acuerdo a la ubicación y disposición geométrica de los lotes dentro de los super lotes (Ilustre Consejo Municipal de Quito, 1983) como se muestra en la Figura 3 y Tabla 3.

Tabla 3 Distribución de los tipos de lotes según su ubicación Solanda-sector 1

		UBICACIÓN									TOTAL	AREA	TOTAL (m2)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
T I P O	A	-	-	-	-	-	-	-	230	415	645	61,44	39628,80
	B	13	4	8	4	18	1	17	61	19	145	92,16	13363,20
	C	38	28	18	16	54	6	158	79	18	415	81,92	33996,80
	D	20	8	12	10	19	2	25	4	3	103	122,88	12656,64
	E	8	-	-	-	-	-	-	-	-	8	VARIABLE	817,76
TOTAL		79	30	48	30	91	9	200	374	455	1316		100463,20

FUENTE: DIRECCIÓN METROPOLITANA GESTIÓN DOCUMENTAL Y ARCHIVO



Figura 3 Plano de lotización programa Solanda sector 1

FUENTE: DIRECCIÓN METROPOLITANA DE GESTIÓN DOCUMENTAL Y ARCHIVO

2.5 DISPOSICIÓN DE LAS VIVIENDAS EN EL SECTOR

Las distribuciones de viviendas en el inicio del programa fueron de una y dos plantas, así lo grafica (Vidal & Goyes, 2016) en la Figura 4, a inicios de 1980 la configuración arquitectónica de las edificaciones y lotes fueron alteradas, debido a la inflación monetaria que causo el incremento de costos de la mano de obra y materiales de construcción

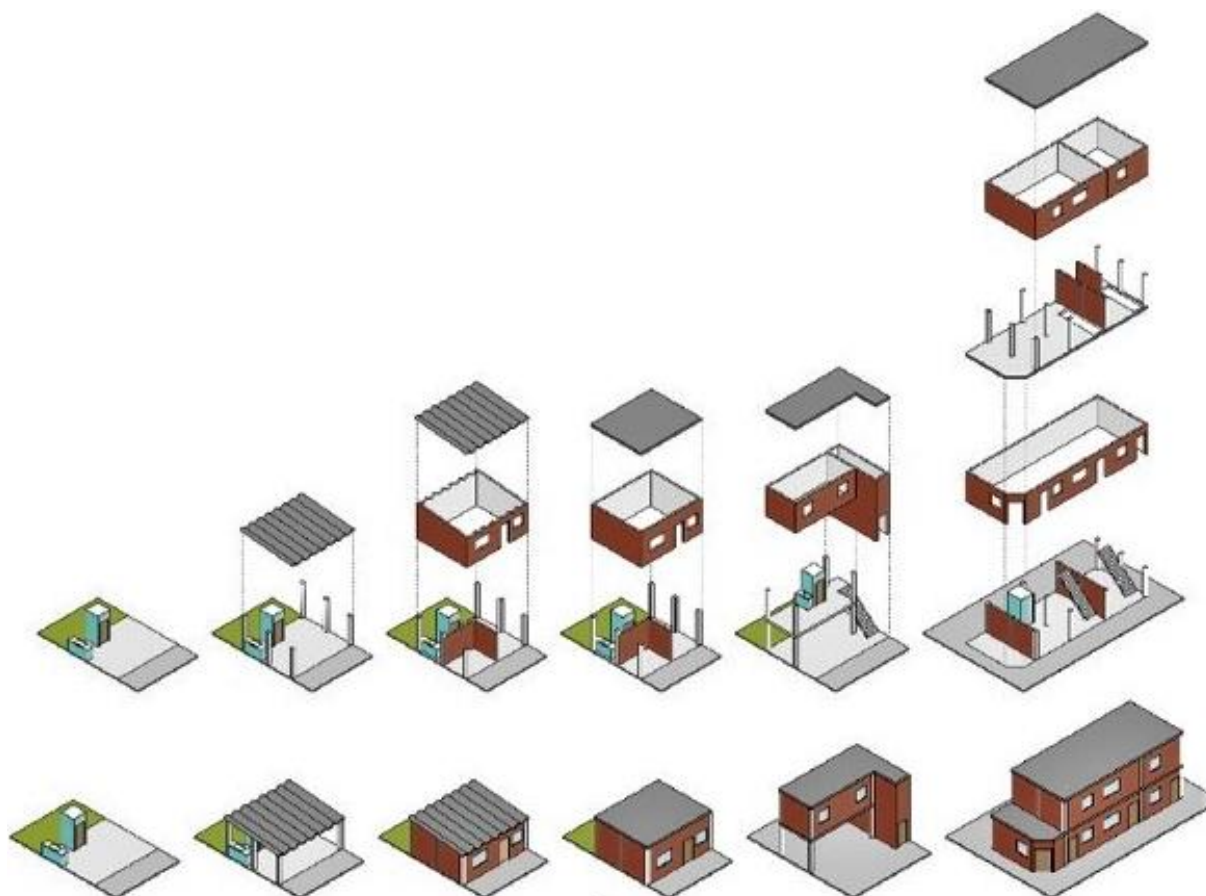


Figura 4 Modelos de vivienda originales en Solanda

FUENTE: (Vidal & Goyes, 2016)

La reducción de los tamaños de lotes originales es una de las más importantes razones que existió para el incremento de la construcción en el sector de Solanda, esto llevo a que los jardines, calles y pasajes peatonales sean adsorbidos por las expansiones de las casas de manera informal.

Se realizó un esquema de volumen del progreso vertical de las viviendas en su estado original y el actual, donde es interesante destacar de este proceso el incremento de cargas a la cimentación y la no uniformidad de estas cargas en la implantación de la estructura original como se muestra en las Figura 5.

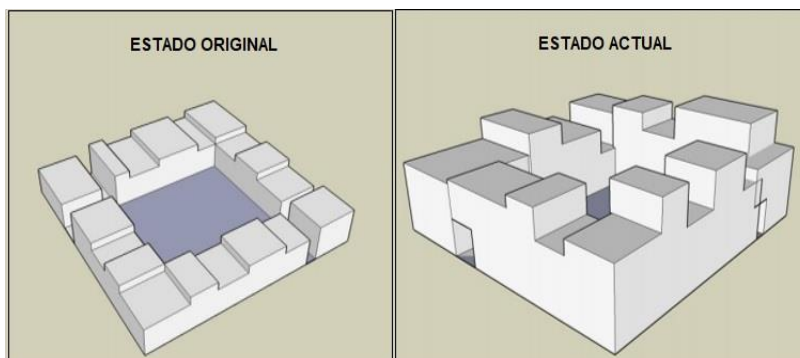


Figura 5 Esquema de volumen vertical estado original y actual

FUENTE: (Guerrero, 2017)

2.6 HIDROGRAFÍA

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de las microcuencas del río Machángara y del río Grande como se muestra en la Figura 6, hacía el noreste el río Grande se une al río Machángara que fluye en el sentido sur norte para formar un solo drenaje, lo cual caracteriza a la subcuenca del río Machángara (Aviles, 2013).

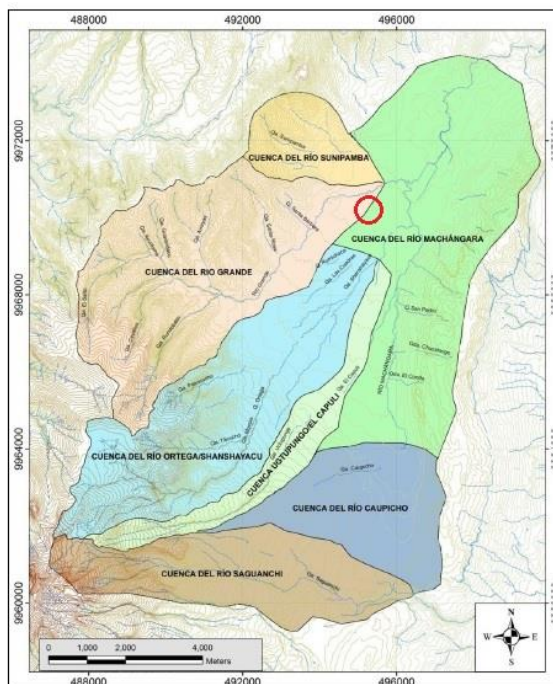


Figura 6 Mapa hidrográfico del sur de Quito. (El círculo rojo representa la zona de estudio)

FUENTE: (Aviles, 2013)

CAPÍTULO III

3 MARCO TEÓRICO

3.1 RIESGO

En el año 2009 la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), definió al riesgo como “la probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas de un resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad” (UNISDR, 2009). Al riesgo se lo considera de naturaleza permanente con la posibilidad de pérdidas en el futuro (Lavell et al., 2009) esto provoco que el riesgo sea medido en términos cualitativos y cuantitativos (Lavell et al., 2009).

La presencia del riesgo y sus características, se las puede explicar identificando los factores de riesgo, los cuales se clasifican en amenaza y vulnerabilidad (Lavell et al., 2009).

3.2 AMENAZA

La amenaza se define como “la posibilidad de la ocurrencia de un evento físico que pueda causar algún tipo de daño” (UNISDR, 2009). Las diferentes amenazas que enfrenta hoy en día la sociedad son muy amplias y tienden a aumentar continuamente, estas pueden ser amenazas de origen geológicas, hidrológicas, meteorológicas, biológicas, oceánicas y tecnológicas que muchos de los casos actúan de forma combinada (UNISDR, 2009).

Desde el contexto técnico se describe a las amenazas de una forma cuantitativa, mediante la posibilidad de ocurrencia y frecuencia de diversos eventos que puedan ocurrir en diferentes zonas, estos eventos se pueden conocer a partir de análisis científicos y datos históricos (Lavell, 2001).

3.2.1 AMENAZA POR SUBSIDENCIA

La subsidencia es un fenómeno geológico que hace referencia al asentamiento paulatino de la corteza terrestre, submarina o continental, este asentamiento puede ser causado por factores naturales o por actividades humanas de gran impacto (Tomás et al., 2009). Las subsidencias no suelen causar víctimas mortales, pero sí una gran cantidad de daños materiales en las estructuras, que en muchos de los casos pueden llegar a ser considerables.

Este fenómeno suele estar relacionado a fenómenos de forma natural como procesos de sedimentación, morfotectónicos, o procesos de consolidación de suelos blandos y orgánicos, del tipo antrópico pueden ser extracción de fluidos (petróleo, gas o agua), minería, construcción de túneles entre otros (Alban, 2017).

Tabla 4 Tipos de subsidencia

Por disolución subterránea	En sal
	En yeso
	En rocas carbonáticas
Por construcción de obras subterráneas o galerías mineras	
Por erosión subterránea (tubificación o <i>pipiing</i>)	
Por flujo lateral	Rocas salinas
	Arcillas
Por compactación	Por carga
	Por drenaje
	Por vibración
	Por extracción de fluidos
	Por hidrocompactación
Tectónica	

FUENTE: (Tomás et al., 2009)

3.2.1.1 Erosión Subterránea

Este fenómeno se produce por el arrastre de partículas de suelo por un flujo de agua subterránea, lo que provoca una serie de canales que suelen producir colapsos (Tomás et al., 2009).

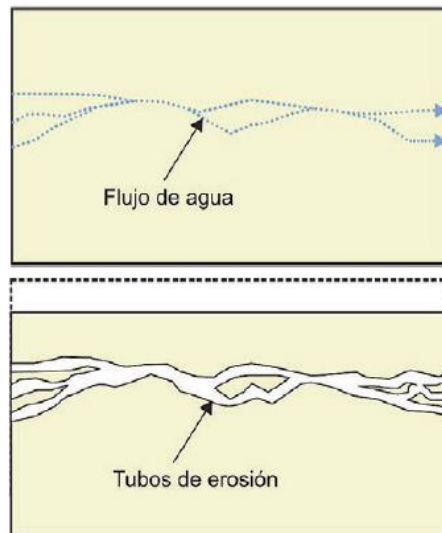


Figura 7 Subsidencia por erosión
FUENTE: (Tomás et al., 2009)

3.2.1.2 Vibraciones

Las vibraciones se encuentran asociadas a explosiones y terremotos que pueden producir una densificación en suelos granulares provocadas por un reajuste de partículas y de esta manera alcanzar una estructura más compacta que la original (Tomás et al., 2009).

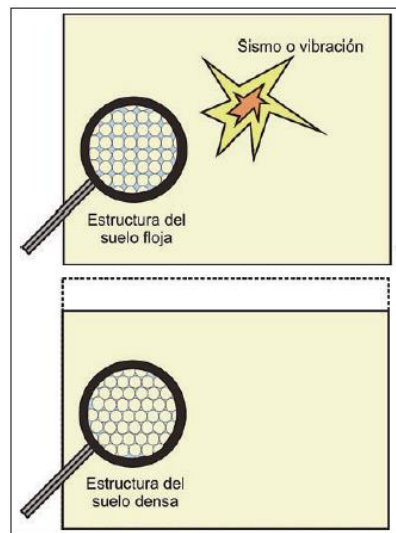


Figura 8 Subsidencia por vibraciones
FUENTE: (Tomás et al., 2009)

3.2.1.3 Extracción De Fluidos

La extracción de fluidos como el petróleo, gas natural o agua puede producir un cierre paulatino de los huecos dejados por estos fluidos, provocando subsidencias en la superficie (Tomás et al., 2009).

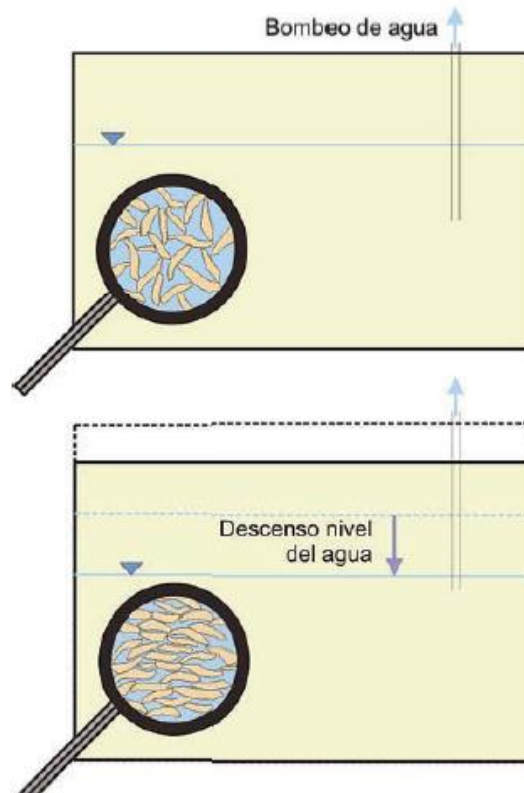


Figura 9 Subsidencia por extracción de agua o fluidos

FUENTE: (Tomás et al., 2009)

3.2.1.4 Hidrocompactación

La hidrocompactación se produce en suelos con contenido bajo de humedad y ubicados sobre el nivel freático que llegan a ser saturados y sufren un asentamiento por la pérdida de las tensiones capilares (Tomás et al., 2009).

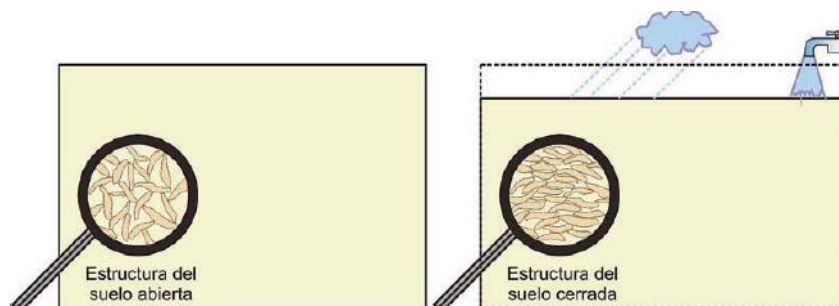


Figura 10 Subsistencia por hidrocompactación

FUENTE: (Tomás et al., 2009)

3.2.1.5 Tectónica

Este tipo de subsidencias se produce de forma lenta y de magnitud pequeña, está asociada a las placas tectónicas (Tomás et al., 2009).

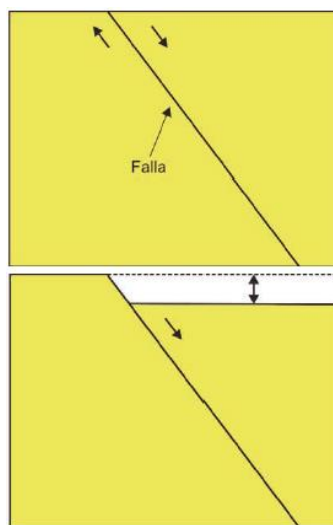


Figura 11 Subsistencia tectónica

FUENTE: (Tomás et al., 2009)

3.2.2 AMENAZA SÍSMICA

Ecuador se encuentra ubicado en el cinturón de fuego, lo que le convierte en un país tectónicamente activo y de muy alta sismicidad (Parra, 2016). La presencia de sismos tiene como principal origen la subducción de la placa Oceánica de Nazca y las fallas activas locales (Parra, 2016).

Quito como el resto del país se encuentra localizado dentro de una importante zona sísmica, por lo que es necesario evaluar y estimar esta zona que amenazan a la ciudad (Parra, 2016).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) realizó un mapa de zonificación sísmica, que representa la aceleración máxima en roca para el sismo de diseño, este mapa representa el resultado del estudio del peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años y un periodo de retorno de 475 años (NEC15-SE-SD, 2015). Este estudio determinó seis zonas sísmicas en el Ecuador como se muestra en la Tabla 5.

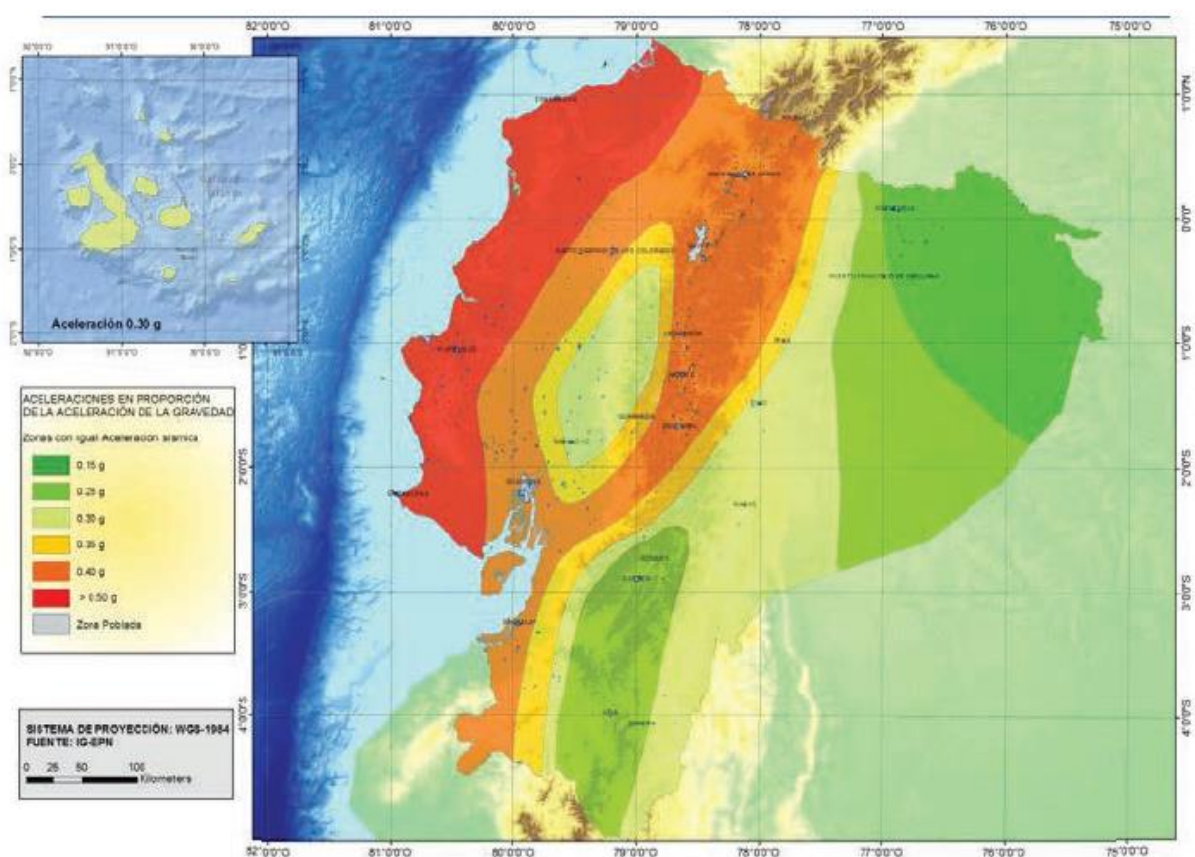


Figura 12 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

FUENTE: (NEC15-SE-SD, 2015)

Tabla 5 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

FUENTE: (NEC15-SE-SD, 2015)

3.3 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad se define como “una serie de características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a sufrir daños frente al impacto de una amenaza” (UNISDR, 2009). La vulnerabilidad es la tendencia que tiene la sociedad a sufrir daño o ser dañada, y encontrar dificultad para recuperarse (Lavell et al., 2009).

3.4 GESTIÓN DEL RIESGO

La gestión del riesgo contempla la evaluación, análisis y ejecución de acciones y estrategias para reducir, transferir y controlar el riesgo (UNISDR, 2009), la gestión contempla diversas formas de intervención, que pueden ir desde la formulación e implementación de estrategias políticas, hasta la implementación de instrumentos de reducción, control y acciones (Lavell et al., 2009) como se muestra en la Figura 13.

La gestión del riesgo no únicamente significa reducir la vulnerabilidad o mitigar las amenazas, para un correcto manejo del riesgo se debe proponer y tomar decisiones en conjunto sobre las formas y los diferentes niveles de riesgo que se puedan asumir como aceptables y los cambios que se debe impulsar para no permitir la realización efectiva del daño (Lavell et al., 2009).



Figura 13 Gestión del riesgo de desastres

FUENTE: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Republica de Colombia, 2012)

3.4.1 PREVENCIÓN

La prevención de desastres son las medidas y acciones que buscan evitar por completo los posibles impactos adversos de un fenómeno físico, mediante acciones que se toman con anticipación y así evitar los daños sobre la población, servicios, bienes y el medio ambiente (UNISDR, 2009).

Algunas de las medidas de prevención más comunes son:

- Caracterización de las amenazas
- Reubicación total de infraestructura ubicadas en zonas de alta amenaza.

3.4.2 MITIGACIÓN

“Es la planificación y ejecución de diferentes medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo” (UNISDR, 2009). La mitigación es el resultado de comprender que no se puede controlar la afectación del riesgo totalmente, esto quiere

decir que en algunos casos va ser imposible evitar totalmente los daños y afectaciones, por lo que sólo se podrá atenuarlas (Lavell et al., 2009).

Las medidas de mitigación contemplan la creación de técnicas de ingeniería resistentes a las amenazas, al igual que una mayor concientización pública y mejores políticas (UNISDR, 2009).

3.5 LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa tiene su origen a partir de la teoría de conjuntos difusos desarrollada por Zadeh en la década de los 60's (Carreño et al., 2014), esta teoría es un método de razonamiento aproximado utilizado para manejar la incertidumbre y la vaguedad que caracterizan a muchos fenómenos (Demartinos & Dritsos, 2006), la lógica difusa constituye un intento de emular el razonamiento humano, que puede ser considerado como el procesamiento de información imprecisa hacia una conclusión o decisión, lo cual permite resolver problemas complejos que mediante métodos tradicionales son difíciles de resolver (Demartinos & Dritsos, 2006).

3.5.1 CONJUNTOS DIFUSOS

Los conjuntos difusos son objetos en los que la transición de pertenencia a no pertenencia es gradual en lugar de abrupta (Demartinos & Dritsos, 2006). El concepto de conjuntos difusos es una generalización del concepto clásico de conjuntos, donde la principal diferencia contempla que la teoría clásica de conjuntos un elemento puede pertenecer a un conjunto o no hacerlo, mientras en la teoría de conjuntos difusos un elemento puede pertenecer a más de un conjunto con diferentes grados de pertenencia (Carreño et al., 2014) como se muestra en la Figura 14.

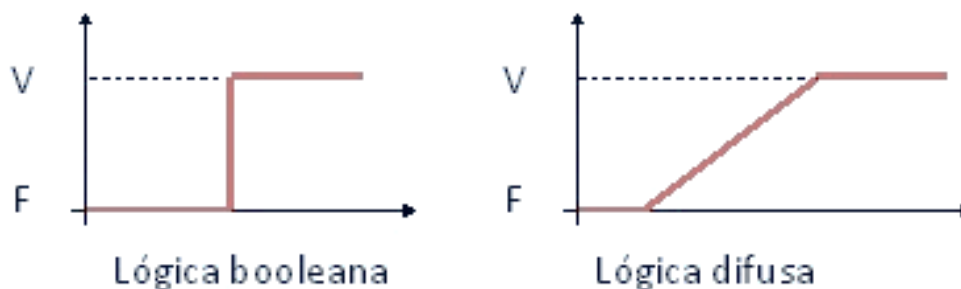


Figura 14 Lógica booleana y difusa

FUENTE: (Carreño et al., 2014)

3.6 MACHINE LEARNING

El Machine Learning (aprendizaje automático) pertenece a la rama de la inteligencia artificial que permite que los ordenadores (máquinas) aprendan datos, recopilen información, identifiquen patrones y tomen decisiones con una mínima intervención humana y sin ser expresamente programadas para ello (Ramasubramanian & Singh, 2019), este campo se desarrolló a partir que los datos disponibles, los métodos estadísticos y la potencia de cálculo evolucionaron rápida y simultáneamente. La máquina aprende a través de un algoritmo que procesa los datos y es capaz de lograr predecir comportamientos futuros, estos sistemas se mejoran de forma independiente a medida que pasa el tiempo (Ramasubramanian & Singh, 2019).

3.7 VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad de las estructuras se define como el nivel de daño que resulta por la presencia de un movimiento sísmico ante una magnitud determinada (Barbat et al., 1995), es por eso que a las estructuras se las puede clasificar como “más vulnerables” o “menos vulnerables” frente a un mismo evento sísmico en un determinado sector.

El diseño sísmico de estructuras nuevas es estipulado por normas y códigos de construcción, que en algunos casos ya han sido comprobados en situaciones reales y que generalmente garantizan minimizar el daño y permite la ocupación inmediata de las estructuras, no ocurre lo mismo con estructuras existentes donde la evaluación de

la vulnerabilidad sísmica requiere de estudios más precisos y complejos, que deben ser realizado por expertos, y que permita encontrar resultados más confiables y cercanos a la realidad (Barbat & Pujades, 2004).

3.7.1 PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES DEPENDIENTES DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

3.7.1.1 Informalidad

En el Distrito Metropolitano de Quito uno de los más grandes problemas que se presenta es la informalidad de construcciones, el 70% de edificaciones son informales, eso quiere decir que no tuvieron un criterio profesional para ser construidas (El Comercio, 2019). Del 70% de las estructuras informales, el 80% de ellas podrían sufrir daños y el 45% podría colapsar ante la presencia de un sismo de alta magnitud (El Comercio, 2019).



Fotografía 2 Informalidad
ELABORADO POR: AGUAIZA

3.7.1.2 Incompatibilidad de Materiales

Uno de los mayores problemas que ocurre en las estructuras es la incompatibilidad de materiales, debido a la combinación ineficaz de materiales en una construcción, esto

hace que exista diferentes fuerzas de resistencia y ante la posibilidad de un evento sísmico hace que su vulnerabilidad aumente por las distintas características mecánicas de los materiales tanto en elementos estructurales y no estructurales (Vaca, 2017).



Fotografía 3 Incompatibilidad de materiales
ELABORADO POR: AGUAIZA

3.7.1.3 Piso Blando

El piso blando es aquel que representa una reducción significativa de la rigidez lateral respecto a los demás pisos de la estructura (Vaca, 2017), en el sector de Solanda esto es evidente en edificaciones donde el primer y segundo piso son usados para el comercio como es el caso de tiendas, bodegas, gimnasios, etc.



Fotografía 4 Piso blando
ELABORADO POR: AGUAIZA

El problema del piso blando aparece en edificaciones con sistemas estructurales aporticados, donde el primer piso presenta una alta flexibilidad por la poca rigidez que aportan las paredes de mampostería, que impide controlar los desplazamientos laterales, mientras los pisos superiores son relativamente más rígidos por presentar una mayor cantidad de paredes de mampostería (Vaca, 2017).

3.7.1.4 Golpeteo

El golpeteo o martilleo es una de las patologías más comunes que presentan las edificaciones informales, cada estructura posee su propia masa y rigidez por lo tanto sus periodos de vibración como sus desplazamientos máximos serán distintos (Vaca, 2017), el golpeteo se produce entre estructuras adyacentes provocado por los

desplazamientos producidos durante la presencia de un determinado sismo. Por esta razón es necesario dejar las juntas de construcción entre edificaciones para que la estructura pueda desplazarse sin afectar a las edificaciones vecinas.



Fotografía 5 Golpeteo
ELABORADO POR: AGUAIZA

3.7.1.5 Columna Corta

El fenómeno de columna corta es la restricción parcial del desplazamiento lateral de la columna, lo que provoca concentrar la demanda de deformaciones en la parte libre de la columna (Vaca, 2017). El caso más representativo se presenta donde existen paredes que no abarcan toda la altura del piso y se deja un espacio vacío para la colocación de las ventanas.



Fotografía 6 Columna corta
ELABORADO POR: AGUAIZA

CAPÍTULO IV

4 MARCO METODOLÓGICO

La metodología ha usarse en este proyecto será detallada en tres etapas como se configura a continuación:

4.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN

4.1.1 DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

La información disponible de trabajos, estudios y evaluaciones realizados en el sector de Solanda y su entorno fue evaluada y analizada de acuerdo a las contribuciones del presente proyecto. Esta información debe ser considerada y caracterizada de acuerdo con el análisis que se va a realizar basándose en la experiencia y conclusiones que llegaron a obtener los diferentes estudios y trabajos de investigación.

4.1.2 CONSTRUCCIÓN DE LA ENCUESTA

Estudios realizados en el sector determinaron que encuestas con más de 30 preguntas (variables), para este caso de evaluación del riesgo con el uso de Machine Learning y Lógica Difusa se encontraron falencias, como no considerar la relación entre las variables, no estimar las incertidumbres externas y de acuerdo a varios autores (Durbach & Stewart, 2012; Malczewski & Rinner, 2015) no se debe usar menos de 6 variables y no más 9 (Erçetin et al., 2014).

De acuerdo con estas referencias se construyó un modelo de encuesta con la ayuda de expertos y trabajos de investigación realizados, obteniendo 6 variables donde se pueda identificar los factores geológicos y estructurales que se presentan en las diferentes viviendas, en la Tabla 6 y 7 se puede observar las preguntas que se usaron.

Con la ayuda de Open Data Kit, la cual es una herramienta para la recolección de datos creada por la Universidad de Washington y la Comunidad Open Source con el

soporte de Google se realizó el levantamiento de las encuestas, esta aplicación optimizará el tiempo y tabulación de los datos levantados.

Tabla 6 Encuesta del riesgo ante subsidencias de suelo

ENCUESTA DEL RIESGO ANTE SUBSIDENCIAS DE SUELO SECTOR SOLANDA			
MANZANA		NÚMERO DE EDIFICACIÓN	
N°			
1	Formalidad de la Edificación	a) Formal (criterio profesional "Ing. Civil")	
		b) Construcción Informal/Artesanal	
2	Número de pisos	a) 1 Piso	
		b) 2 Pisos	
		c) 3 Pisos	
		d) 4 Pisos	
		e) 5 Pisos o más	
3	Sistema estructural	a) Hormigón armado	
		b) Estructura metálica (acero)	
		c) Mampostería confinada o reforzada	
		d) Mampostería simple	
		e) Estructura de madera	
4	Dimensiones de columnas	a) 20x20 cm o menor	
		b) 25x25 cm	
		c) 25x30 cm o mayor	
5	Probabilidad de golpeteo en edificaciones	a) No tiene problemas de colindancia	
		b) Edificación esquinera	
		c) Edificación intermedia	
6	En base a la evaluación realizada y de acuerdo a su criterio la vulnerabilidad de la edificación para SUBSIDENCIA es	a) Bajo	
		b) Media	
		c) Alta	

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 7 Encuesta de riesgo ante sismo sector Solanda

ENCUESTA DEL RIESGO ANTE SISMO SECTOR SOLANDA			
MANZANA		NÚMERO DE EDIFICACIÓN	
N°			
1	Formalidad de la Edificación	a) Formal (criterio profesional "Ing. Civil")	
		b) Construcción Informal/Artesanal	
2	Número de pisos	a) 1 Piso	
		b) 2 Pisos	
		c) 3 Pisos	
		d) 4 Pisos	
		e) 5 Pisos o más	
3	Sistema estructural	a) Hormigón armado	
		b) Estructura metálica (acero)	
		c) Mampostería confinada o reforzada	
		d) Mampostería simple	
		e) Estructura de madera	
4	Dimensiones de columnas	a) 20x20 cm o menor	
		b) 25x25 cm	
		c) 25x30 cm o mayor	
5	Probabilidad de golpeteo en edificaciones	a) No tiene problemas de colindancia	
		b) Edificación esquinera	
		c) Edificación intermedia	
	Si la respuesta anterior es b) o c); responder:	a) Las alturas libres de los pisos coinciden con viviendas contiguas	
b) Las alturas libres de los pisos no coinciden y presencia de (columna corta)			
6	En base a la evaluación realizada y de acuerdo a su criterio la vulnerabilidad de la edificación para SUBSIDENCIA es	a) Bajo	
		b) Media	
		c) Alta	

ELABORADO POR: AGUAIZA

4.1.2.1 Elaboración de la Encuesta Digital

Una vez definida las preguntas de las encuestas se procedió a la creación del formulario electrónico para lo cual se creó una cuenta en la página web de la herramienta ODK Build <https://build.getodk.org/>.

En la barra de herramientas como se observa en la Figura 15 se encuentran los diferentes tipos de datos, una vez definidas las preguntas de las dos encuestas, se

configuró los campos donde se utilizó el tipo de dato numérico y elige uno para los diferentes formularios electrónicos.

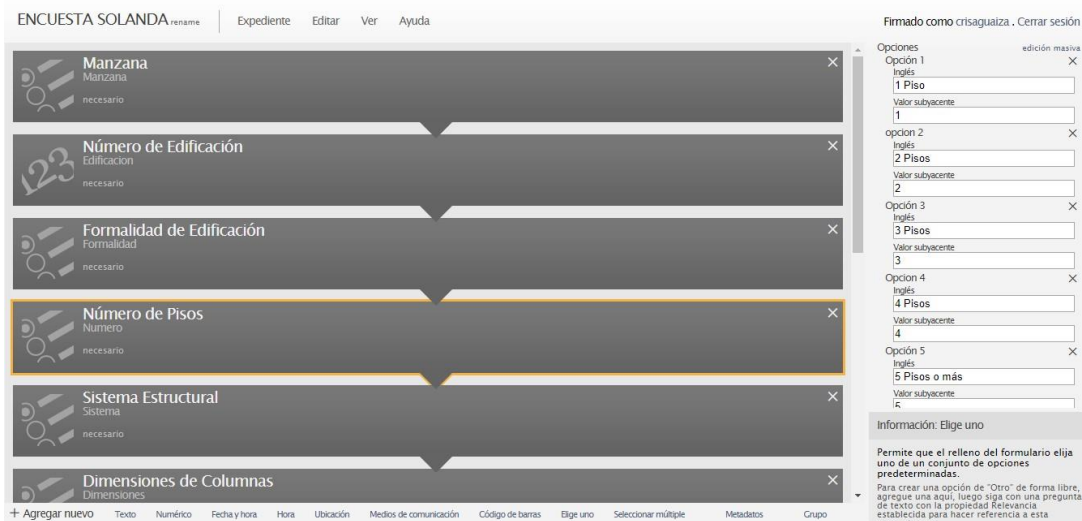


Figura 15 Opciones de desarrollador formulario electrónico ODK Build

ELABORADO POR: AGUAIZA

Definido los formularios electrónicos se procedió a la configuración de los dispositivos móviles con ODK Build, desde la Play Store se descargó la aplicación OBK Collect y se procedió a la instalación como se muestra en la Figura 16.

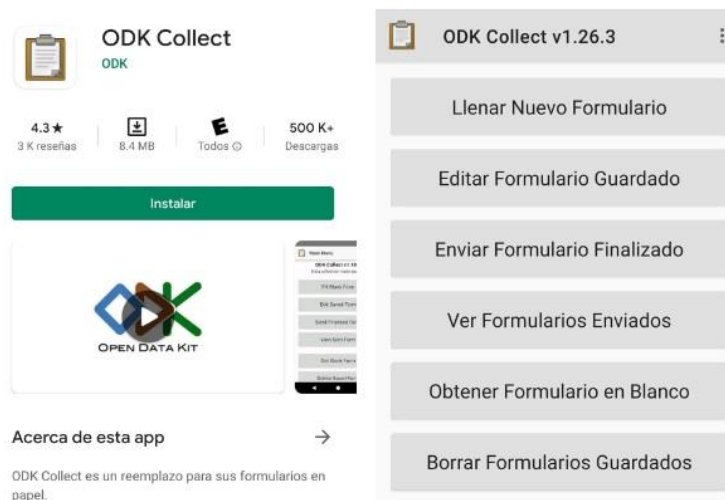


Figura 16 Instalación y características de app ODK Collect

ELABORADO POR: AGUAIZA

Para la vinculación de la App ODK Collect con los formularios electrónicos creados en ODK Build se creó una cuenta Gmail que permita la vinculación de los formularios con una hoja de cálculo de Google creado en Drive como se muestra en la Figura 17.



Figura 17 Vinculación ODK Build y app ODK Collect

ELABORADO POR: AGUAIZA

4.2 TRABAJO TÉCNICO Y DE CAMPO

4.2.1 PLANIFICACIÓN DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Para la elección de las manzanas a evaluar se tomó en cuenta las diferentes características y factores que afectan a las mismas, así como los estudios y encuestas ya realizadas en el sector (ICIA, 2017; Mora Martínez, 2019) y sobre todo la colaboración de los propietarios de las viviendas.

4.2.1.1 Ubicación de la Zona de Estudio

Este proyecto de investigación se enfoca en las edificaciones del sector de Solanda 1, se consideró que en el sector ya se han realizado estudios y encuestas, es por eso que se eligió 2 manzanas al azar como se observa en la Figura 18 de las cuales se tabuló que la manzana A cuenta con 101 edificaciones y la manzana B 71 dando un total de 172 edificaciones. Se consideró que estas manzanas no se encuentren ubicadas sobre la ruta del Metro de Quito, como se observa en la Figura 19.

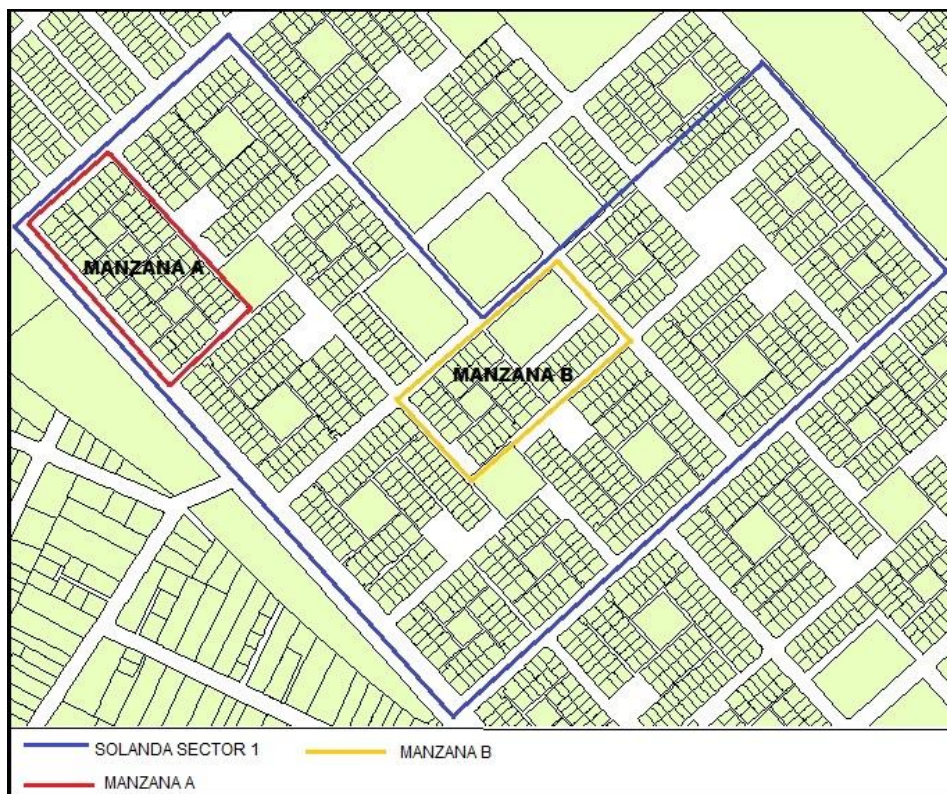


Figura 18 Zona de estudio por manzanas
ELABORADO POR: AGUAIZA

La ruta del Metro de Quito

EL TRAYECTO DESDE QUITUMBE HASTA EL LABRADOR

Total recorrido: 23 km

Toda la ruta de este sistema será subterránea, incluidas las estaciones.

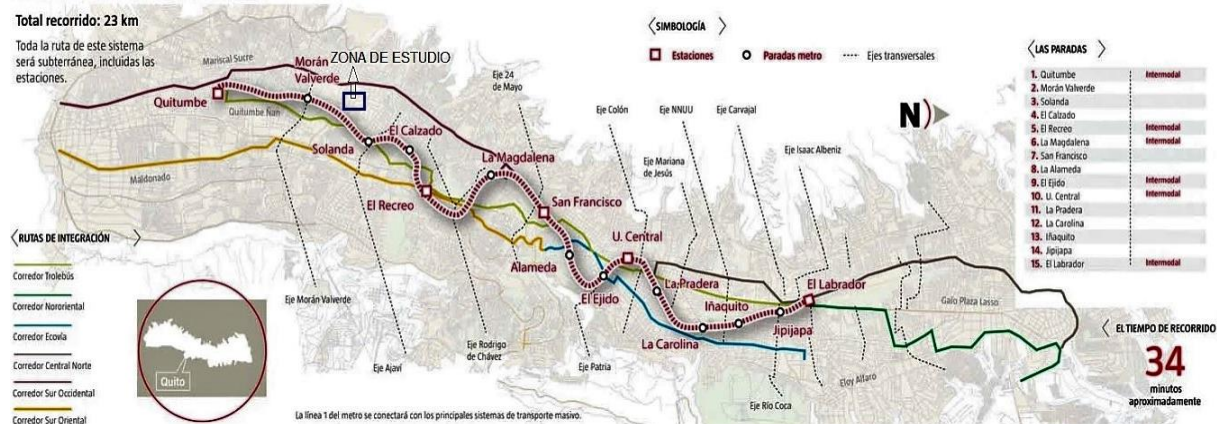


Figura 19 Ruta del Metro de Quito y zona de estudio
FUENTE: (Gesambconsult, 2012)

4.2.2 PROBLEMÁTICA

De la inspección visual en campo se pudo observar como la informalidad ha marcado a este sector, el crecimiento vertical de las edificaciones no ha sido controlado por las autoridades como se muestra en la Figura 20 por lo cual ha existido un aumento de cargas y por consecuencia la presencia de asentamientos que han provocado la aparición de grietas que en muchos de los casos han sido cubiertas por mortero o baldosa.

Como se mencionó anteriormente en el Capítulo 2.1 la ocupación de espacios comunales especialmente de pasajes cuales ayudan a la circulación peatonal e ingreso de equipos de emergencia han sido obstruidos por la ampliación de las edificaciones como se puede observar en la Figura 21, lo que ha hecho que la configuración original de las estructuras cambie.



Figura 20 Crecimiento vertical de edificaciones sector Solanda

ELABORADO POR: AGUAIZA



Figura 21 Invasión de los pasajes peatonales por las edificaciones
ELABORADO POR: AGUAIZA

4.2.3 CARACTERIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES

Para la modelación de las estructuras y ponderación de los diferentes niveles de daño para cada variable de la encuesta, se realizó el levantamiento arquitectónico de 4 viviendas de 2 y 4 pisos respectivamente, cuales fueron elegidas al azar de las manzanas de estudio. Ver (Anexo 1)

4.2.4 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES Y SECCIONES

4.2.4.1 Resistencia Hormigón

De acuerdo a la ficha técnica de los planos estructurales elaborados por la Fundación Mariana de Jesús y La Junta Nacional de la Vivienda se da un valor de resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ como se muestra en la Figura 22, se consideró un valor menor por motivo de la informalidad y modificación de las edificaciones, el plan de vivienda Solanda fue creado con el carácter social lo que hizo que muchas de las viviendas fueran entregadas inconclusas y de acuerdo a la economía y posibilidad de los propietarios fueron terminadas como se mencionó en el Capítulo 2.1.

RESUMEN DE MATERIALES								
HORMIGON $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			HIERRO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$					
			(ϕ mm.)	8	10	12	14	16
CONCRETO	10.57 m ³	10.57	Var com					
VARILLAS	8.76 m ³	8.87	6 m.	8	12	2	6	60
VARILLAS DE LOSA	5.10 m ³	7.80	9 m.	57	6			
VARILLAS	1.00 m ³	1.00	12 m.		17	8	10	
VARILLAS DE LOSA	0.50 m ³	0.50	Peso (kg)	222.16	204.27	96.23	203.78	570.06
VARILLAS DE LOSA	0.50 m ³	0.50	TOTAL	1297.04 Kg = 28.53 qq				

Figura 22 Especificaciones técnicas de materiales usados en el programa de vivienda Solanda

FUENTE: DIRECCIÓN METROPOLITANA DE GESTIÓN DOCUMENTAL Y ARCHIVO

Diferentes investigaciones, estudios y tesis realizados en el Distrito Metropolitano de Quito indican que la resistencia del hormigón a compresión obtenidas en edificaciones informales son bajas y varían entre 100 kg/cm^2 a 180 kg/cm^2 (Aguilar & Lumbi, 2014; Casco & Parra, 2020; Estrada & Vivanco, 2019).

4.2.4.2 Esfuerzo de Fluencia del Acero (F_y)

Para el valor del esfuerzo de fluencia del acero se tomó como dato un $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ para el refuerzo longitudinal y un $F_y=2800 \text{ kg/cm}^2$ para el refuerzo transversal como se muestra en la Figura 23.

En la tesis de (Casco & Parra, 2020) se realizó una función de probabilidad log-normal con coeficientes de variación entre el 4% y 7% para barras de acero de grado 40 y 60 como se muestra en la Tabla 8 por lo que se tomó en cuenta una variación de $\pm 200 \text{ kg/cm}^2$.

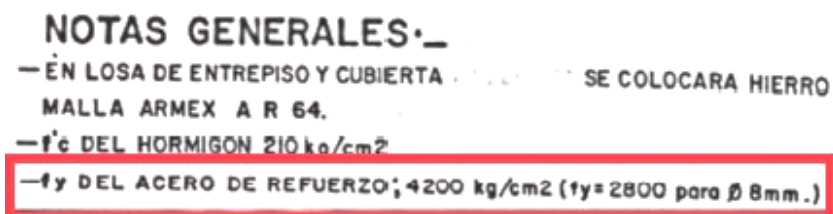


Figura 23 Esfuerzo de fluencia del acero (F_y)

FUENTE: DIRECCIÓN METROPOLITANA DE GESTIÓN DOCUMENTAL Y
ARCHIVO

4.2.4.3 Elementos Estructurales

- **COLUMNAS**

En el levantamiento arquitectónico que se realizó a las 4 edificaciones se encontró que las dimensiones de las columnas varían como se muestra en la Tabla 8 esto responde a la informalidad de las viviendas y que en muchos de los casos las columnas son compartidas con las edificaciones colindantes.

Tabla 8 Dimensiones de columnas

DIMENSIONES DE COLUMNAS		
MANZANA	# PISOS	DIM COLUMNAS [cm]
A	2	20x25
A	4	25x25
B	2	20x20
B	4	25x30

ELABORADO POR: AGUAIZA

Existen estudios en el sector como (Casco & Parra, 2020) que realizan una distribución probabilística de las propiedades de elementos estructurales con un total de muestras de 430 y demuestran que para secciones transversales de elementos columna la mayor probabilidad es 0.526 en la sección 20x30 cm como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9 Funciones de probabilidad y parámetros para variables

Variable	Tipo	Distribución	Parámetros	
Resistencia del Hormigón (f_c)	Continua	Log-normal	Media: 180 kg/cm ² Varianza: 36 kg/cm ² Valor máximo: 273 kg/cm ² Valor mínimo: 100 kg/cm ²	
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo (F_y)	Continua	Log-normal	Media acero longitudinal: 4200 kg/cm ² Varianza acero longitudinal: 294 kg/cm ² Media acero transversal: 2800 kg/cm ² Varianza acero transversal: 196 kg/cm ²	
Secciones transversales de elementos columna	Discreta		Sección(cmxcn)	Probabilidad
			20x20	0.142
			20x25	0.123
			25x25	0.209
			20x30	0.526

FUENTE: (Casco & Parra, 2020)

- **VIGAS Y LOSAS**

Los levantamientos arquitectónicos realizados en las 4 edificaciones se encontraron que las vigas son de tipo banda con dimensiones de base 20 cm y altura 20 cm como se observa en la Figura 25, se consideró una losa nervada de altura igual a 20 cm y un replantillo de 5 cm como se observa en la Figura 24, estas dimensiones tienen una gran incertidumbre por el motivo que no existe información sobre estos elementos estructurales y la informalidad de las viviendas.

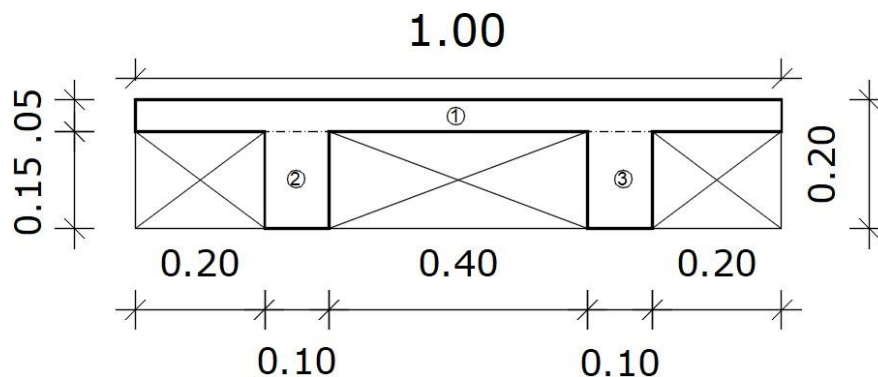


Figura 24 Configuración losa nervada

ELABORADO POR: AGUAIZA



Figura 25 Altura de vigas
ELABORADO POR: AGUAIZA

4.2.4.4 Elementos No Estructurales

- **MAMPOSTERÍA**

En la investigación de campo se pudo comprobar el uso de mampostería artesanal de bloque con una medida de 40x20x15 cm. Al no tener una caracterización de las propiedades mecánicas del bloque se tomó como referencia la tesis realizada por (Lima & Paredes, 2017), que realizaron un “Estudio Analítico-Experimental del Desempeño de un Pórtico de Hormigón Armado, relleno de Bloque de Baja Resistencia”. En este estudio se realizó el ensayo a compresión de tres muretes de mampostería de bloque de hormigón cuyas dimensiones fueron de 0.8 m de largo por 0.8 m de alto y 0.142 m de espesor.

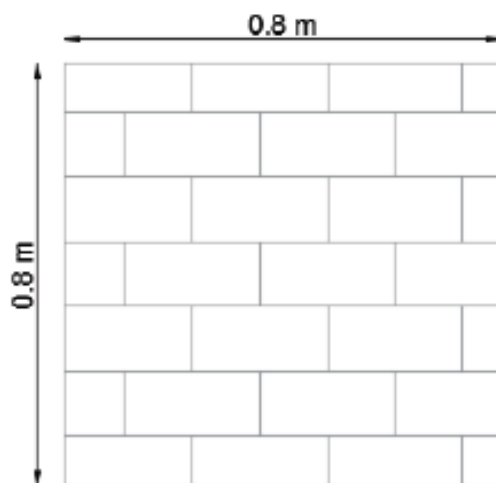


Figura 26 Dimensiones de muretes

FUENTE: (Lima & Paredes, 2017)

Tabla 10 Esfuerzo de compresión por murete

MURETES	ESBELTEZ	FACTOR DE CORRECCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESION CORREGIDO [kg/cm ²]
M1	5.63	1.08	7.71
M2	5.63	1.08	8.19
M3	5.63	1.08	8.96

FUENTE: (Lima & Paredes, 2017)

Tabla 11 Resistencia a la compresión del murete

\bar{f}'_w	8.25	Kg/cm ²
S	0.68	---
Cm	0.15	---
f'_w	6.00	Kg/cm ²

FUENTE: (Lima & Paredes, 2017)

4.2.5 MODELO COMPUTACIONAL DE LAS ESTRUCTURAS

4.2.5.1 Definición de Materiales

De acuerdo con la información obtenida en la investigación de campo y estudios realizados en el sector y la ciudad de Quito se definió las siguientes propiedades mecánicas de materiales.

- **HORMIGÓN**

Tabla 12 Propiedades Mecánicas del Hormigón

HORMIGÓN		
RESISTENCIA COMPRESIÓN [kg/cm ²]	f'c	180
DENSIDAD HORMIGÓN [kg/m ³]	ρ	2173

ELABORADO POR: AGUAIZA

FUENTE: (Casco & Parra, 2020; Estrada & Vivanco, 2019)

El estudio realizado por (Popovics et al., 2008) demostró que para cargas dinámicas el módulo de elasticidad es consistentemente más alto que el estático como se puede observar en la Figura 27. Por esta razón no se usó fórmulas más conservadoras y se calculó el módulo de elasticidad a partir de la ecuación (1.2) de la NEC-SE-HM.

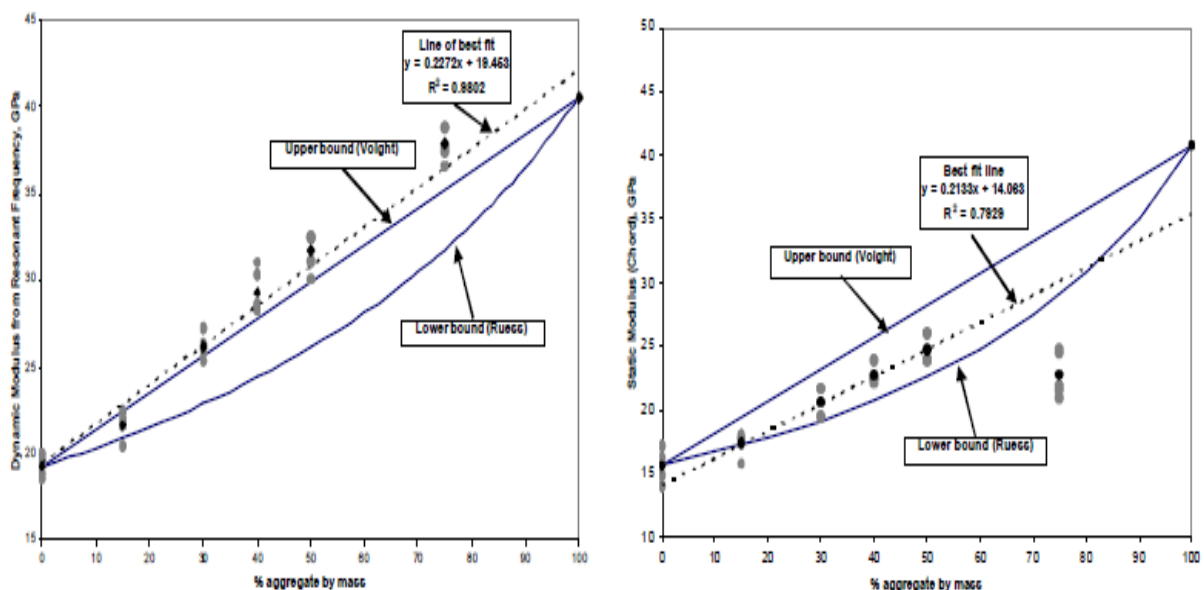


Figura 27 Variación del módulo de Young dinámico (izquierda) y estático (derecha) en función del contenido de áridos. E_c determinado mediante resonancia longitudinal siguiendo el procedimiento ASTM C215.

FUENTE: (Popovics et al., 2008)

$$E_c = 4.7\sqrt{f'c}$$

Donde:

E_c = Modulo de elasticidad para el hormigón (GPa)

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

$$E_c = 2033314.13 \frac{T}{m^2}$$

- **ACERO**

Tabla 13 Propiedades Mecánicas Acero de Refuerzo

ACERO DE REFUERZO		
ESFUERZO DE FLUENCIA ACERO LONGITUDINAL [kg/cm ²]	f_y	4200
ESFUERZO DE FLUENCIA ACERO TRANSVERSAL [kg/cm ²]	f_{yt}	2800

ELABORADO POR: AGUAIZA

FUENTE: DIRRECCIÓN METROPOLITANA DE GESTIÓN DOCUMENTAL Y

ARCHIVO

4.2.5.2 Definición de Secciones

- **COLUMNAS Y VIGAS**

Se definió las dimensiones de las columnas de acuerdo con el levantamiento de información como se observa en la Tabla 8 de la Sección 4.2.4.3 y para vigas se usará una base de 20 cm y una altura de 20 cm en los 4 modelos propuestos.

- **LOSA**

La modelación de la losa nervada de altura igual a 20 cm se realizó por medio de un Shell tipo Wafle como se detalla a continuación:

Property Data	
Type	Waffle
Overall Depth	0,2 m
Slab Thickness	0,05 m
Stem Width at Top	0,1 m
Stem Width at Bottom	0,1 m
Spacing of Ribs that are Parallel to Slab 1-Axis	0,5 m
Spacing of Ribs that are Parallel to Slab 2-Axis	0,5 m

Figura 28 Modelación losa nervada

ELABORADO POR: AGUAIZA

- **MAMPOSTERÍA**

La modelación de la mampostería se realizó por el método de Macro-Modelado, el cual está basado en el uso de puntales equivalentes, que ayudan a simplificar el estudio de edificaciones sometidas a cargas laterales como se muestra en la Figura 29.

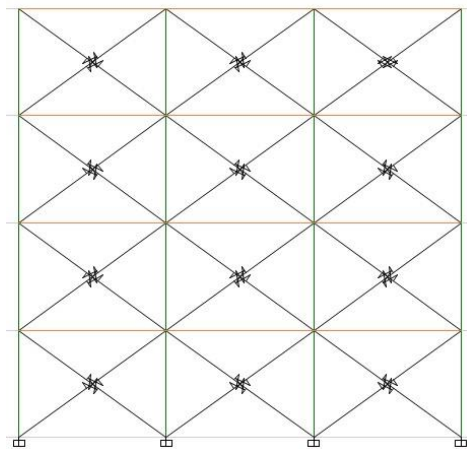


Figura 29 Diagonales equivalentes ubicados en los pórticos

ELABORADO POR: AGUAIZA

Para lograr un correcto análisis no lineal la modelación de las paredes de mampostería se hizo por medio de un elemento link, el cual es del tipo MultiLinear Plastic y actuará solo a compresión, como se detalla a continuación.

General							
Link Property Name	Link12-A		Link Type	MultiLinear Plastic			
Link Property Notes	Modify/Show Notes...		P-Delta Parameters	Modify/Show...			
Total Mass and Weight							
Mass	0	tonf-s ² /m	Rotational Inertia 1	0 tonf-m-s ²			
Weight	0	tonf	Rotational Inertia 2	0 tonf-m-s ²			
			Rotational Inertia 3	0 tonf-m-s ²			
Directional Properties							
Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Figura 30 Tipo y análisis de link

ELABORADO POR: AGUAIZA

Una vez definido el tipo de link se procedió a encontrar la curva de capacidad de la pared de mampostería, para esto se basó en las curvas de fragilidad para mampostería de bloque, obtenidas de la tesis (Grijalva & Narváez, 2018).

Las curvas de fragilidad representan “la probabilidad que la respuesta de una estructura sobre pase un determinado estado de limite” (Bonett, 2003). Las curvas de fragilidad están en función de la deriva Δ (%) y de la fuerza parametrizada (T/T).

$$\Delta [\%] = \frac{\Delta_{p2} - \Delta_{p1}}{\Delta H} * 100 \quad (4.1)$$

Donde:

Δ = Deriva (%)

Δ_{p1} = Desplazamiento piso inferior

Δ_{p2} = Desplazamiento piso superior

ΔH = Altura entrepiso

$$F = \sigma_c * A_b \quad (4.2)$$

Donde:

F = Fuerza

σ_c = Esfuerzo a compresión murete

A_b = Área bruta murete

Para este caso de estudio se decidió tener una probabilidad del 80% en los diferentes niveles de daño de todas las estructuras.

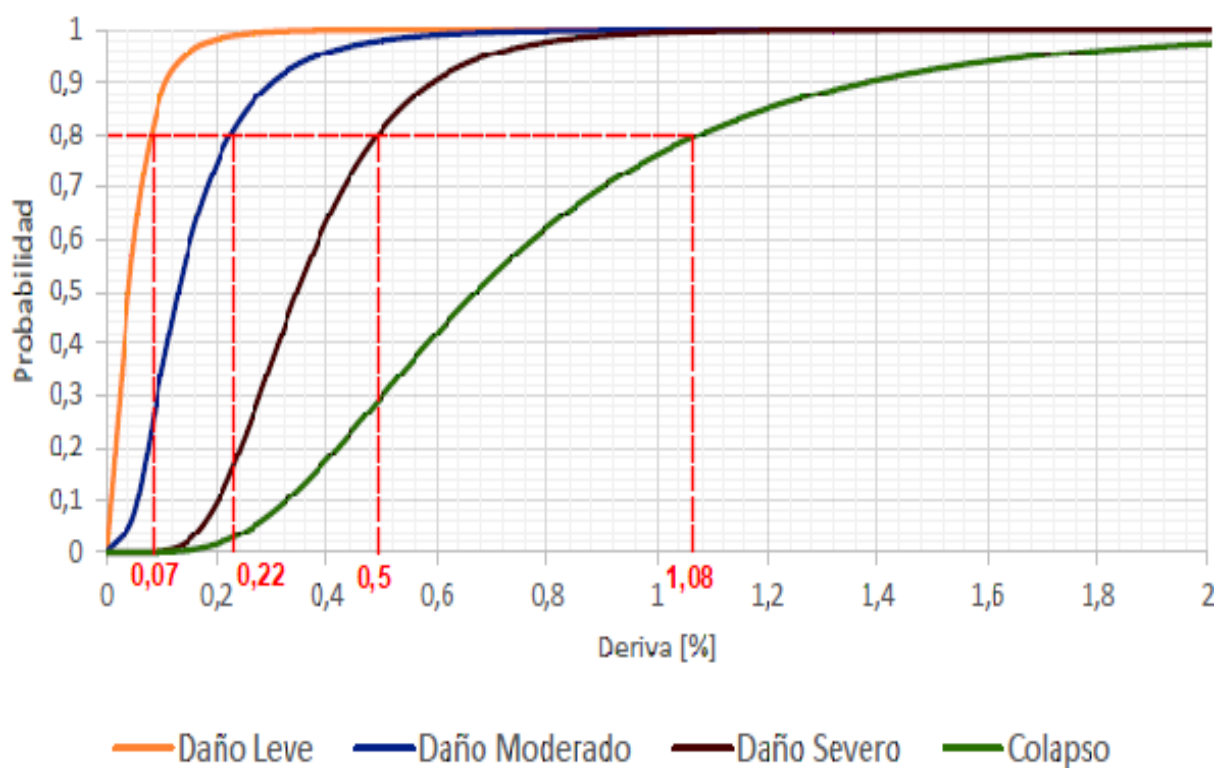


Figura 31 Curvas de fragilidad para mampostería de bloque

FUENTE: (Grijalva & Narváez, 2018)

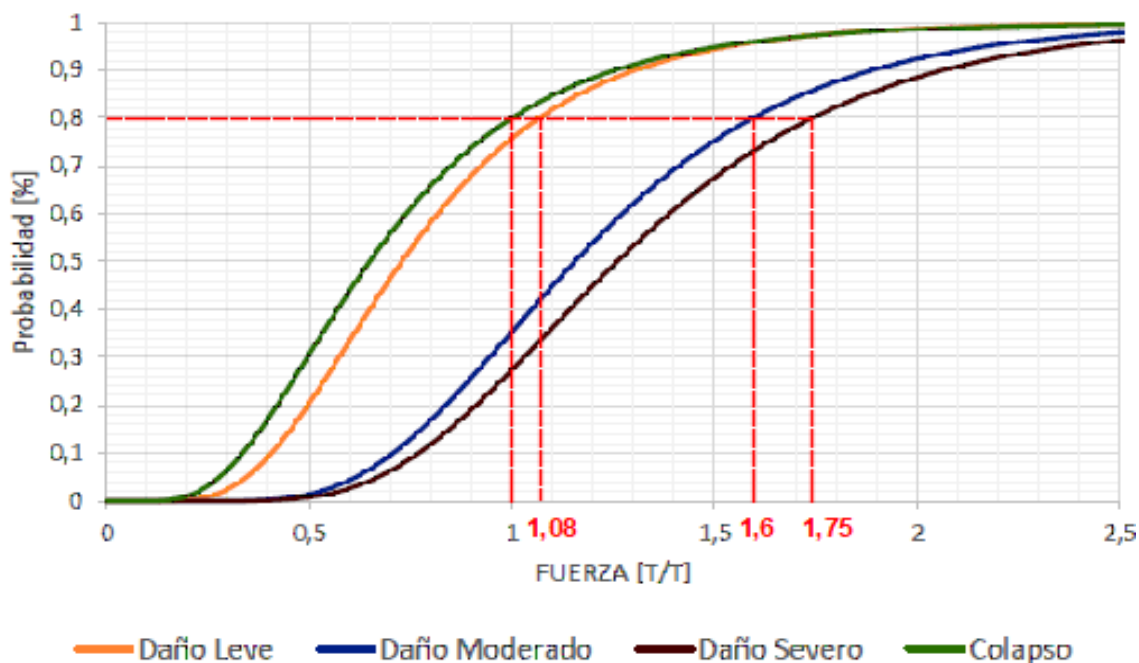


Figura 32 Curvas de fragilidad en fuerza (parametrizadas) para mampostería de bloque

FUENTE: (Grijalva & Narváez, 2018)

Tabla 14 Desplazamiento por niveles de daño mampostería

ALTURA ENTREPISO (m)		2,20
NIVEL DE DAÑO	DERIVA (%)	DESPLAZAMIENTO (mm)
LEVE	0,07	1,54
MODERADO	0,22	4,84
SEVERO	0,5	11,00
COLAPSO	1,08	23,76

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 15 Fuerza por niveles de daño mampostería

ESFUERZO COMPRESIÓN MURETE (kg/cm ²)		6,00
ÁREA MURETE (cm ²)		1136,00
NIVEL DE DAÑO	FUERZA PARAMETRIZADA(T/T)	FUERZA (T)
LEVE	1,08	7,36
MODERADO	1,60	10,91
SEVERO	1,75	11,93
COLAPSO	1,00	6,82

ELABORADO POR: AGUAIZA

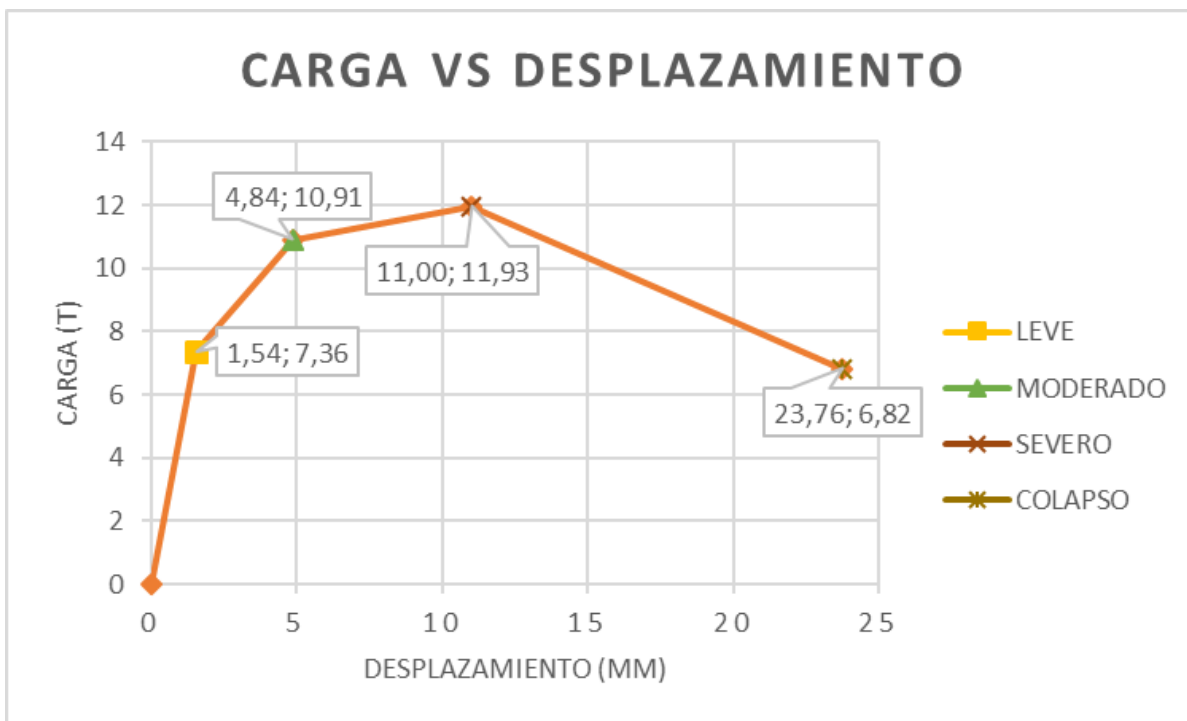


Figura 33 Curva de capacidad mampostería

ELABORADO POR: AGUAIZA

- **CONTRAPISO Y CADENAS DE AMARRE**

Se utilizó un contrapiso de altura igual a 5 cm y cadenas de amarre de 20 cm de base y 20 cm de altura, estos elementos se los utilizó con la finalidad que los resultados para asentamientos se acerquen más a la realidad, el contrapiso se modelo como un elemento Shell y las cadenas como una viga.

Al contra piso se asignó resortes que interpreten el comportamiento entre suelo y la estructura, este comportamiento depende del coeficiente de balasto al cual se lo definió de acuerdo con las propiedades geotécnicas del sector.

- **COEFICIENTE DE BALASTO**

El coeficiente de balasto es la relación entre la presión ejercida sobre el suelo y la deformación producida por dicha presión (Terzaghi, 1955), este coeficiente se determina con diferentes ensayos de placa de carga, se pueden usar ensayos con placas cuadradas de 30x30 cm cuyo resultado se denomina “k30” y el ensayo CBR (California Bearing Ratio) cual usa una placa circular con diámetro de 76 cm cuyo valor se denomina “k76” (Terzaghi, 1955; Winter & Nilson, 1977).

Para este estudio se usó la información obtenida en la investigación realizada por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador; (Bucheli & Realpe, 2018) obtuvieron un perfil Geotécnico y Estratigráfico (ANEXO II) que de acuerdo a la clasificación de suelo SUCS a una profundidad de 0,1 m se obtuvo un suelo tipo MH “suelos arenosos finos, con mica o tierra de diatomeas, limos elásticos” con presencia de pedazos de ladrillos.

La interpretación geotécnica del sector según (Bucheli & Realpe, 2018) la define como un extracto de suelo constituido por materiales de relleno conformados por ladrillos, madera, ropa y vidrios, que se encuentran en una matriz de arenas limosas a limos arenosos, compresibles de media plasticidad en estado húmedo.

Definido el tipo de suelo se utilizó la tabla propuesta por (Arroyo, 2017) que relaciona el tipo de suelo según la clasificación SUCS y el coeficiente de balasto para una placa cuadrada k30.

Tabla 16 Valores de balasto

División primaria	Grupo de suelos y descripción típica	Símbolo	kN/m^3	
			$K_{30(B)=30, min}$	$K_{30(B)=30, max}$
Gravas y suelos con gravas	Gravas con buena granulometría o mezclas de arena y grava. Pocos finos.	GW	280000	400000
	Mezclas de arcilla-arena-grava, con buena granulometría. Excelente trabazón	GC	240000	400000
	Gravas con pobre granulometría y mezclas de arena y bravas. Pocos finos.	GP	180000	280000
	Gravas con finos, gravas limosas, gravas arcillosas. Mezclas arcilla, arena y grava con mala granulometría.	GF	150000	280000
Arenas y suelos arenosos	Arenas con buena granulometría y arenas con gravas. Pocos finos.	SW	150000	350000
	Mezclas de arenas y arcillas con buena granulometría. Excelente trabazón	SC	150000	350000
	Arenas con mala granulometría. Pocos finos	SP	130000	200000
	Arenas con finos, arenas limosas, arenas arcillosas. Mezclas arena-arcilla con mala granulometría.	SF	110000	200000
Suelos de grano fino con baja o media plasticidad	Limos inorgánicos y arenas finas. Polvo rocoso, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad	ML	90000	200000
	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o media, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	CL	90000	130000
	Limos orgánicos y limo-arcillas de baja plasticidad.	OL	70000	110000
Suelos de grano fino con plasticidad alta	Suelos arenosos finos, con mica o tierra de diatomeas, limos elásticos.	MH	40000	110000
	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta, arcillas gruesas.	CH	40000	90000
	Arcillas inorgánicas de plasticidad media o baja	OH	40000	90000

FUENTE: (Arroyo, 2017)

El estudio realizado por (Terzaghi, 1955) manifiesta que el valor numérico del coeficiente de balasto disminuye conforme aumenta el ancho (B) de la superficie de contacto. Terzaghi desarrolló fórmulas para obtener el coeficiente de balasto (k) de acuerdo al tipo de suelo y la configuración de la superficie de contacto. Para este caso se partido de la ecuación (4.3) desarrollada por (Terzaghi, 1955)

$$k_{cuadrado} = k_{30} \left(\frac{B + 0.3}{2B} \right)^2 \quad (4.3)$$

Donde:

$k_{cuadrado}$ = Coeficiente de balasto para suelos arenosos (kg/cm³)

B = Ancho de la superficie de contacto

k_{30} = Coeficiente de balasto placa 30x30 cm (kg/cm³)

Se tomó como ancho de la superficie de contacto al lado más largo del contrapiso de cada vivienda, definido previamente en el levantamiento arquitectónico (Anexo I). Para obtener un resultado adecuado a la configuración de cada contrapiso se usó la fórmula (4.4) que relaciona una losa rectangular con una superficie cuadrada donde $B > L$ (Terzaghi, 1955).

$$k_{rectangular} = \frac{2}{3} * k_{cuadrado} \left(1 + \frac{L}{2B} \right) \quad (4.4)$$

Tabla 17 Coeficientes de balasto

VIVIENDA	B (m)	L (m)	$k_{30 \times 30}$ (kg/cm ³)	k cuadrado (kg/cm ³)	k rectangular (kg/cm ³)
MZ A - 2 PISOS	9,50	6,40	4,00	1,06	0,95
MZ A - 4 PISOS	9,90	9,60	4,00	1,06	1,05
MZ B - 2 PISOS	7,00	6,60	4,00	1,09	1,07
MZ B - 4 PISOS	9,90	9,60	4,00	1,06	1,05

ELABORADO POR: AGUAIZA

4.2.5.3 Armado de Columnas y Vigas

El armado longitudinal de las columnas está compuesto por 4 varillas Φ de 14 mm como se muestra en la Figura 34 y el armado transversal son estribos Φ 8 mm con separaciones de 10 cm en los extremos y 20 cm en las partes medias (Casco & Parra, 2020).

Para el armado de las vigas se usó el mismo criterio que las columnas tanto para el armado longitudinal y transversal.



Figura 34 Cuadro de columnas proyecto Solanda

FUENTE: DIRECCIÓN METROPOLITANA DE GESTIÓN DOCUMENTAL Y ARCHIVO

4.2.6 CÁLCULO DE CARGAS

4.2.6.1 Carga Muerta

El cálculo de la carga muerta se realizó para las vigas, columnas, losas, mampostería, enlucido, masillado e instalaciones de acuerdo a las diferentes propiedades mecánicas de los materiales usados. El peso de vigas y columnas se calculó con la ayuda del modelo computacional.

- LOSA

Para el cálculo del peso de la losa se consideró la loseta, nervios y alivianamientos.

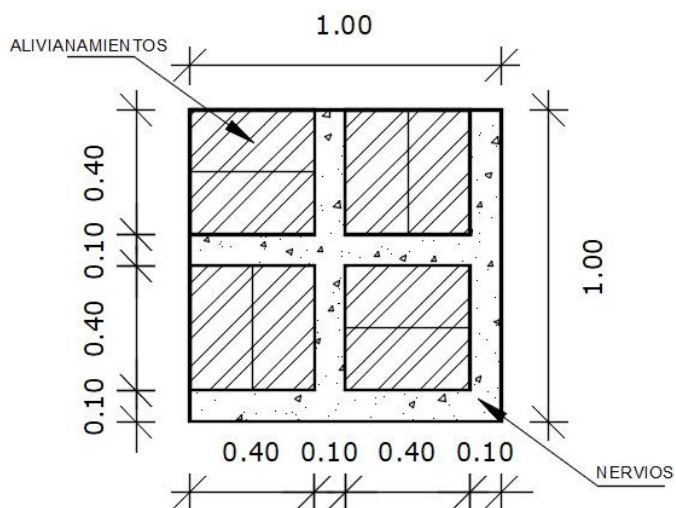


Figura 35 Vista en planta losa nervada 1 m²

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 18 Cálculo peso losa nervada

PESO LOSA NERVADA	
Densidad Hormigón [T/m ³]	2,173
Altura Losa [m]	0,20
Altura Nervio [m]	0,15
Altura Loseta [m]	0,05
Ancho Nervio [m]	0,10
Ancho Alivianamiento [m]	0,40
Peso Alivianamiento Saturado[T]	0,011
# Alivianamientos	8
Peso Loseta [T/m ²]	0,109
Peso Nervios [T/m ²]	0,117
Peso Alivianamiento [T/m ²]	0,088
Peso Losa [T/m ²]	0,314

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 19 Cálculo peso enlucido y masillado losa

PESO ENLUCIDO Y MASILLADO LOSA	
Densidad Masillado-Enlucido [T/m ³]	2,173
Espesor [m]	0,03
Peso Enlucido-Masillado [T/m ²]	0,07

ELABORADO POR: AGUAIZA

Para instalaciones sanitarias y eléctricas se tomó 0.09 T/m², valor recomendado como peso específico de instalaciones y acabados (NEC15-SE-CG, 2015).

Tabla 20 Peso final losa

PESO FINAL LOSA	
Peso Alivianamiento [T/m ²]	0,088
Peso Enlucido-Masillado [T/m ²]	0,07
Peso Instalaciones [T/m ²]	0,09
Peso Final [T/m ²]	0,25

ELABORADO POR: AGUAIZA

- **MAMPOSTERÍA**

El cálculo de carga muerta producida por la mampostería se lo realizó de acuerdo a la distribución de las paredes obtenidas en el levantamiento arquitectónico, considerando como resultado final el promedio de las cuatro viviendas.

Tabla 21 Cálculo del peso de mampostería

PESO MAMPOSTERÍA		
ESPELOR [m]		0,146
DENSIDAD SECA [T/m³]		1,62
VIVIENDA	VOLUMEN [m³]	PESO [T]
A1	8,44	13,67
A2	12,35	20,01
B1	8,61	13,95
B2	11,87	19,23

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 22 Cálculo del peso de masillado

PESO MASILLADO		
ESPELOR [m]		0,02
DENSIDAD SECA [T/m³]		1
VIVIENDA	VOLUMEN [m³]	PESO [T]
A1	1,16	1,16
A2	1,69	1,69
B1	1,18	1,18
B2	1,63	1,63

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 23 Resumen de carga muerta por mampostería y masillado

CM POR MAMPOSTERÍA Y MASILLADO			
VIVIENDA	AREA NETA [m2]	PESO TOTAL [T]	CM [T/m2]
A1	54,91	14,83	0,27
A2	89,73	21,70	0,24
B1	49,66	15,13	0,30
B2	100,98	20,86	0,21
PROMEDIO			0,26

ELABORADO POR: AGUAIZA

La carga muerta total es la suma de la carga producida por la losa y la mampostería.

4.2.6.2 Carga Viva

La carga viva fue determinada de acuerdo a la Tabla 9 “Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas L_0 , y concentradas P_0 ” (NEC15-SE-CG, 2015) de acuerdo a la ocupación y usos.

Tabla 24 Carga viva

Ocupación o Uso	Carga Uniforme [kN/m2]	Carga Uniforme [T/m2]
Residencias		
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2,00	0,20
Hoteles y residencias multifamiliares		
Habitaciones	2,00	0,20
Salones de uso público y sus comedores	4,80	0,48

FUENTE: (NEC15-SE-CG, 2015)

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 25 Resumen carga muerta y viva

CARGA MUERTA Y VIVA FINAL	
Carga Muerta de Entrepiso [T/m2]	0,50
Carga Muerta de Cubierta [T/m2]	0,25
Carga Viva de Entrepiso [T/m2]	0,20
Carga Viva de Cubierta [T/m2]	0,15

ELABORADO POR: AGUAIZA

La carga muerta y viva se asignarán como cargas distribuidas uniforme en la losa de cada piso de las diferentes edificaciones.

4.2.6.3 Carga Sísmica

La carga lateral se calculó en función al corte basal de diseño definido por el capítulo “Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente” de la NEC15.

El corte basal total de diseño “V” a nivel de cargas ultimas aplicado a una estructura en una dirección, está definido por la siguiente ecuación (NEC15-SE-SD, 2015).

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \Phi_P * \Phi_E} * W \quad (4. 5)$$

Donde:

V=Cortante basal total de diseño

I= Coeficiente de importancia

$Sa(Ta)$ = Espectro de diseño en aceleración

R= Factor de reducción de resistencia sísmica

Φ_P = Coeficiente de configuración en planta

Φ_E = Coeficiente de configuración en elevación

W= Carga sísmica reactiva (peso total de la estructura)

- **Coeficiente de Importancia “I”**

El principal objetivo del factor de importancia “I” es aumentar la demanda sísmica de diseño, con el fin que las estructuras permanezcan operativas o sufran los menores daños posibles durante y después de la presencia del sismo de diseño (NEC15-SE-SD, 2015).

Las edificaciones se clasificarán de acuerdo con la Tabla 6 de la sección 4.1 del capítulo NEC15-SE-SD.

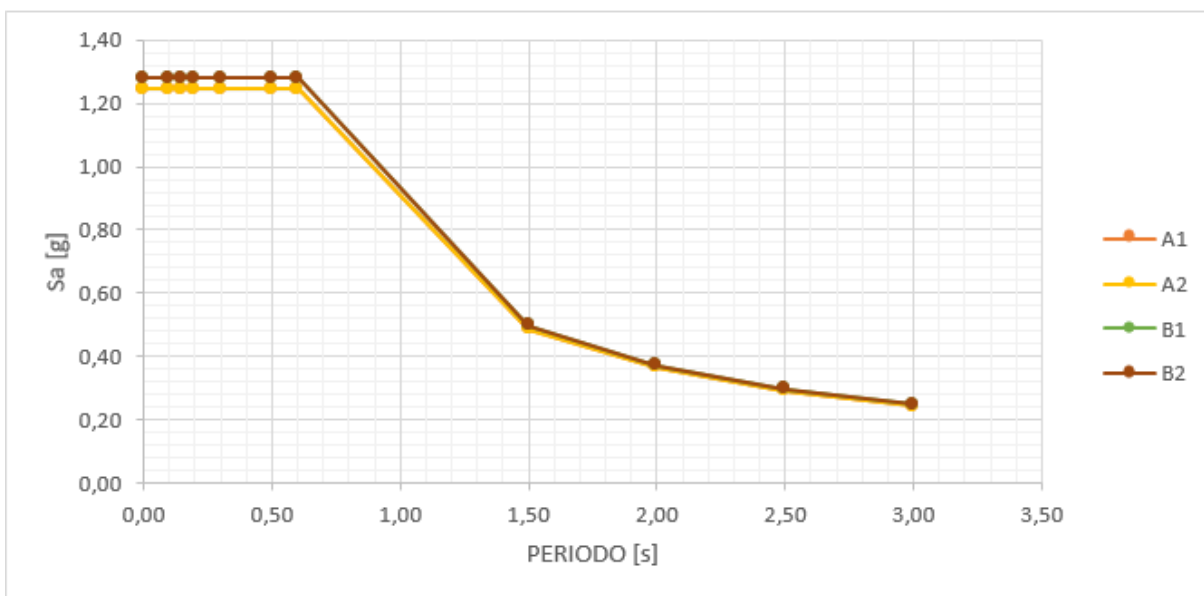


Figura 37 Espectro de diseño (SISQuito)

ELABORADO POR: AGUAIZA

- **Período de Vibración “T”**

MÉTODO 1

De acuerdo a la (NEC15-SE-SD, 2015) el valor de T se determinó de manera aproximada mediante la siguiente ecuación:

$$T = C_t h_n^\alpha \quad (4.6)$$

Donde:

C_t = Coeficiente depende del tipo de edificio (Sección 6.3.3)

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos en metros

α = Coeficiente depende del tipo de edificio (Sección 6.3.3)

T = Período de vibración

Tabla 27 Periodo de Vibración Viviendas

EDIFICACIÓN	hn [m]	Ct	α	T [s]
A1	4,80	0,055	0,90	0,23
A2	9,60	0,055	0,90	0,42
B1	4,80	0,055	0,90	0,23
B2	9,60	0,055	0,90	0,42

ELABORADO POR: AGUAIZA

- **Coefficiente de ajuste a la respuesta del Comportamiento Estructural “X”**

De acuerdo al (ASCE/SEI 41, 2017) el valor recomendado para el coeficiente de ajuste a la respuesta del comportamiento estructural para análisis no lineal es igual a 1. Este valor fue asignando esperando que las estructuras tengan una respuesta de su comportamiento estructural igual a la prevención del colapso (CP).

Para el cálculo del corte basal se realizó análisis lineales estáticos con un valor del coeficiente de ajuste igual a 1.5 (ASCE/SEI 41, 2017), se recomienda este valor para evaluación de estructuras existentes.

- **Coefficiente de Configuración en Elevación y Planta “ Φ_P y Φ_E ”**

Después de haber realizado las encuestas en el sector de Solanda, se puede concluir que no se encontró irregularidad en planta y en elevación, además que todas las estructuras se encuentran demasiado cercanas entre sí como para desarrollar problemas de torsión. Por esta razón se consideran a las estructuras como regulares y el valor a usar para los coeficientes Φ_P y Φ_E será de 1.

En la Tabla 28 se observan los parámetros definidos para calcular el corte basal de las cuatro edificaciones en estudio.

Tabla 28 Parámetros para el cálculo del corte basal

PARAMETRO	UNIDAD	A1	A2	B1	B2	REFERENCIA NEC15-SE-DS
I	-	1	1	1	1	NEC 15 SE-SD Sección 4,1 - Tabla 6
Sa	g	1,25	1,25	1,28	1,28	NEC 15 SE-SD Sección 3,3,1
X	-	1,5	1,5	1,5	1,5	ASCE/SEI 41 Sección 7,5,2,1,2
Φ_P	-	1	1	1	1	NEC 15 SE-SD Sección 5,2,3 - Tabla 13
Φ_E	-	1	1	1	1	NEC 15 SE-SD Sección 5,2,3 - Tabla 14
Cv	-	0,83	0,83	0,85	0,85	NEC 15 SE-SD Sección 6,3,2

ELABORADO POR: AGUAIZA

4.2.7 PONDERACIÓN DE VALORES PARA VARIABLES DE LA ENCUESTA

Identificadas las características de los materiales y secciones de las viviendas a evaluar se hizo un análisis estático no lineal para identificar el máximo nivel de afectación ante subsidencias de suelo y sismo.

El análisis no lineal estático parte de la no linealidad del material y de la idealización de su comportamiento, para lograr esta idealización se asigna zonas de plasticidad a cada elemento estructural (vigas y columnas) en estas zonas se presentarán los posibles daños una vez que se agote su capacidad por medio de “rotulas plásticas” (ASCE/SEI 41, 2017).

Para la evaluación del nivel de afectación que ocurre por subsidencias de suelo se realizó mediante la técnica de Pulldown y para sismo se lo hizo con la técnica de Pushover, ambas técnicas parten del principio del análisis no lineal estático.

4.2.7.1 Subsidencias de Suelo

Pulldown es una metodología usada para evaluar el desempeño de una estructura afectada por subsidencias de suelos, este análisis se basa en evaluar los desplazamientos verticales en el apoyo de la estructura que fue previamente definido. El análisis Pulldown es semejante al análisis Pushover, la diferencia radica en la dirección que son evaluados los desplazamientos (Ramírez, 2015).

El Pushover evalúa los desplazamientos en sentido horizontal, mientras que el Pulldown los considera en el sentido vertical. A continuación, se detalla el procedimiento realizado para el análisis Pulldown:

1. Obtener el valor de la fuerza resultante vertical en la reacción considerando únicamente las cargas gravitacionales, para cada columna del eje que se va a sentar.
2. Reemplazar los apoyos empotrados de las columnas que se asientan, por apoyos que únicamente permitan el desplazamiento vertical.
3. Regresar la estructura a su estado inicial, incorporando el valor de la fuerza resultante obtenida en el paso 1, en todas las columnas.
4. Reducir la magnitud de la fuerza incorporada en el paso 3, hasta llegar al fallo de los elementos estructurales o daños en las paredes de mampostería.
5. Cuantificar el asentamiento en las columnas una vez finalizado el proceso.

Este procedimiento se lo realizó en la tesis (Casco & Parra, 2020).

Para lograr una correcta modelación no lineal de las estructuras se decidió colocar elementos link que interpreten el comportamiento no lineal de las paredes de mampostería de acuerdo a su curva de capacidad como se describió en la sección 4.2.5.2.

La curva de capacidad está representada de acuerdo a sus diferentes niveles de daño; (Zúñiga & Terán, 2008) establecieron los niveles de daño de acuerdo a una curva tri-lineal que es una envolvente de la curva de capacidad, estos tres puntos establecen los diferentes intervalos en los cuales se puede observar cómo cambia el estado de degradación y daño de la mampostería, a continuación se observa en la Figura 38 el cambio de estado para los diferentes niveles de daño.

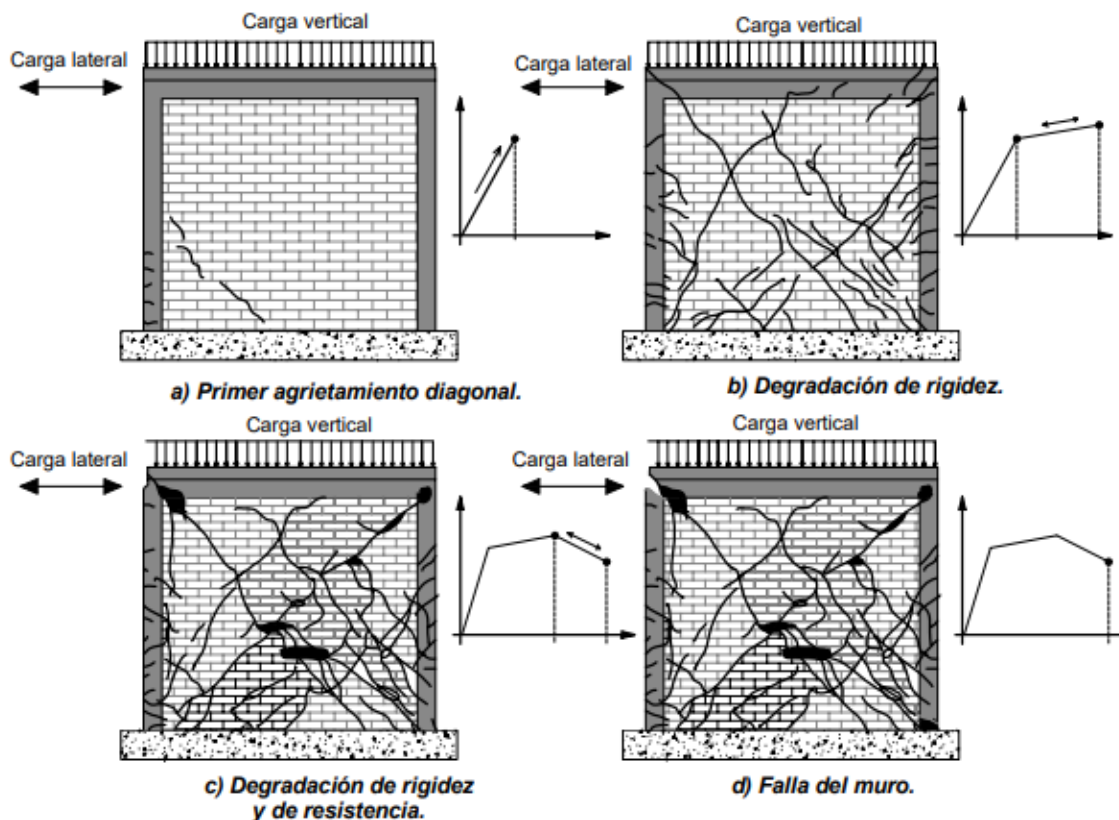


Figura 38 Evolución del daño estructural en muros de mampostería confinada

FUENTE: (Zúñiga & Terán, 2008)

Para una adecuada interpretación de los resultados se realizó una representación gráfica para los diferentes niveles de daño en las paredes de mampostería afectadas como se muestra en la Tabla 29

Tabla 29 Representación gráfica diferentes niveles de daño

NIVEL DE DAÑO	REPRESENTACIÓN GRAFICA
Comportamiento elástico	Verde
Degradación de rigidez	Amarillo
Degradación de rigidez y resistencia	Naranja
Falla	Rojo

ELABORADO POR: AGUAIZA

Las paredes de mampostería no afectadas fueron representadas con el color gris.

- AFECTACIÓN POR SUBSIDIENCIAS DE SUELO PARA PAREDES DE MAMPOSTERÍA VIVIENDA 2 PISOS MZ-A

a) EJE ASENTADO "A" (ANEXO I)

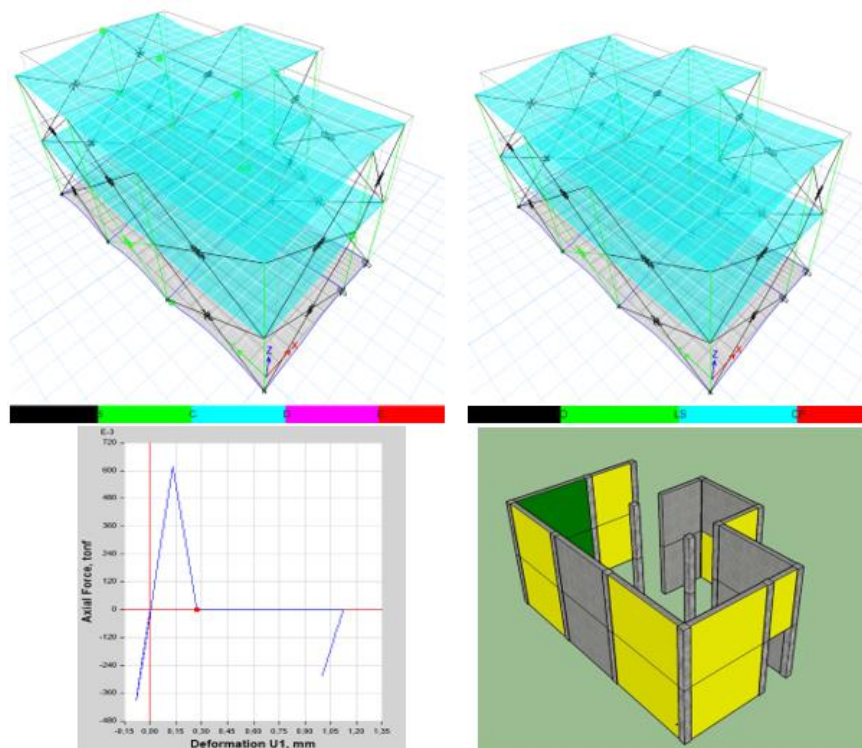
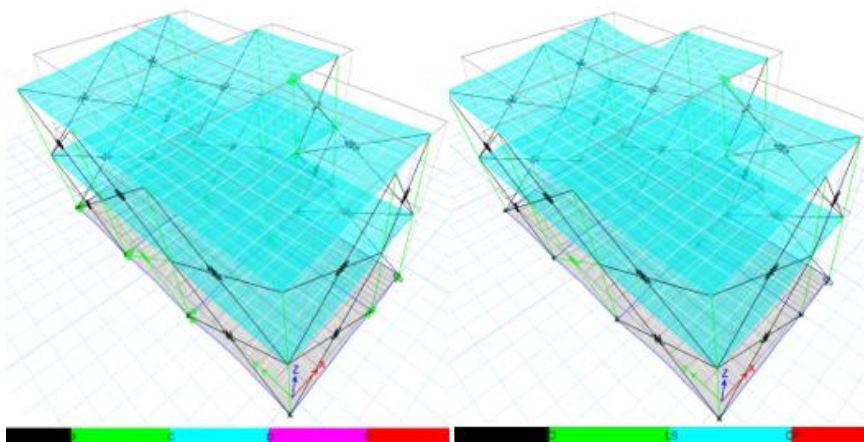


Figura 39 Nivel de daño en paredes de mampostería para 1 eje asentados MZ A
vivienda de 2 pisos

ELABORADO POR: AGUAIZA

a) EJES ASENTADOS "A" Y "B" (ANEXO I)



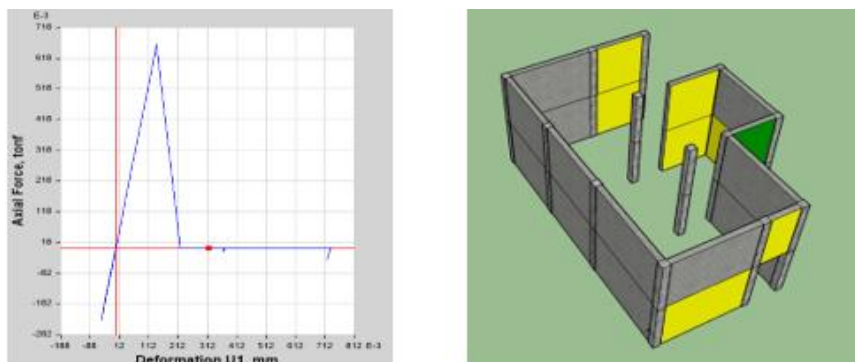


Figura 40 Nivel de daño en paredes de mampostería para 2 ejes asentados MZ A
vivienda de 2 pisos
ELABORADO POR: AGUAIZA

• **AFECCIÓN POR SUBSIDENCIAS DE SUELO PARA PAREDES DE MAMPOSTERÍA VIVIENDA 4 PISOS MZ-A**

a) EJE ASENTADO "D" (ANEXO I)

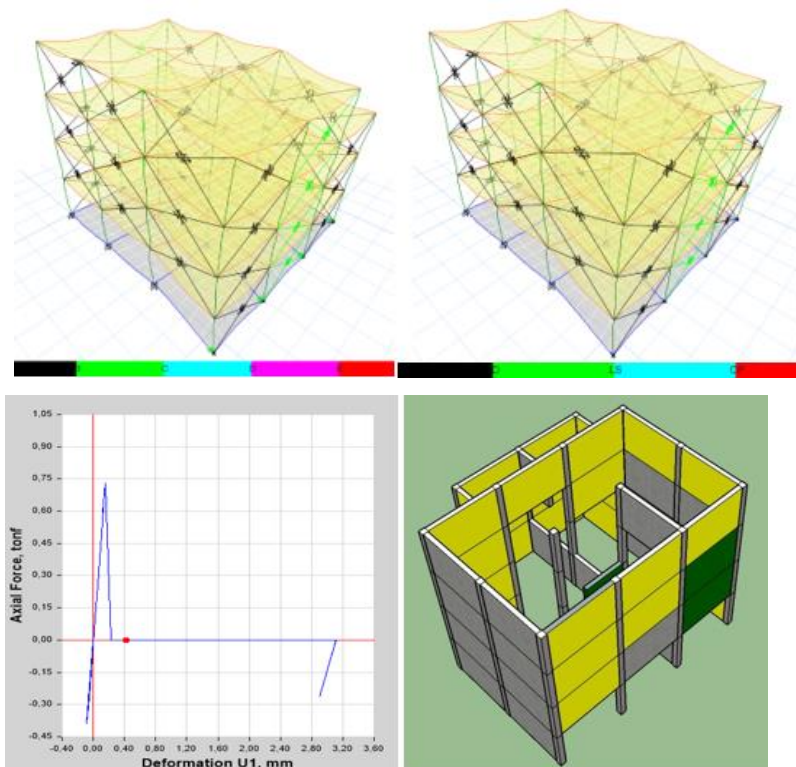


Figura 41 Nivel de daño en paredes de mampostería para un eje asentado MZ A
vivienda de 4 pisos
ELABORADO POR: AGUAIZA

b) EJES ASENTADOS "C" Y "D" (ANEXO I)

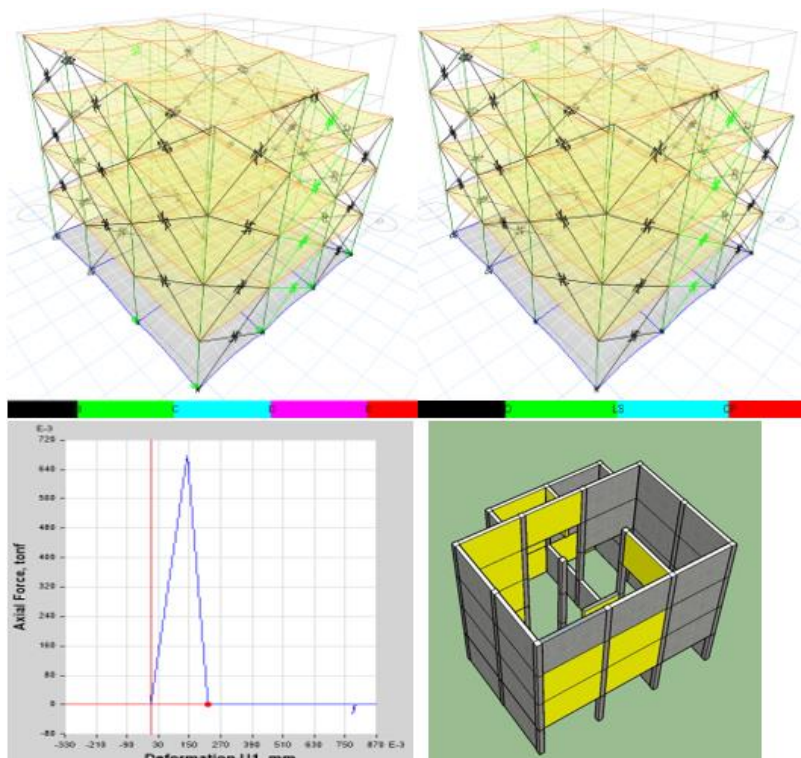
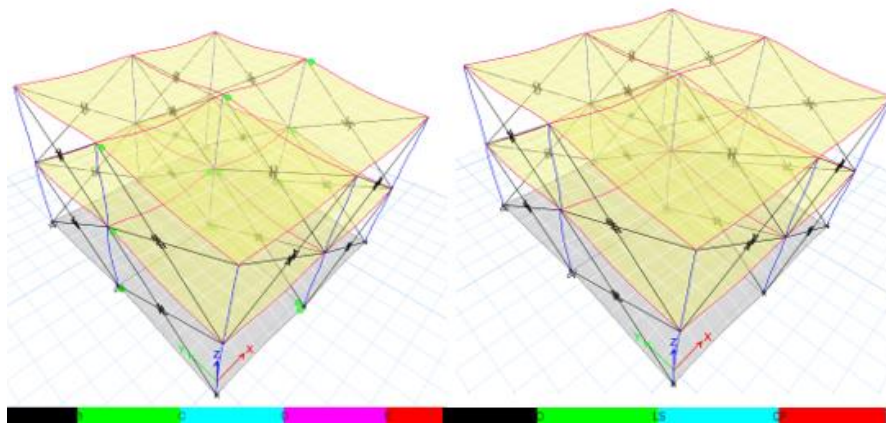


Figura 42 Nivel de daño en paredes de mampostería para 2 ejes asentados MZ A
vivienda de 4 pisos

ELABORADO POR: AGUAIZA

- **AFECTACIÓN POR SUBSIDENCIAS DE SUELO PARA PAREDES DE MAMPOSTERÍA VIVIENDA 2 PISOS MZ-B**

a) EJE ASENTADO "3" (ANEXO I)



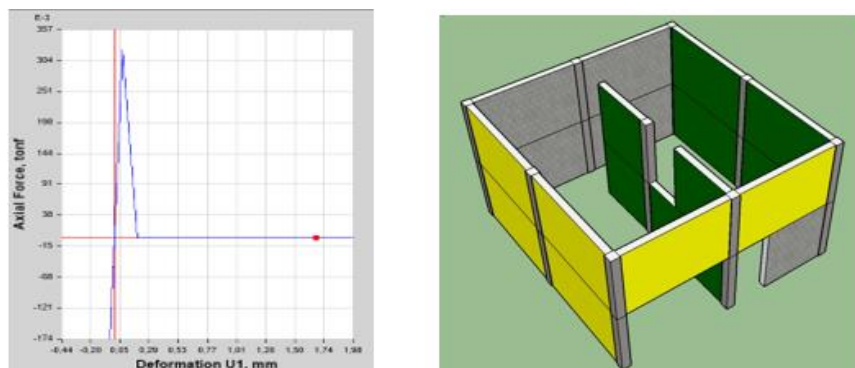


Figura 43 Nivel de daño en paredes de mampostería para un eje asentado MZ B
vivienda de 2 pisos
ELABORADO POR: AGUAIZA

b) EJES ASENTADOS “2” Y “3” (ANEXO I)

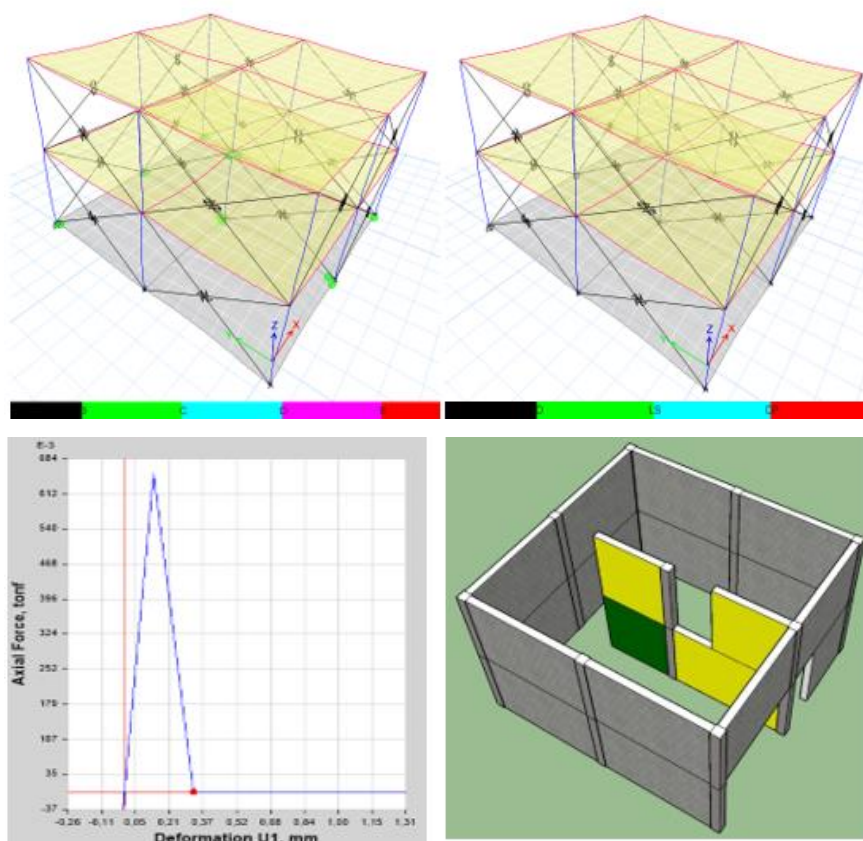


Figura 44 Nivel de daño en paredes de mampostería para 2 ejes asentados MZ B
vivienda de 2 pisos
ELABORADO POR: AGUAIZA

- AFECTACIÓN POR SUBSIDENCIAS DE SUELO PARA PAREDES DE MAMPOSTERÍA VIVIENDA 4 PISOS MZ-B

a) EJE ASENTADO "4" (ANEXO I)

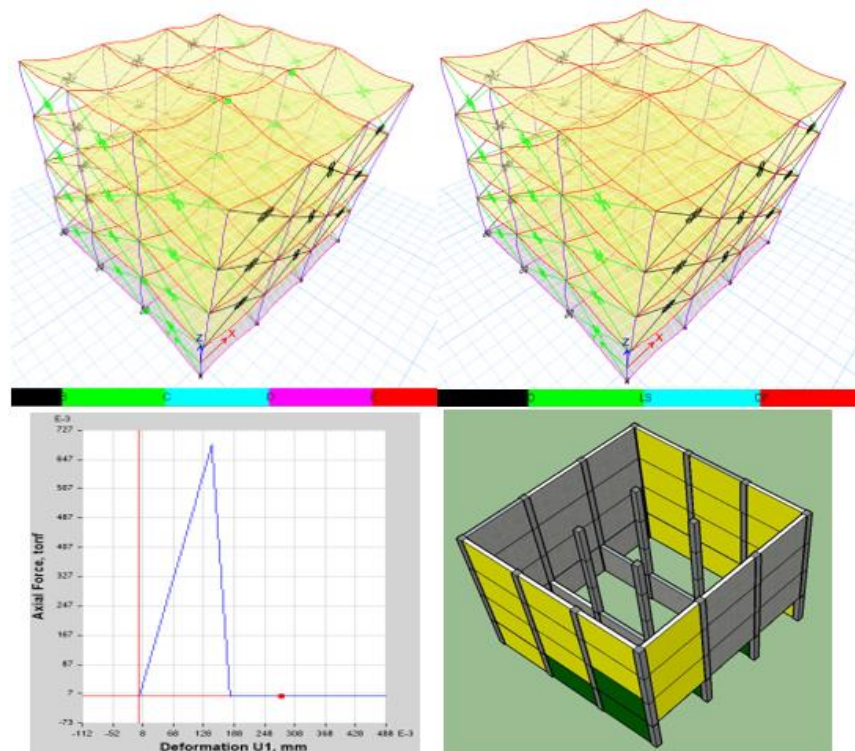
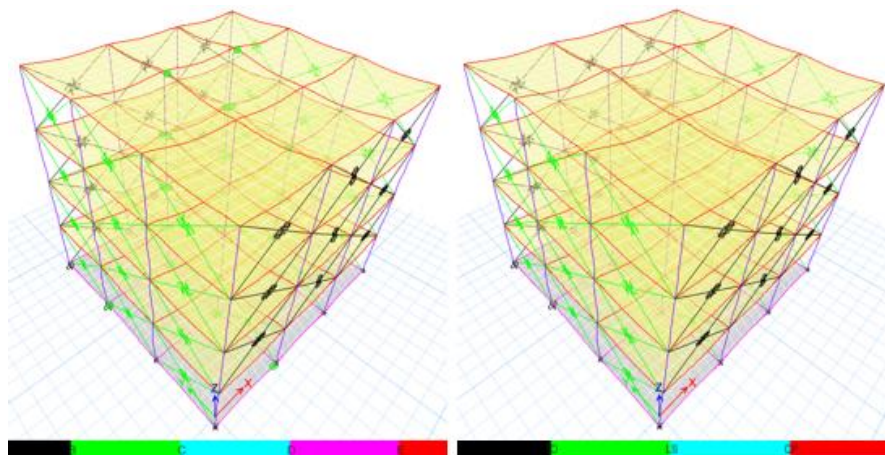


Figura 45 Nivel de daño en paredes de mampostería para un eje asentado MZ B
vivienda de 4 pisos

ELABORADO POR: AGUAIZA

b) EJES ASENTADOS "3" Y "4" (ANEXO I)



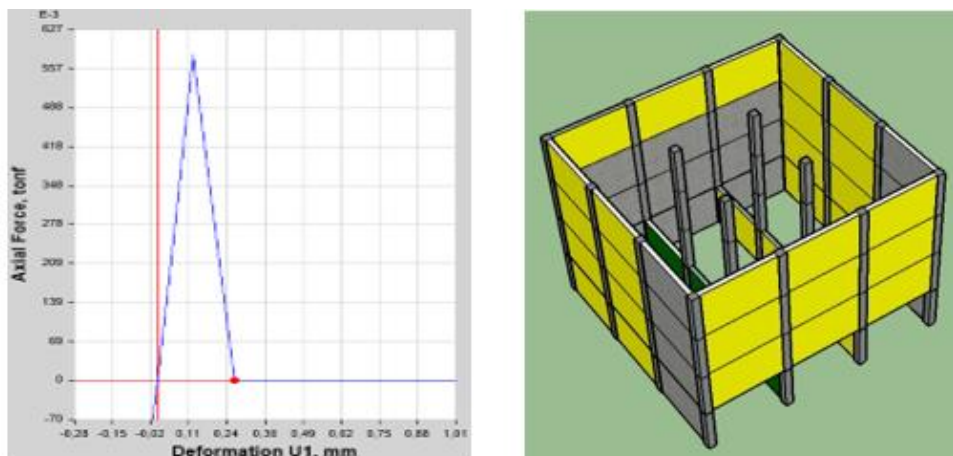


Figura 46 Nivel de daño en paredes de mampostería para 2 ejes asentados MZ B
vivienda de 4 pisos

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 30 Asentamientos máximos y mínimos

VIVIENDA	ASENTAMIENTO (m)	
MZ A - 2 PISOS	Máximo	-0,001909
	Mínimo	-0,001514
MZ A - 4 PISOS	Máximo	-0,005056
	Mínimo	-0,002866
MZ B - 2 PISOS	Máximo	-0,003279
	Mínimo	-0,002049
MZ B - 4 PISOS	Máximo	-0,005742
	Mínimo	-0,003235

ELABORADO POR: AGUAIZA

Se evidenció en los análisis de Pulldown que las paredes de mampostería son los elementos donde se produce los primeros niveles de daño, provocando una degradación rápida de la rigidez y evidenciando en las curvas de capacidad que la mampostería tiene una aportación relevante en el rango elástico mientras que en el rango inelástico su aporte es casi nulo.

Para lograr una mayor precisión en los resultados se calibró los modelos computacionales de acuerdo a la interrelación que existe entre las estructuras adyacentes, existiendo una afectación directa en los asentamientos ocasionado por el aumento de cargas gravitacionales, como se puede observar en las Fotografías 7 y 8.



Fotografía 7 Afectación por subsidencias de suelo
ELABORADO POR: AGUAIZA



Fotografía 8 Interrelación de estructuras adyacentes
ELABORADO POR: AGUAIZA

4.2.7.2 Sismo

Para el cálculo de afectación producido por sismo en las estructuras se realizó mediante la técnica de Pushover, esta consiste en dar un empuje lateral a una estructura definida hasta que llegue a su colapso y lograr determinar una curva de capacidad, esta curva relaciona el desplazamiento lateral máximo y el cortante basal en el último piso de la edificación (ASCE/SEI 41, 2017).

Las fuerzas laterales asignadas para el control de desplazamientos tienen que ser aplicadas de manera monótona y crecientes hasta alcanzar un nivel de deformación. El último desplazamiento puede ser considerado como la deformación esperada en el diseño sísmico para el caso de una nueva estructura, o la deformación correspondiente a un colapso estructural para el caso de una evaluación de una estructura ya existente (ASCE/SEI 41, 2017).

Para este estudio se realizó el análisis Pushover en la dirección libre de las estructuras adyacentes y con la afectación previa ocurrida por las subsidencias de suelo, encontrando el nivel de desempeño más cercano a la realidad.

Tabla 31 Participación modal de los modos fundamentales de las cuatro viviendas

PARTICIPACIÓN MODAL VIVIENDA 2 PISOS MZ - A					
CASO	MODO	PERÍODO	UX	UY	RZ
Modal	1	0,166	0,7789	0,0006	0,0060
Modal	2	0,141	0,0012	0,7542	0,0131
Modal	3	0,122	0,0056	0,0098	0,6399
PARTICIPACIÓN MODAL VIVIENDA 4 PISOS MZ - A					
CASO	MODO	PERÍODO	UX	UY	RZ
Modal	1	0,296	0,7886	0,0016	0,0207
Modal	2	0,293	0,0023	0,7897	0,0016
Modal	3	0,237	0,0181	0,0029	0,6825
PARTICIPACIÓN MODAL VIVIENDA 2 PISOS MZ - B					
CASO	MODO	PERÍODO	UX	UY	RZ
Modal	1	0,209	0,7523	0,0000	0,0000
Modal	2	0,208	0,0000	0,7422	0,0003
Modal	3	0,156	0,0000	0,0000	0,6610

PARTICIPACIÓN MODAL VIVIENDA 4 PISOS MZ - B					
CASO	MODO	PERÍODO	UX	UY	RZ
Modal	1	0,352	0,8016	0,0000	0,0000
Modal	2	0,277	0,0000	0,7907	0,0000
Modal	3	0,253	0,0002	0,0000	0,7072

ELABORADO POR: AGUAIZA

En la Tabla 31 se muestra que la participación modal efectiva en la dirección del análisis (UY) es mayor al 75%.

Para el análisis no lineal se usó un coeficiente de ajuste a la respuesta del comportamiento estructural (X) igual a 1, esto se detalla en la sección 4.2.6.3

A. ANÁLISIS VIVIENDA 2 PISOS MZ-A

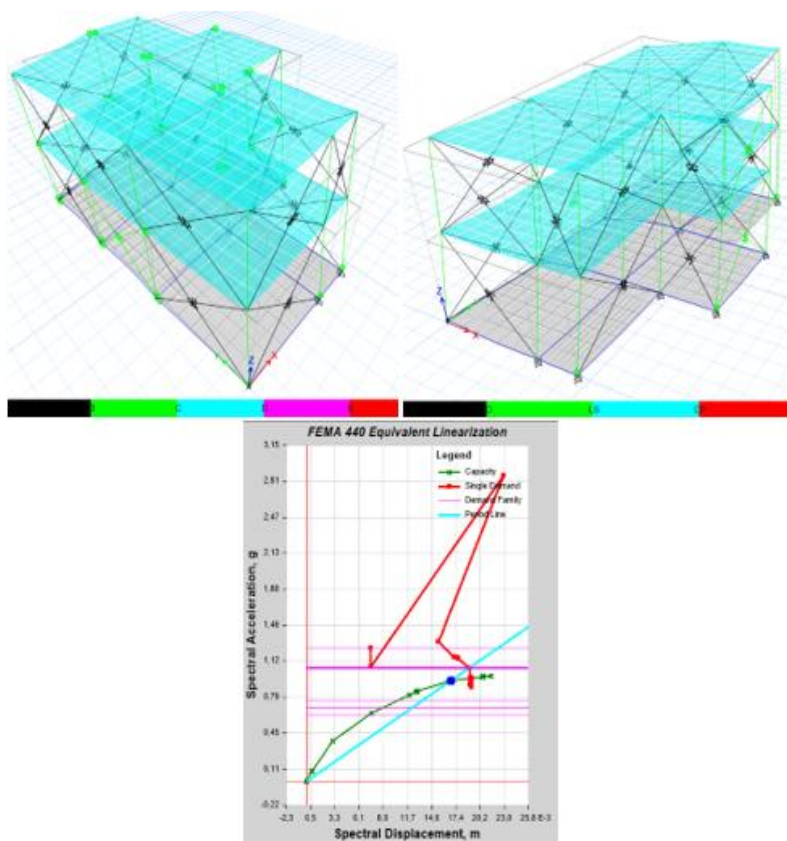


Figura 47 Curva de capacidad, de demanda y punto de desempeño para vivienda de 2 pisos MZA

ELABORADO POR: AGUAIZA

B. ANÁLISIS VIVIENDA 4 PISOS MZ-A

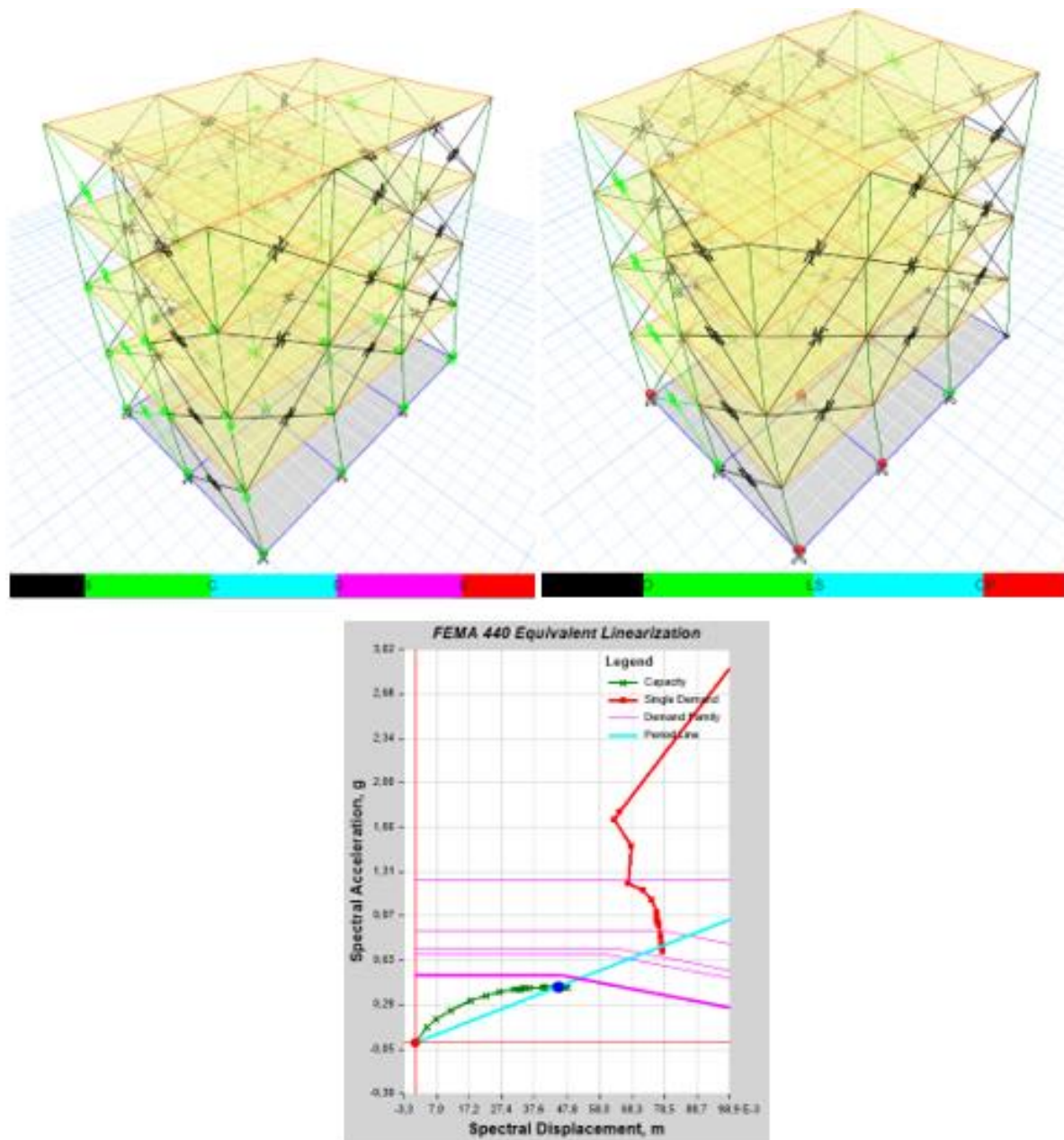


Figura 48 Curva de capacidad, de demanda y punto de desempeño para vivienda de 4 pisos MZA

ELABORADO POR: AGUAIZA

C. ANÁLISIS VIVIENDA 2 PISOS MZ-B

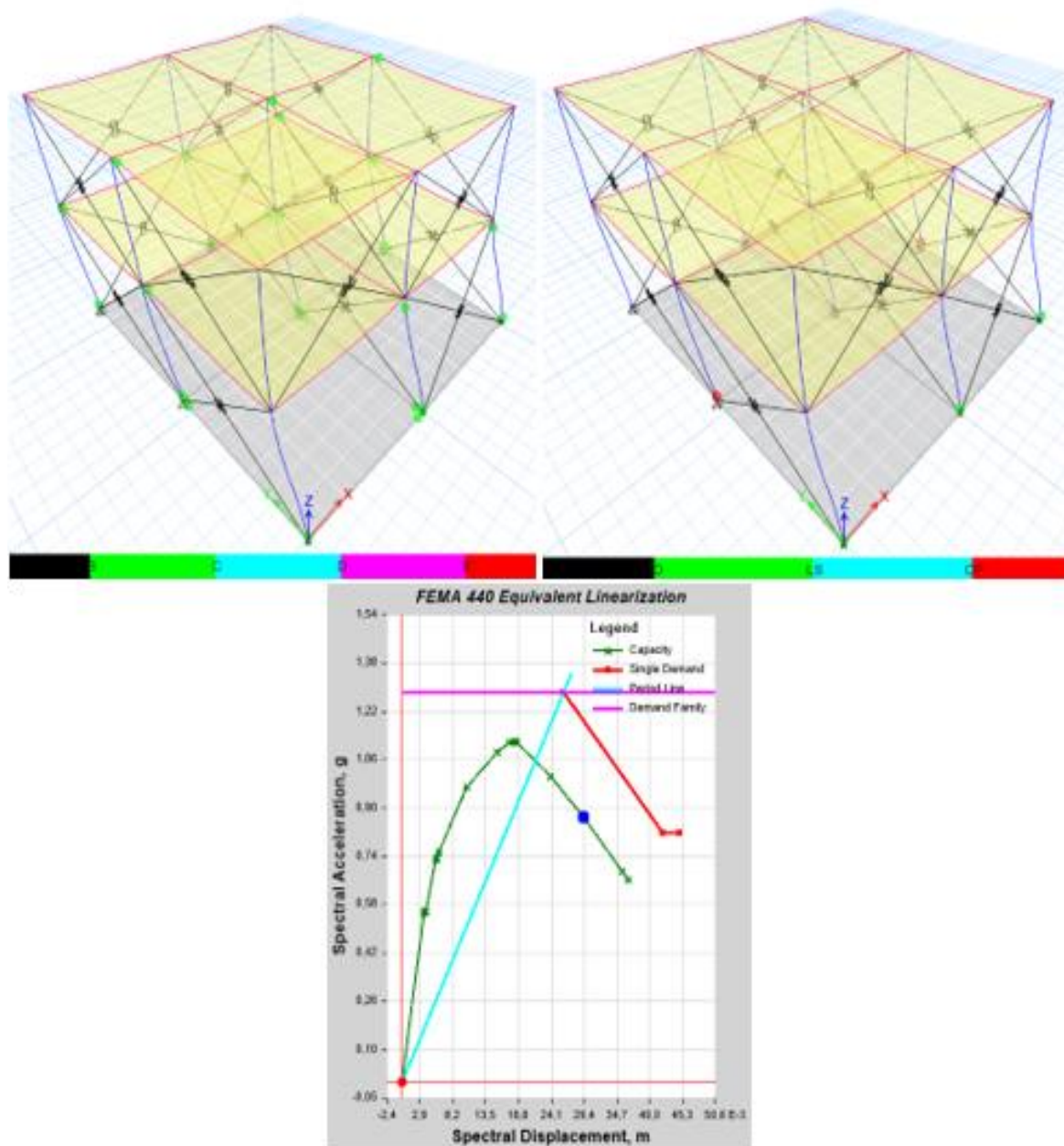


Figura 49 Curva de capacidad, de demanda y punto de desempeño para vivienda de 2 pisos MZB

ELABORADO POR: AGUAIZA

D. ANÁLISIS VIVIENDA 4 PISOS MZ-B

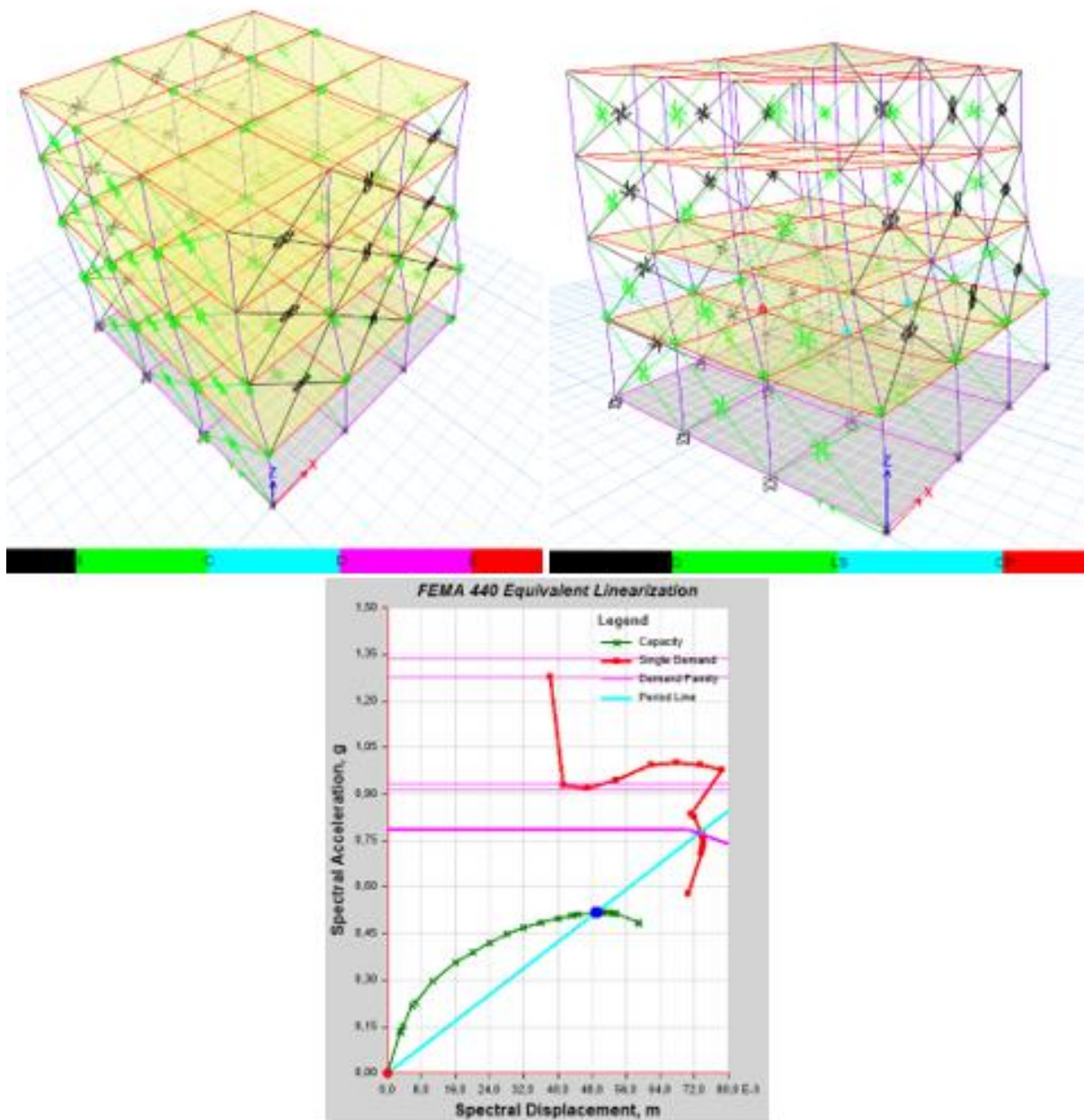


Figura 50 Curva de capacidad, de demanda y punto de desempeño para vivienda de 4 pisos MZB

ELABORADO POR: AGUAIZA

En las figuras se muestra el daño máximo producido en los extremos de los elementos estructurales. Los diferentes niveles de daño corresponde a los expuestos por el

(ASCE/SEI 41, 2017), donde IO es Ocupación Inmediata, LS es Seguridad de Vida y CP es Prevención al Colapso como se observa en la Figura 51.

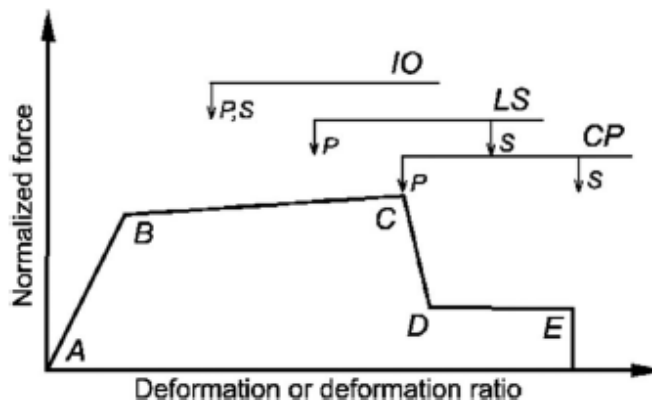


Figura 51 Niveles de daño de acuerdo a criterios de aceptación

FUENTE: (ASCE/SEI 41, 2017)

Realizado el análisis no lineal se pudo observar como en la vivienda de 2 pisos de la manzana A se forman las rotulas a nivel LS y la vivienda de 2 pisos de la manzana B se forman rotulas a nivel CP por lo cual esta vivienda no podría ser apta para un caso extremo.

Las viviendas de 4 pisos tuvieron un comportamiento similar, las rotulas que se formaron tienen un nivel CP y no se encontró un punto de desempeño, todo esto causado por mal comportamiento que pueden tener las estructuras ante un sismo, este puede ser un caso crítico ya que para este análisis no se consideró la interrelación que existe con las estructuras vecinas.

4.2.7.3 Ponderación Final para Subsidiencias de Suelo y Sismo

Analizado el posible daño que puede ocurrir en los distintos elementos tanto estructurales y no estructurales, se asignó una valoración para las diferentes variables de la encuesta donde los números menores, son los que favorecen a la edificación a no sufrir daños.

Tabla 32 Ponderación de posible daño para subsidencias de suelo

VARIABLES PARA SUBSIDENCIA DE SUELO			
1	Formalidad de la Edificación	a) Formal (criterio profesional "Ing. Civil")	0
		b) Construcción Informal/Artesanal	1
2	Número de pisos	a) 1 Piso	1
		b) 2 Pisos	2
		c) 3 Pisos	3
		d) 4 Pisos	4
		e) 5 Pisos o más	5
3	Sistema estructural	a) Hormigón armado	1
		b) Estructura metálica (acero)	1
		c) Estructura de madera	2
		d) Mampostería confinada o reforzada	3
		e) Mampostería simple	3
4	Dimensiones de columnas	a) 25x30 cm o mayor	1
		b) 25x25 cm	2
		c) 20x20 cm o menor	3
5	Probabilidad de golpeteo en edificaciones	a) No tiene problemas de colindancia	0
		b) Edificación esquinera	1
		c) Edificación intermedia	2
6	En base a la evaluación realizada y de acuerdo a su criterio la vulnerabilidad de la edificación para SUBSIDENCIA es	a) Bajo	1
		b) Media	2
		c) Alta	3

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 33 Ponderación de posible daño para sismo

VARIABLES PARA SISMO			
1	Formalidad de la Edificación	a) Formal (criterio profesional "Ing. Civil")	0
		b) Construcción Informal/Artesanal	1
2	Número de pisos	a) 1 Piso	1
		b) 2 Pisos	2
		c) 3 Pisos	3
		d) 4 Pisos	4
		e) 5 Pisos o más	5
3	Sistema estructural	a) Hormigón armado	1
		b) Estructura metálica (acero)	1
		c) Estructura de madera	2
		d) Mampostería confinada o reforzada	3
		e) Mampostería simple	3
4	Dimensiones de columnas	a) 25x30 cm o mayor	1
		b) 25x25 cm	2
		c) 20x20 cm o menor	3

5	Probabilidad de golpeteo en edificaciones	a) No tiene problemas de colindancia	0
		b) Edificación esquinera	1
		c) Edificación intermedia	2
5	Si la respuesta anterior es b) o c); responder:	a) Las alturas libres de los pisos coinciden con viviendas contiguas	1
		b) Las alturas libres de los pisos no coinciden y presencia de (columna corta)	2
6	En base a la evaluación realizada y de acuerdo a su criterio la vulnerabilidad de la edificación para SUBSIDENCIA es	a) Bajo	1
		b) Media	2
		c) Alta	3

ELABORADO POR: AGUAIZA

4.2.8 RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN LAS ENCUESTAS

4.2.8.1 Manzana A

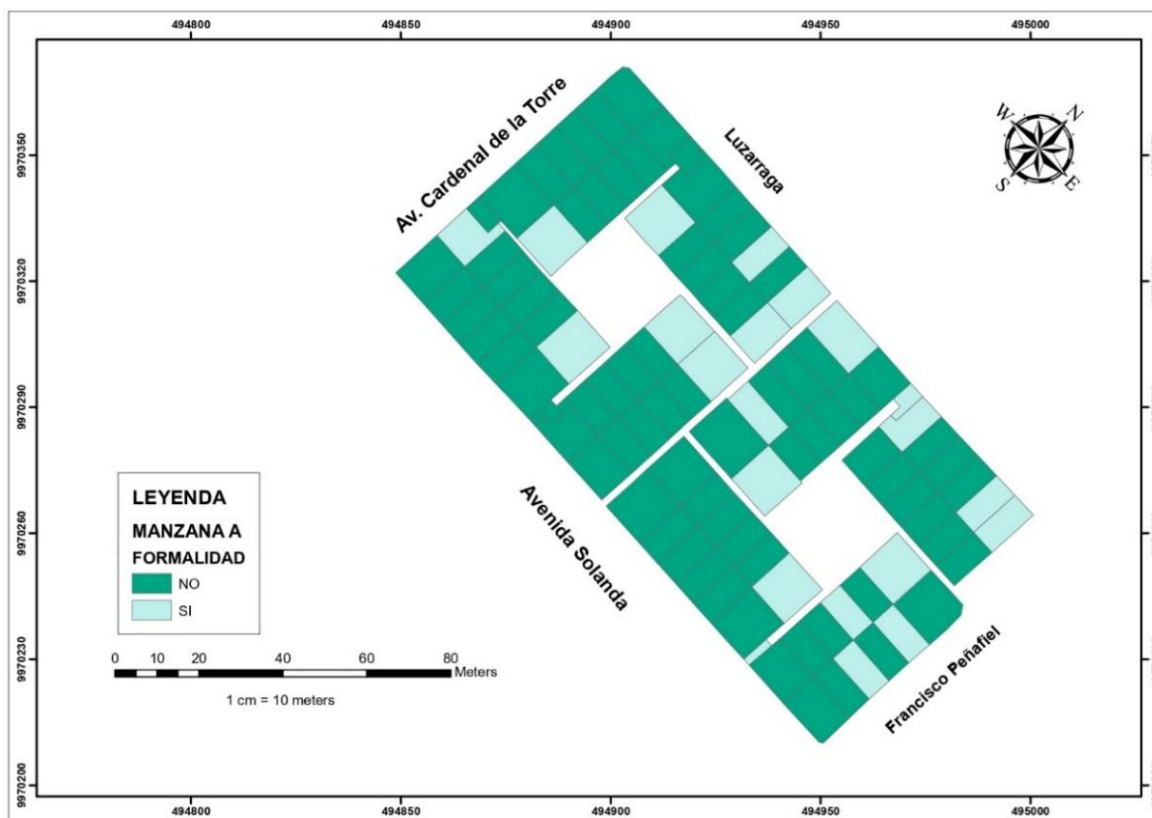


Figura 52 Formalidad de las edificaciones MZ A

ELABORADO POR: AGUAIZA

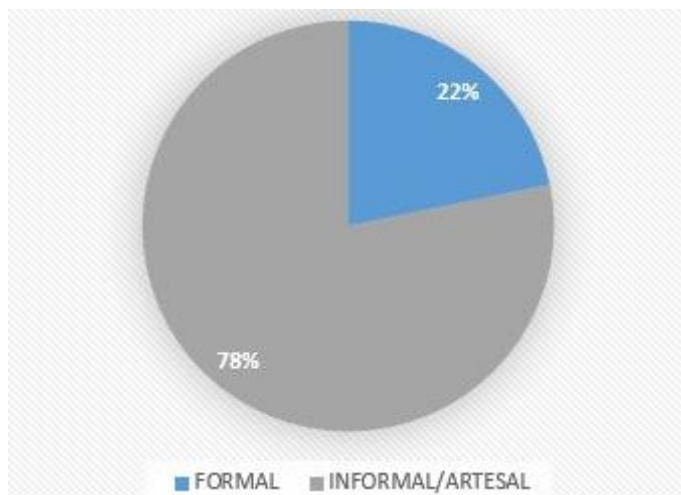


Figura 53 Porcentaje formalidad de las edificaciones MZ A
ELABORADO POR: AGUAIZA

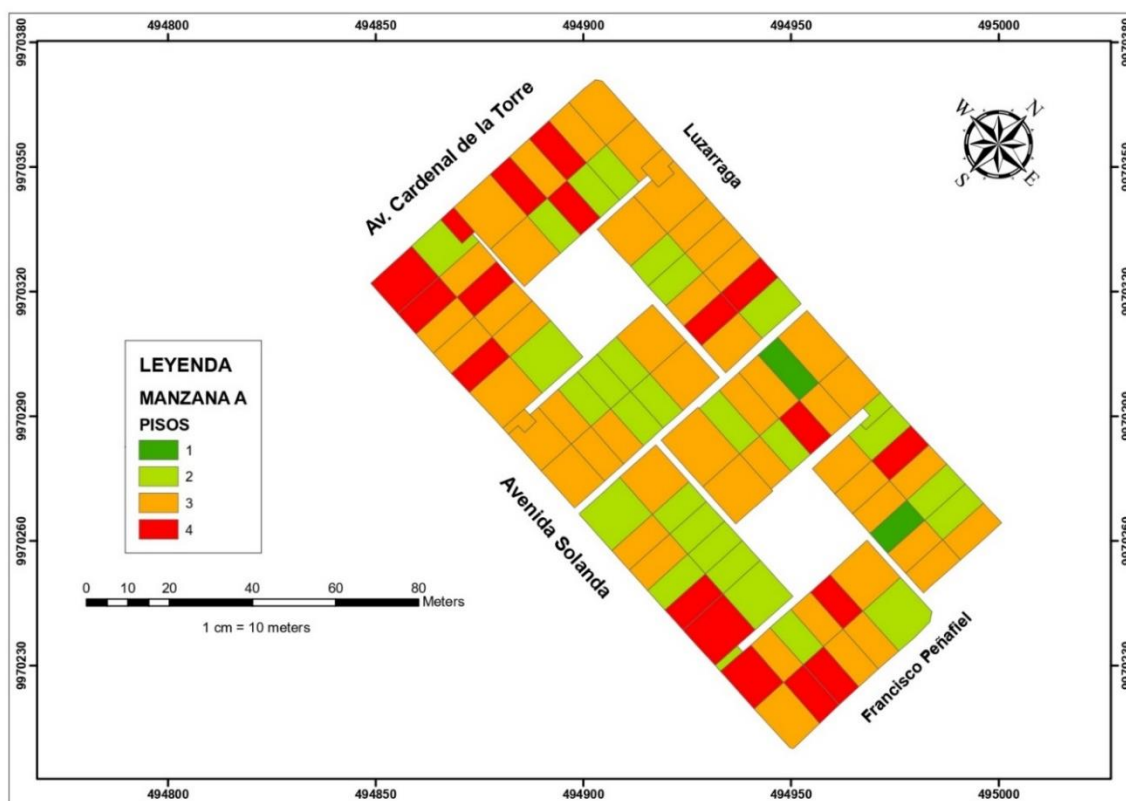


Figura 54 Número de pisos MZ A
ELABORADO POR: AGUAIZA

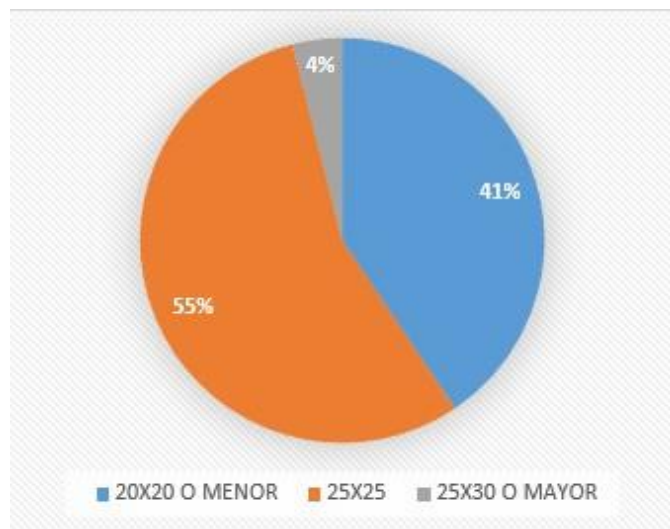


Figura 55 Porcentaje número de pisos MZ A
ELABORADO POR: AGUAIZA

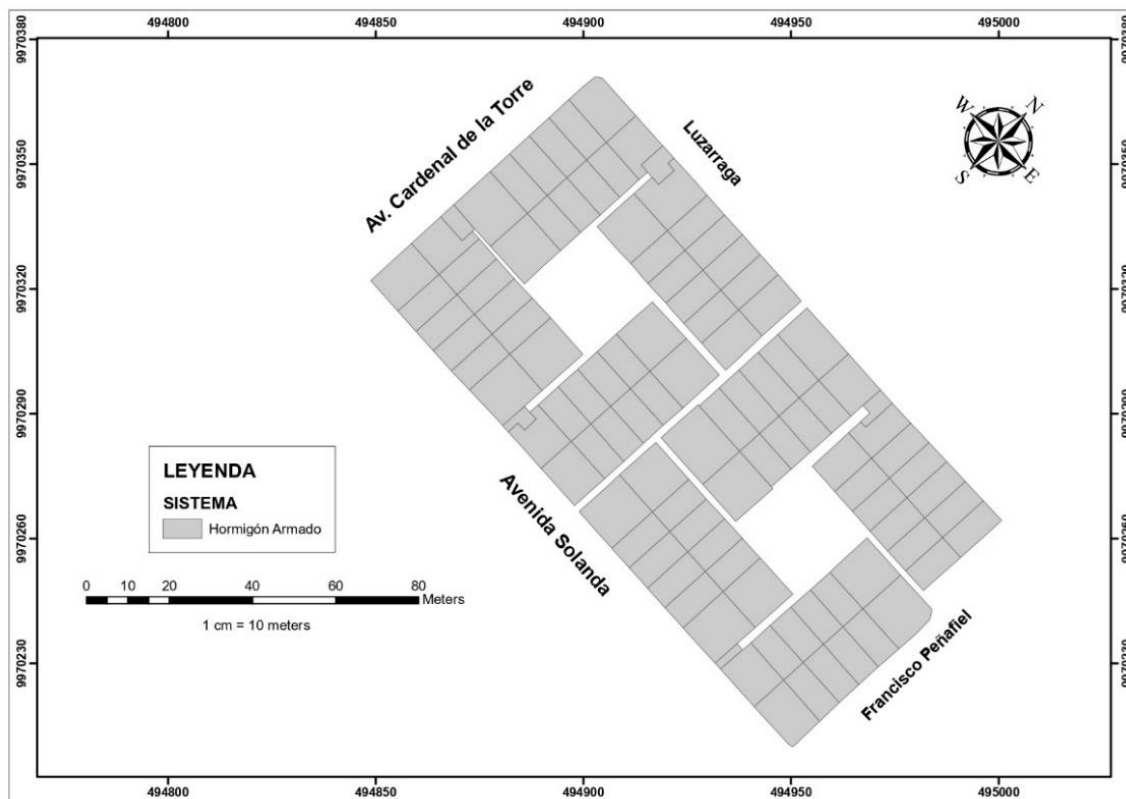


Figura 56 Sistema estructural MZ A
ELABORADO POR: AGUAIZA

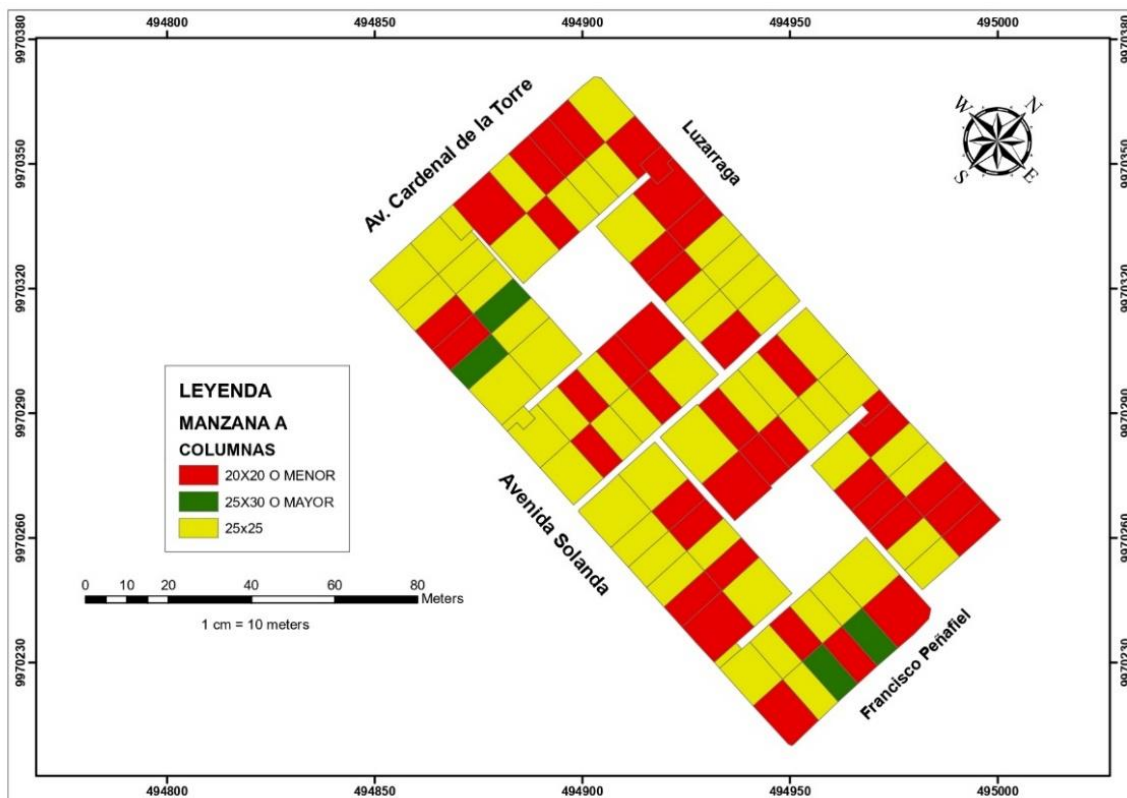


Figura 57 Dimensiones de columnas MZ A

ELABORADO POR: AGUAIZA

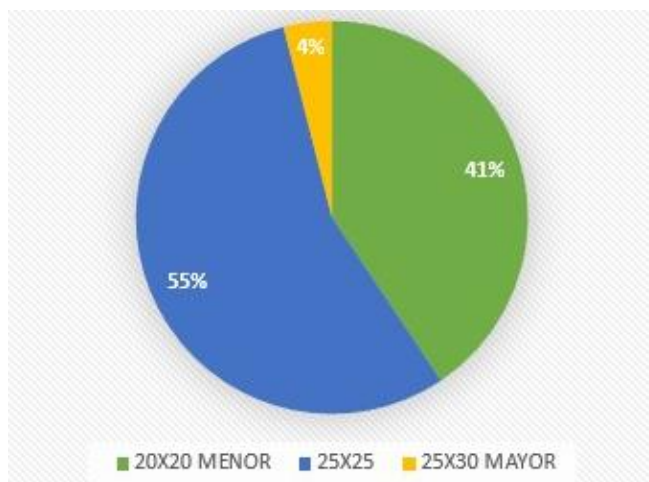


Figura 58 Porcentaje dimensiones de columnas MZ A

ELABORADO POR: AGUAIZA

4.2.8.2 Manzana B

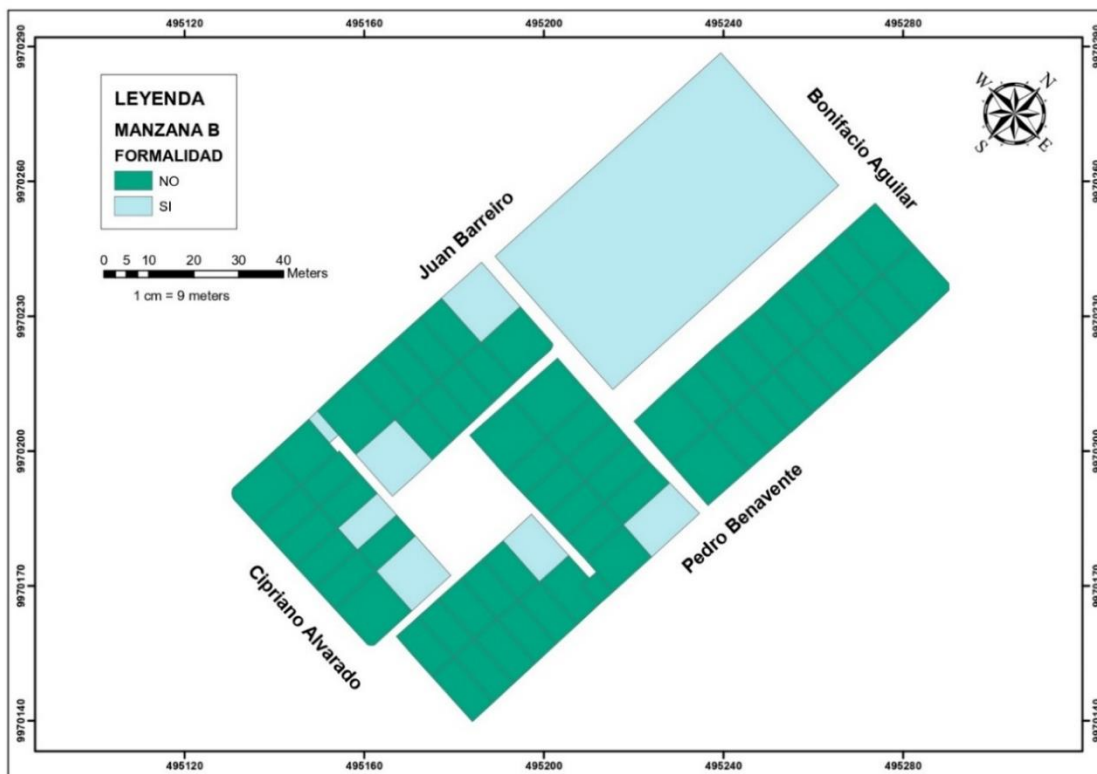


Figura 59 Formalidad de las edificaciones MZ B
ELABORADO POR: AGUAIZA

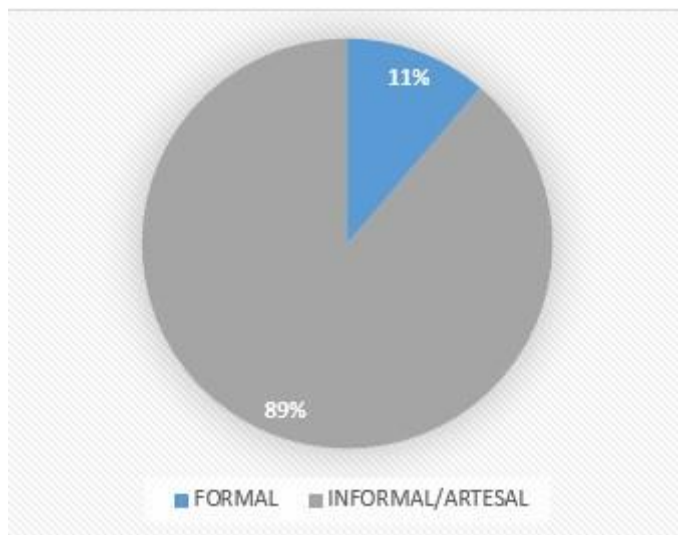


Figura 60 Porcentaje formalidad de las edificaciones MZ B
ELABORADO POR: AGUAIZA

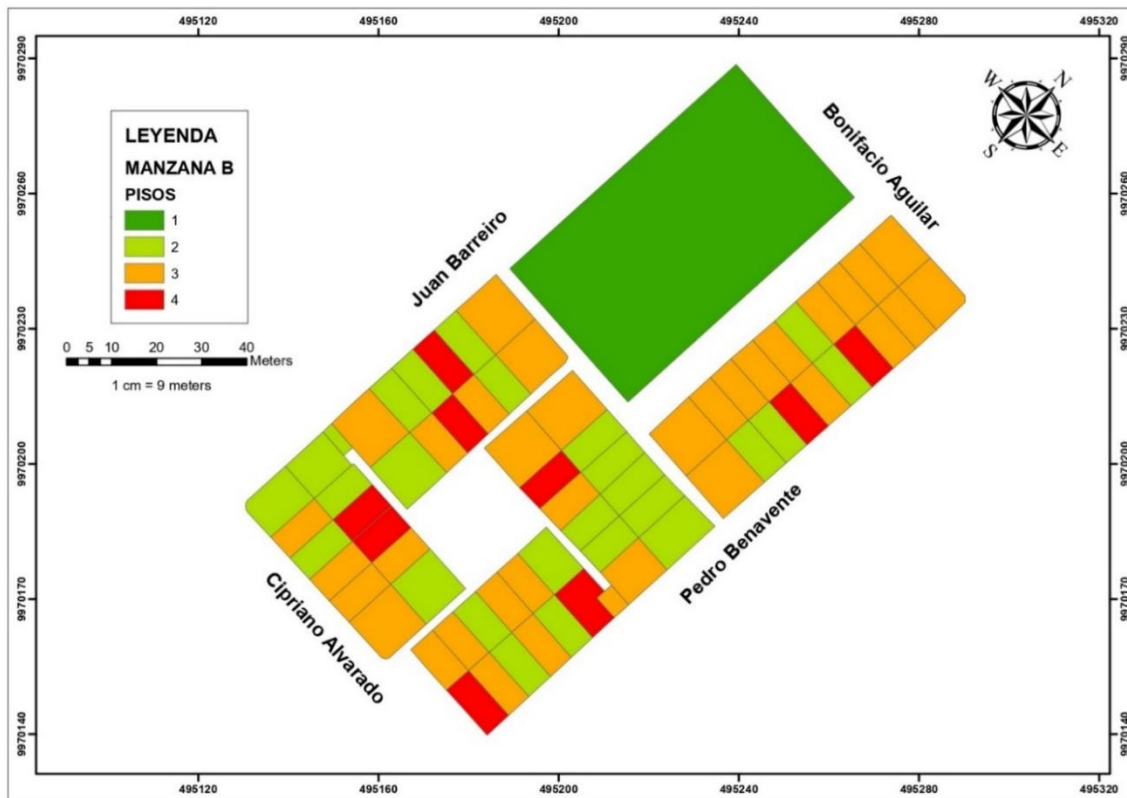


Figura 61 Número de pisos MZ B
 ELABORADO POR: AGUAIZA

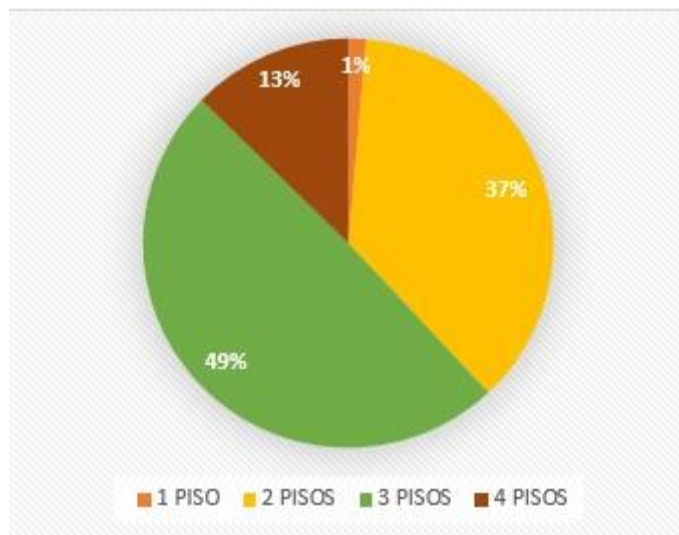


Figura 62 Porcentaje número de pisos MZ B
 ELABORADO POR: AGUAIZA

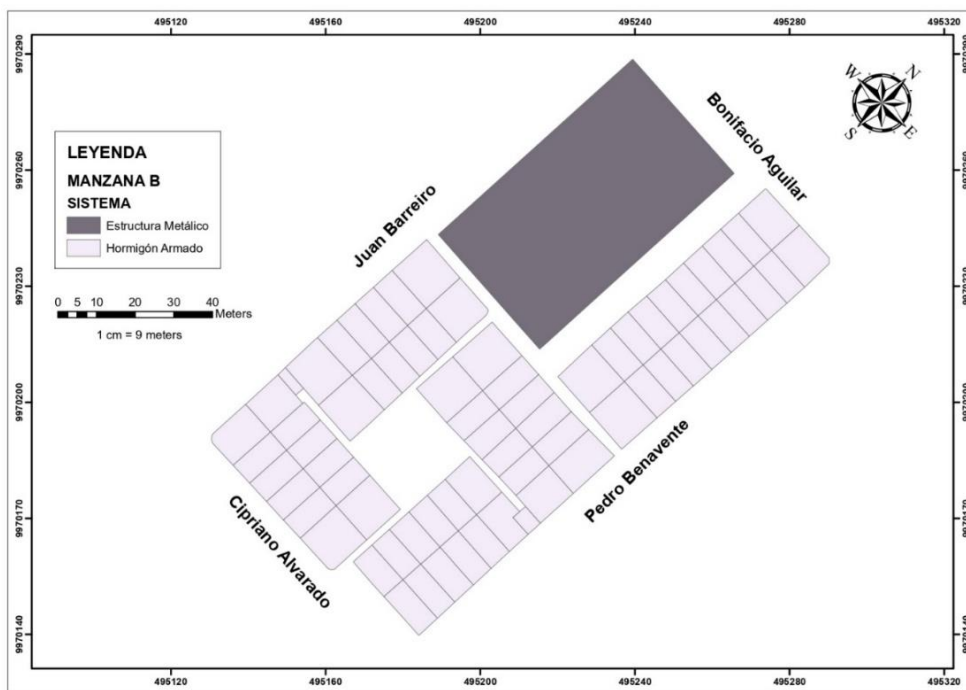


Figura 63 Sistema estructural MZ B
ELABORADO POR: AGUAIZA

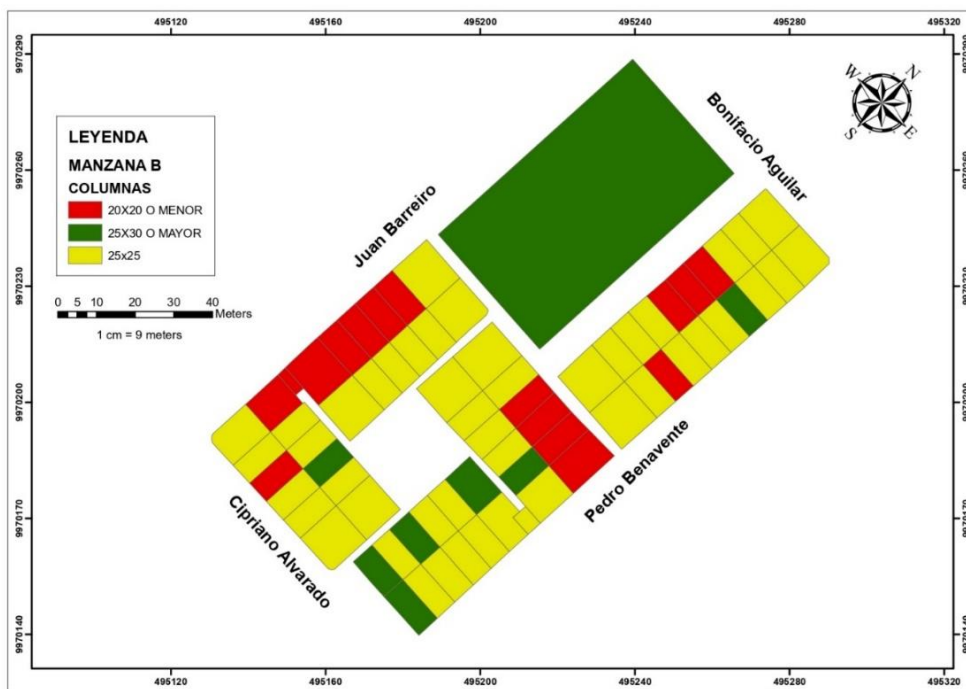


Figura 64 Dimensiones de columnas MZB
ELABORADO POR: AGUAIZA

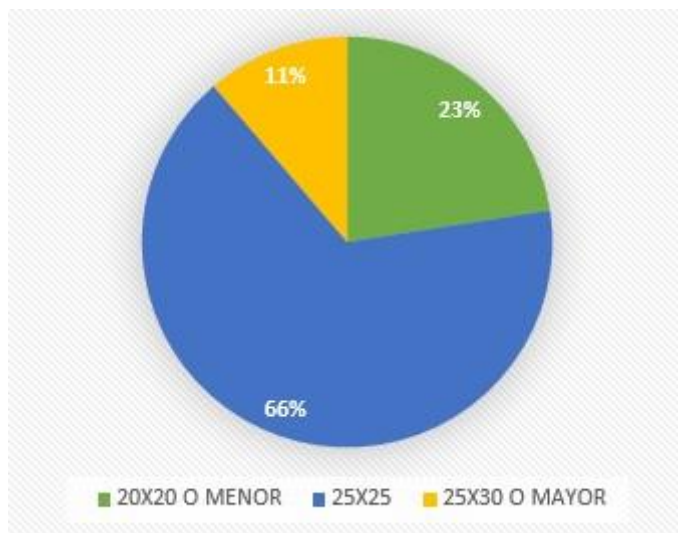


Figura 65 Porcentaje dimensiones de columnas MZ B
ELABORADO POR: AGUAIZA

4.2.9 VULNERABILIDAD CON MACHINE LEARNING Y LÓGICA FUZZY

De acuerdo con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (o sus siglas en inglés ISDR), definió a la vulnerabilidad como “Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza”. Para este caso de estudio se evaluó la vulnerabilidad física, producida por las subsidencias de suelo y sismo en las diferentes viviendas del sector de Solanda, para lo cual se elaboró dos tipos de encuestas presentadas en las Tablas 6 y 7 de la sección 4.1.2.

La Lógica Fuzzy es un método de razonamiento aproximado utilizado para manejar la incertidumbre y la vaguedad que caracteriza a muchos fenómenos por lo cual permite resolver problemas complejos mediante métodos tradicionales son difíciles de resolver. Se escogieron los datos de entrada más representativos que ayuden a determinar la vulnerabilidad por subsidencias de suelos y sismo, al inicio solo se consideró utilizar la Lógica Fuzzy por lo que se desarrolló reglas para este método, después de tener ejemplos con 6 variables (estas no incluyeron daños actuales de los edificios) los resultados no fueron satisfactorios comparados con los daños encontrados en la visita de campo. Para solucionar este problema (Mora Martínez,

2019) recomienda utilizar Machine Learning y de esta forma disminuir las incertidumbres externas obtenidas con el método de Logica Fuzzy.

Machine Learning es un método computacional que por medio de un algoritmo estima (induce) un mapeo (o dependencia) hasta ahora desconocido entre las entradas y salidas de un sistema a partir de los datos disponibles (Shrestha & Solomatine, 2006). A medida que se descubre esa dependencia, puede utilizarse para predecir la salida del futuro sistema a partir de los valores de entrada conocidos (Shrestha & Solomatine, 2006).

El aprendizaje automático (Machine Learning) trata de identificar (aprender) cómo se comporta el sistema real, la fase de aprendizaje es el proceso de minimizar la diferencia entre los datos observados y la salida (resultados), este método utiliza una Red Neuronal Artificial (ANN) que pueden encontrar los diferentes patrones de una forma metódica por medio de los algoritmos de aprendizaje basado en datos existentes (Shrestha & Solomatine, 2006). Para el análisis se usaron funciones del software de código abierto CRAN R. Los paquetes de Machine Learning que ofrece R usa un lenguaje limpio y fácil de usar. La definición de las tareas de aprendizaje, la elaboración de predicciones y la evaluación de su rendimiento se facilita con una interfaz amigable, lo que hace más fácil reemplazar un algoritmo de aprendizaje por otro sin modificar toda la codificación (Ramasubramanian & Singh, 2019).

4.2.9.1 Fase de Aprendizaje

Los ejemplos de aprendizaje (entrenamiento) fueron creados por la experiencia de diferentes profesores de la Escuela Politécnica Nacional y fueron validados por los modelos computacionales no lineales estáticos desarrollados en las secciones 4.2.7. Estos modelos computacionales fueron desarrollados mediante los lineamientos descritos en los códigos (ASCE/SEI 41, 2017; ASCE/SEI 7, 2016) los mismos que son aceptado por la (NEC15-SE-SD, 2015).

El nivel de daño para los ejemplos de aprendizaje fue categorizado en 6 niveles diferentes como se muestra en la Tabla 34, estos niveles serán los resultados de salida para la vulnerabilidad de subsidencias de suelos y sismo.

Tabla 34 Nivel de daño de acuerdo a la vulnerabilidad asignado en "R"

NIVEL DE DAÑO	INTERVALO ASIGNADO EN "R"	RESULTADOS DE VULNERABILIDAD EN "R"	RESULTADOS LINGÜÍSTICOS
1	0 - 1,66	SIN DAÑO	LOW
2	1,67 - 3,33	DAÑO LEVE DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	LOW - HIGH
3	3,34 - 5,00	DAÑO MODERADO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTUALES	MEDIUM - LOW
4	5,01 - 6,67	DAÑO LEVE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	MEDIUM - HIGH
5	6,68 - 8,33	DAÑO MODERADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	HIGH - LOW
6	8,34 - 10,00	COLAPSO	HIGH

ELABORADO POR: AGUAIZA

En las Tablas 35 y 36 se muestran algunos de los ejemplos de entrenamiento de acuerdo a las variables establecidas. Ver en el (Anexo III).

Tabla 35 Ejemplo de entrenamiento para subsidencia de suelo

FORMALIDAD	NÚMERO DE PISOS	SISTEMA ESTRUCTURAL	DIMENSIÓN DE COLUMNAS	GOLPETEO PROBALIDAD	APRECIACIÓN DE VULNERABILIDAD	VULNERABILIDAD POR SUBSIDENCIAS
0	1	2	1	0	1	LOW
0	1	1	2	2	2	LOW - HIGH
1	2	1	2	2	3	MEDIUM - LOW
1	3	1	1	2	2	MEDIUM - HIGH
1	2	1	3	1	3	HIGH - LOW
1	4	1	1	2	2	HIGH

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 36 Ejemplo de entrenamiento para sismo previamente afectado por subsidencias

FORMALIDAD	NÚMERO DE PISOS	SISTEMA ESTRUCTURAL	DIMENSIÓN DE COLUMNAS	ALTURA LIBRE (COLUMNA CORTA)	VULNERABILIDAD POR SUBSIDENCIAS	VULNERABILIDAD POR SISMO AFECTADO POR SUBSIDENCIAS
0	1	2	1	0	1	LOW
0	1	1	2	2	2	LOW - HIGH
1	2	1	2	2	3	MEDIUM - LOW
1	3	1	1	2	2	MEDIUM - HIGH
1	2	1	3	1	3	HIGH - LOW
1	4	1	1	2	2	HIGH

ELABORADO POR: AGUAIZA

4.2.9.2 Fase de Procesamiento

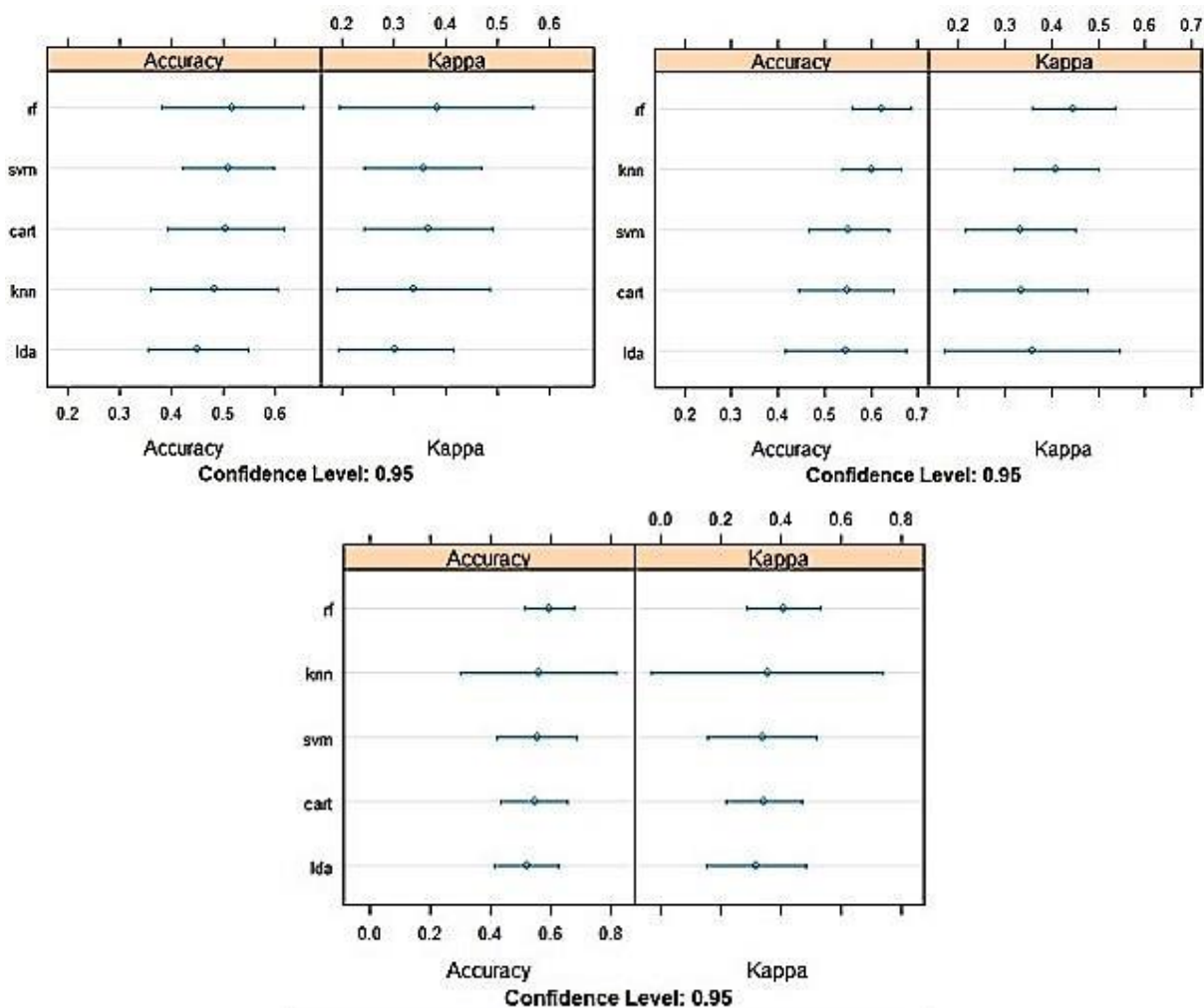


Figura 66 Precisión usando k fold cross-validation y coeficiente kappa

FUENTE: (Mora Martínez, 2019)

En la Figura 66 se observa los resultados de precisión (Accuracy) y Kappa para diferentes algoritmos clasificadores de aprendizaje automatizado (ML). Para lograr la validación de este proceso se usó el método “k fold cross-validation” esta técnica de validación ha sido ampliamente probada y se ha comprobado que proporciona una estimación aceptable y precisa de la tasa de error (Ramasubramanian & Singh, 2019).

En este método los datos de entrenamiento son divididos en k sub-muestras con el objetivo de validar los resultados, una de las sub-muestras no es usada para el

entrenamiento hasta el final del proceso con la finalidad de verificar la certeza de predecir los resultados (Ramasubramanian & Singh, 2019). Los clasificadores de aprendizaje automatizado (ML) que fueron usados en el método k fold cross-validation se detallan a continuación:

- **Linear Discriminant Analysis (LDA)**

Esta técnica se utiliza para predecir la probabilidad de pertenecer a un grupo (o categoría) determinada basándose en las variables de intervalo como en los miembros del grupo. El resultado final de este clasificador de aprendizaje consiste en la predicción de pertenencia a un grupo solo cuando se reconozca las variables de intervalo (Sasikala et al., 2017).

- **Classification and Regression Tree (CART)**

El algoritmo (CART) en R se utiliza como herramienta de data mining , sirve para categorizar las diferentes variables de un determinado conjunto de datos, y regression tree se usa para etiquetar al “grupo” de variables categorizadas del conjunto de datos determinado (Aruna et al., 2011).

- **K-Nearest Neighbor (KNN)**

Este algoritmo recoge los grupos existentes y clasifica los nuevos grupos en base a la medida de comparación de los grupos existentes. KNN se usa como técnica no paramétrica para la estimación estadística del reconocimiento de patrones (Sasikala et al., 2017).

- **Support Vector Machines (SVM)**

El proceso de clasificación del conjunto de datos se divide en conjuntos de entrenamiento y pruebas. El conjunto de entrenamiento contiene un valor preciso y varios atributos asociados. El objetivo del modelo SVM es generar un código que prediga los valores de forma precisa (datos de entrenamiento) de los datos de pruebas solo con los atributos asociados (Lin et al., 2015).

- **Random Forests (RF)**

Random Forests son una agrupación de tree (árboles) predictores que funcionan de tal forma que cada árbol está influenciado por los valores de un vector aleatorio individual con la misma difusión para todos los árboles del bosque. La revisión del error de los forests (bosques) se congregan hasta un límite a medida que el número de árboles se hace más grande. Los bosques aleatorios son una herramienta operativa en la estimación de resultados (Breiman, 2001).

Este trabajo de investigación utiliza los clasificadores de aprendizaje automatizado (ML) proporcionados por los packages de la biblioteca de R Studio, en la Figura 67 se muestra la metodología que usa el Machine Learning.

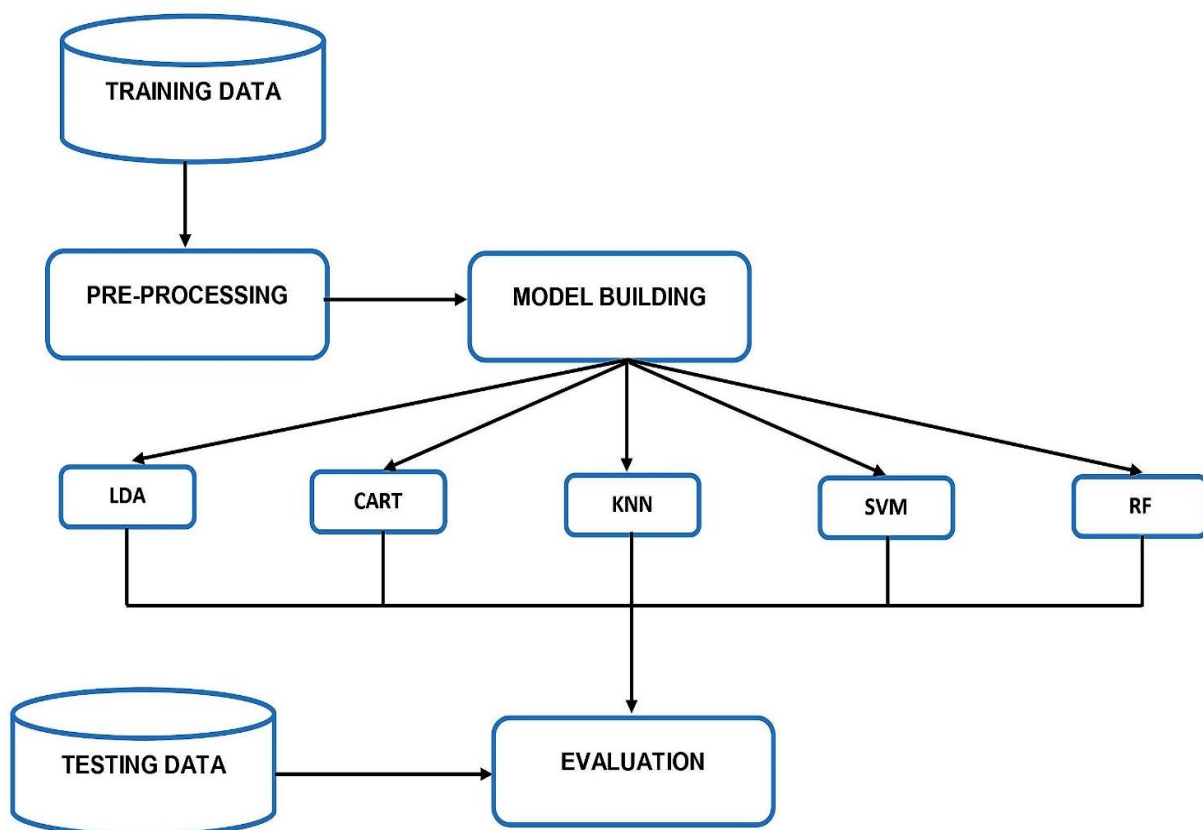


Figura 67 Metodología usada en el Machine Learning

FUENTE: (Sasikala et al., 2017)

ELABORADO POR: AGUAIZA

Después de realizar el procesamiento del Machine Learning los resultados son validados por los coeficientes kappa, estos trabajan con errores métricos para la evaluación y creación de modelos, midiendo la relación entre precisión observada y precisión esperada, según (Ramasubramanian & Singh, 2019) da unos límites que guían los resultados de acuerdo al nivel de coincidencia: 1) menores a 0.20 es una pobre coincidencia, 2) entre 0.20 y 0.40 es una coincidencia razonable, 3) entre 0.40 y 0.60 es una coincidencia moderada, 4) entre 0.60 y 0.80 es una buena coincidencia, 5) entre 0.80 y 1.00 es una coincidencia muy buena.

Para este caso del procesamiento de datos se obtuvo precisiones (accuracy) entre 0.60 y 0.80, y coeficientes kappa cerca de 0.50 como se muestra en la Figura 66, por lo que se puede concluir que se tienen una coincidencia moderada.

4.2.9.3 Fase de Salida

Después de haber realizado el análisis de Machine Learning y que los datos de entrenamiento fueron basados en criterios con incertidumbre, se procedió a refinar los resultados con el método de la Lógica Fuzzy (Mora Martínez, 2019).

Los resultados que se obtuvieron del análisis Machine Learning de las 172 viviendas se usaron como reglas en el análisis Fuzzy, además se agregaron dos reglas con operador de intersección, que marcan los límites superiores e inferiores, este procedimiento se programó para que suceda de manera automática en CRAN R (Mora Martínez, 2019).

A continuación, se muestran los resultados de vulnerabilidad usando el proceso descrito anteriormente. En las Figuras 68 y 70 se muestra la vulnerabilidad solo para subsidencias de suelo para diferentes niveles de daño.

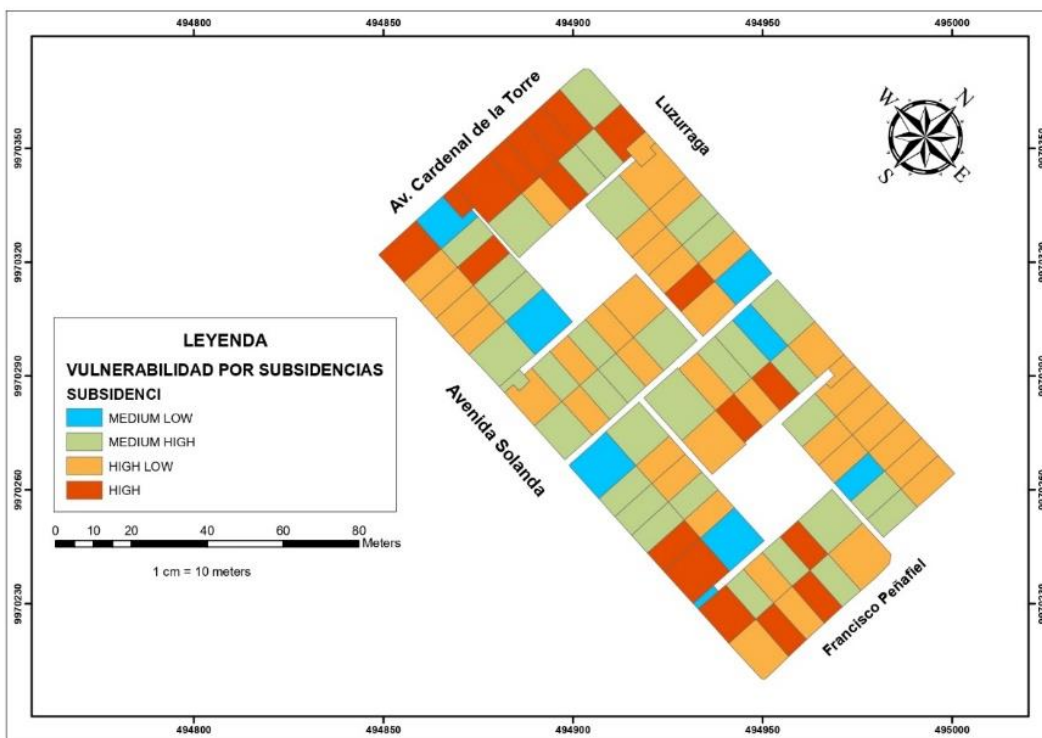


Figura 68 Vulnerabilidad por subsidencias de suelos para diferentes niveles de daño

MZ A

ELABORADO POR: AGUAIZA

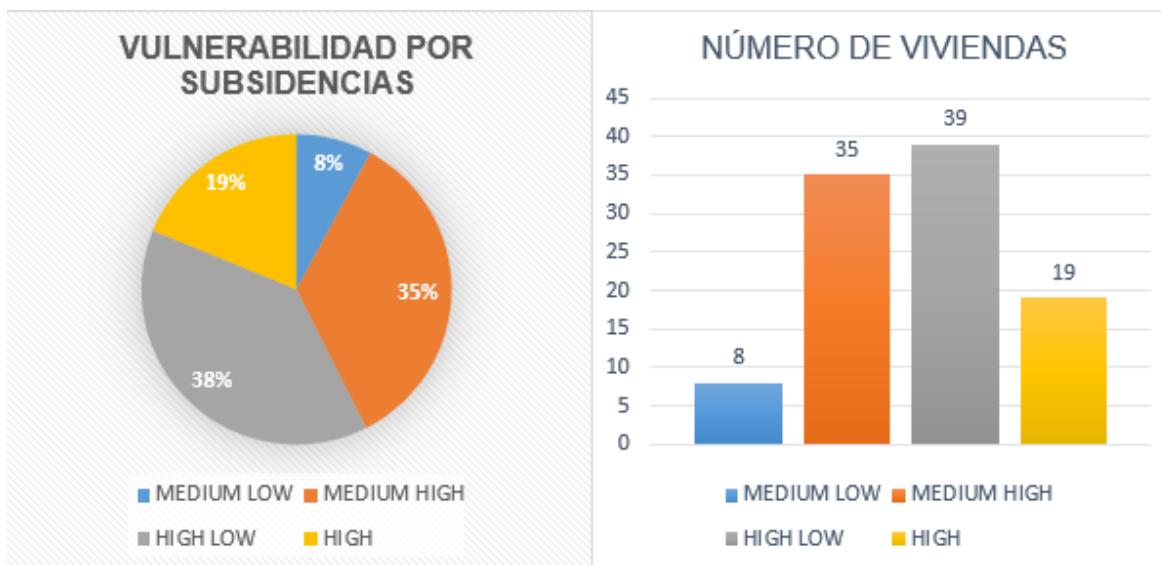


Figura 69 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por subsidencias de suelo MZ A

ELABORADO POR: AGUAIZA

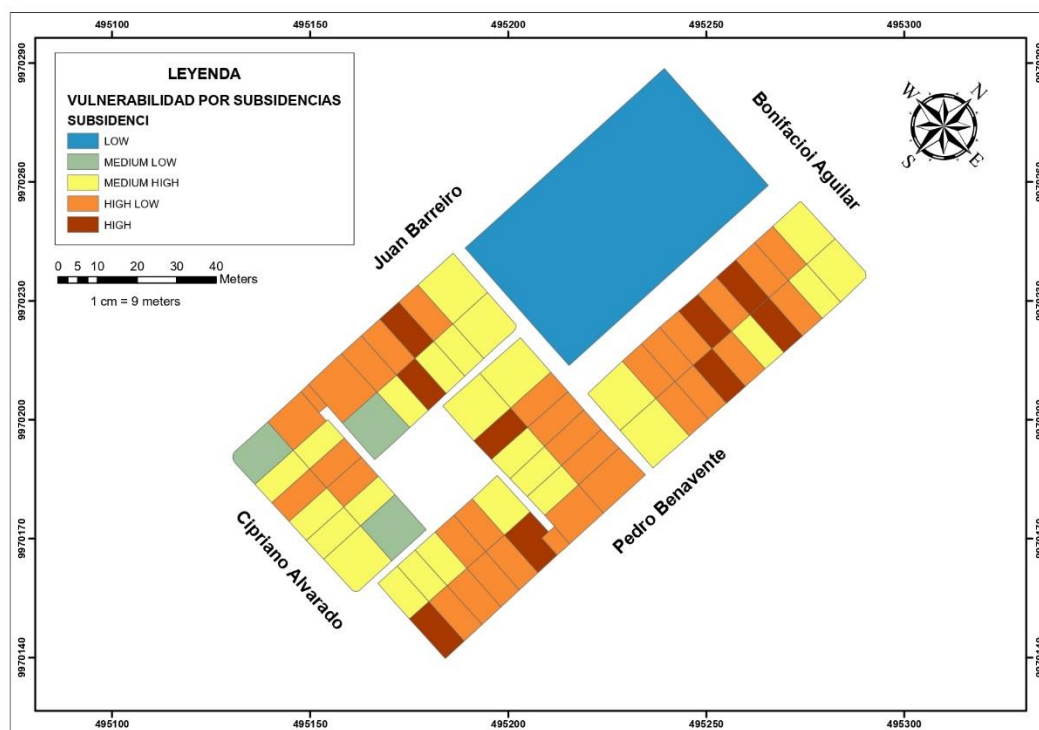


Figura 70 Vulnerabilidad por subsidencias de suelos para diferentes niveles de daño

MZ B

ELABORADO POR: AGUAIZA

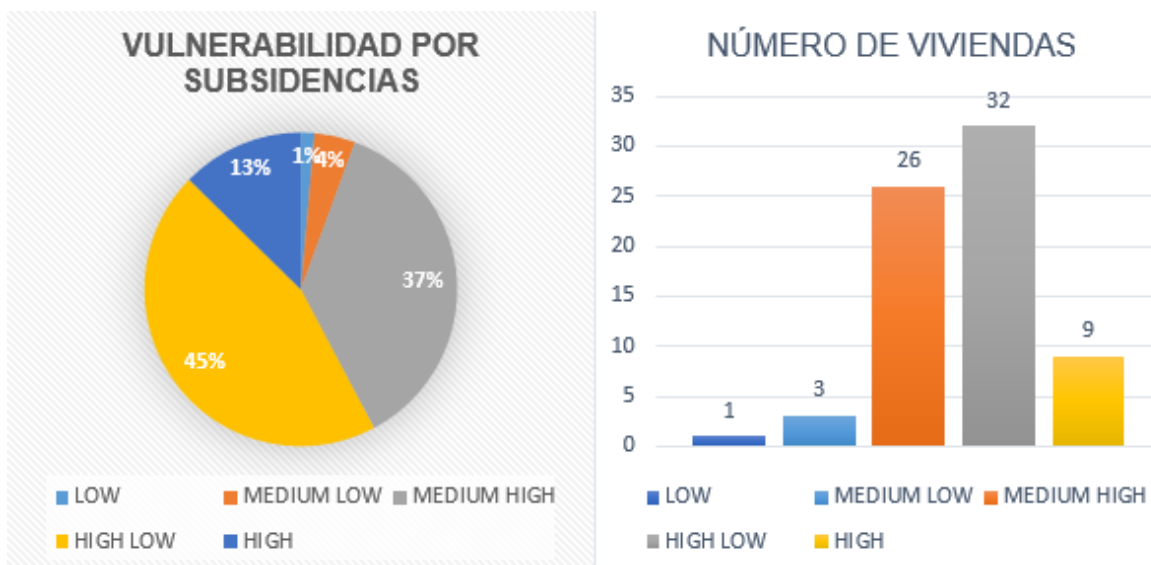


Figura 71 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por

subsidencias de suelo MZ B

ELABORADO POR: AGUAIZA

Ya que no es posible predecir con gran certeza los daños específicos de las viviendas adoptadas en la Tabla 34, se decidió usar solamente 3 niveles de daño que abarcan los 6 niveles descritos anteriormente (Mora Martínez, 2019), este procedimiento se realizó para la vulnerabilidad por sismo y la vulnerabilidad por sismo previamente afectado por subsidencias.

BAJO: Sin daño, o daño leve de elementos no estructurales.

MEDIO: Daño moderado de elementos no estructurales, o daño estructural leve

ALTO: Colapso de elementos estructurales, daño estructural moderado o posible colapso.

En las Figuras 72 y 74 se muestra la vulnerabilidad solo para sismo y las Figuras 76 y 78 la vulnerabilidad por sismo afectado previamente por subsidencias de suelo.



Figura 72 Vulnerabilidad por sismo MZ A

ELABORADO POR: AGUAIZA



Figura 73 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por sismo

MZ A

ELABORADO POR: AGUAIZA

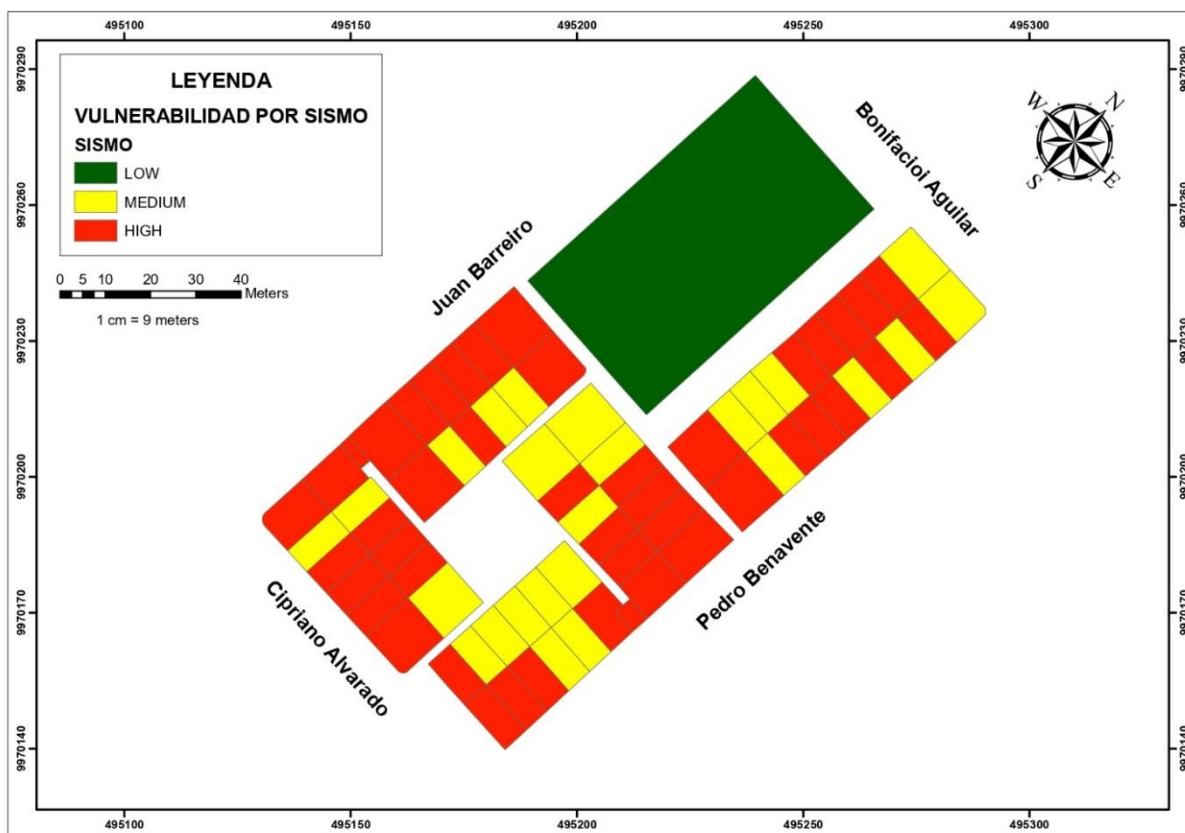


Figura 74 Vulnerabilidad por sismo MZ B

ELABORADO POR: AGUAIZA

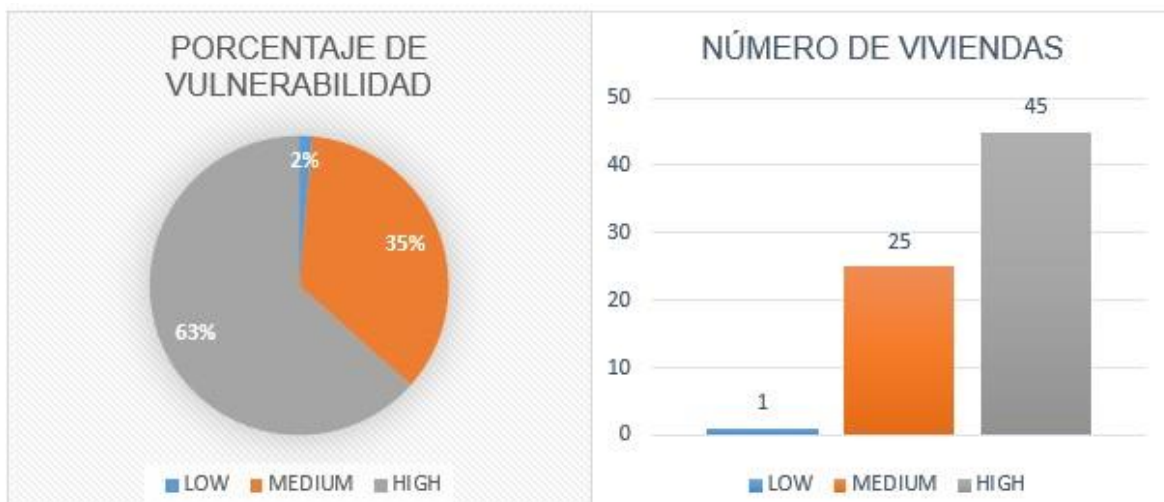


Figura 75 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por sismo

MZ B

ELABORADO POR: AGUAIZA

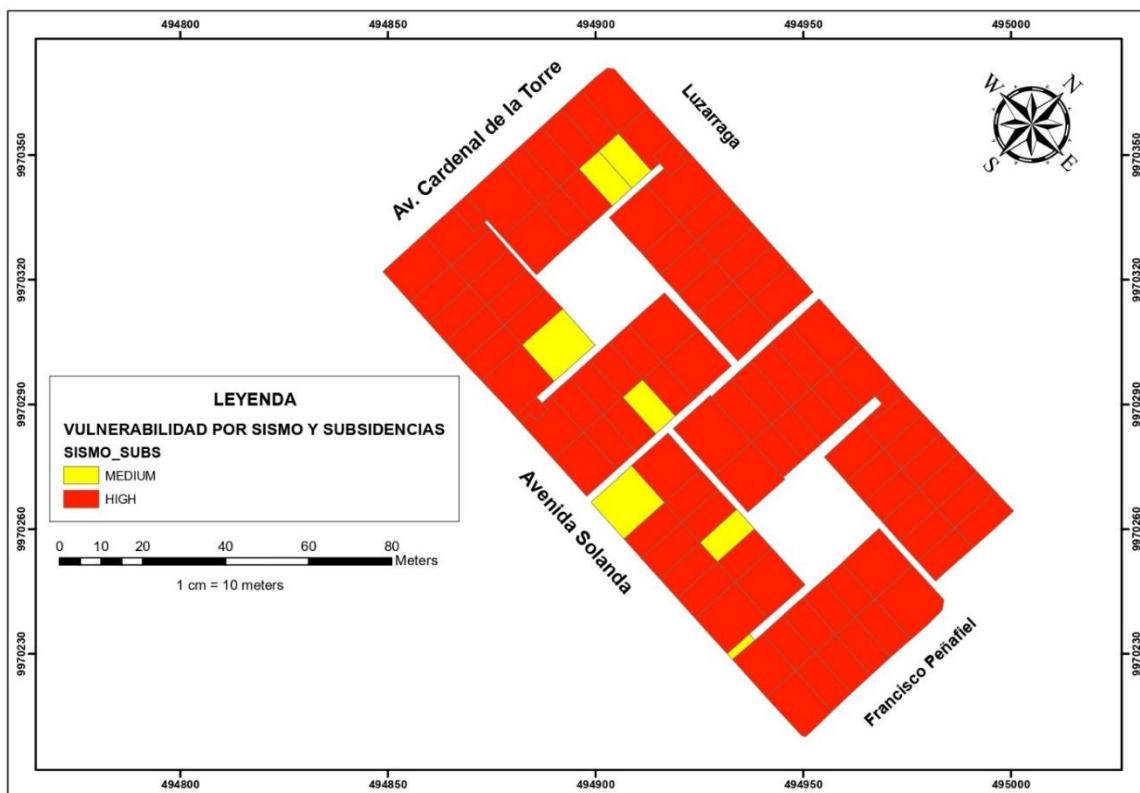


Figura 76 Vulnerabilidad por sismo en viviendas previamente afectadas por subsidencias de suelo MZ A

ELABORADO POR: AGUAIZA



Figura 77 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por sismo previamente afectadas por subsidencias de suelo MZ A

ELABORADO POR: AGUAIZA



Figura 78 Vulnerabilidad por sismo en viviendas previamente afectadas por subsidencias de suelo MZ B

ELABORADO POR: AGUAIZA



Figura 79 Porcentaje y número de viviendas que presentan vulnerabilidad por sismo previamente afectadas por subsidencias de suelo MZ B

ELABORADO POR: AGUAIZA

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.3.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO

La evaluación del Riesgo debe incluir un conocimiento detallado de la probabilidad y posibilidad de daños y pérdidas en el futuro que van desde las humanas, físicas, económicas y ambientales, en pocas palabras se debe conocer de manera detallada las características cualitativas y cuantitativas del riesgo, como la de sus factores amenaza y vulnerabilidad (EIRD/ONU, 2004). Este debe ser uno de los primeros pasos para el estudio de las estrategias y la reducción de desastres.

El nivel de Riesgo se lo obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$R = A * V \quad (4.7)$$

Donde:

R= Riesgo

A= Amenaza

V= Vulnerabilidad

La Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (EIRD/ONU) estableció un proceso de evaluación del riesgo, donde la determinación de la existencia de amenazas será el inicio para evaluar el riesgo (EIRD/ONU, 2004), como se muestra en la Figura 80.



Figura 80 Etapas del proceso de evaluación del riesgo

FUENTE: (EIRD/ONU, 2004)

4.3.1.1 Cuantificación de la Amenaza

A lo largo de mucho tiempo se ha investigado la forma de lograr una cuantificación correcta de la amenaza, a la cual se la define como la probabilidad de ocurrencia de un evento físico durante un cierto periodo de tiempo en un determinado lugar (EIRD/ONU, 2004), estas características propias de la amenaza hacen que el proceso de cuantificación sea complejo, para este caso de estudio, los eventos físicos a medir son las subsidencias de suelo y el sismo.

Para medir la amenaza se consideró una escala de niveles de daño de acuerdo con valores numéricos y representación lingüística como se observa en la Tabla 37.

Tabla 37 Nivel de amenaza

NIVEL DE AMENAZA
BAJA (1)
MEDIA (2)
ALTA (3)

ELABORADO POR: AGUAIZA

A. SUBSIDENCIAS DE SUELO

Para este estudio se realizó la cuantificación de la amenaza para subsidencias de suelo, de acuerdo con el nivel de daño que se presenta en las paredes de mampostería de las viviendas y su interrelación con las estructuras adyacentes.

Se asignó el valor de 1 para la amenaza con nivel bajo si cumple una de las siguientes consideraciones:

1. La vivienda a evaluar no deberá presentar ningún nivel de daño en sus paredes de mampostería.
2. La estructura no tendrá ninguna interrelación con las edificaciones adyacentes y el número de pisos será igual a sus vecinas, como se observa en la Fotografía 9.



Fotografía 9 Nivel de amenaza igual a 1 (baja) edificación evaluada representada dentro del rectángulo rojo

ELABORADO POR: AGUAIZA

Se asignó el valor de 2 para la amenaza con nivel medio si cumple una de las siguientes consideraciones:

1. La vivienda a evaluar tendrá un grado de daño representado por la aparición de fisuras diagonales en las paredes de mampostería o atascamiento de ventanas y

puertas como se puede observar en la Figura 38 de la sección 4.2.7.1 o en la Fotografía 10.



Fotografía 10 Nivel de amenaza igual a 2 (media) aparición de fisuras diagonales

ELABORADO POR: AGUAIZA

2. La estructura tendrá interrelación con las edificaciones adyacentes, estas pueden provocar el aumento de cargas gravitacionales ocasionado por el aumento de números de pisos de las viviendas vecinas, provocando daño en las paredes de mampostería representado con la aparición de fisuras diagonales como se puede observar en la Fotografía 11.



Fotografía 11 Nivel de amenaza igual a 2 (media) causado por el aumento de pisos

en viviendas adyacentes

ELABORADO POR: AGUAIZA

Se asignó el valor de 3 para la amenaza con nivel alto si cumple una de las siguientes consideraciones:

1. La vivienda a evaluar tendrá un alto grado de daño representado por la aparición de grietas con espesor mayor a 1 cm, que ocasiona la degradación de la rigidez y resistencia de las paredes de mampostería como se puede observar en la Figura 38 de la sección 4.2.7.1 o en la Fotografía 12. Se tomará esta consideración cuando no exista una interacción clara con las estructuras adyacentes, o las estructuras adyacentes tengan el mismo número de pisos que la estructura a evaluar.



Fotografía 12 Nivel de amenaza igual a 3 (alta) representado por la aparición de grietas y la degradación de la rigidez y resistencia

ELABORADO POR: AGUAIZA

La evaluación que se realice a las estructuras con el objetivo de cuantificar la amenaza por subsidencias de suelo puede llegar a tener un grado de incertidumbre por el motivo que muchas de las viviendas han sido reparadas su fachada con mortero o la colocación de baldosa, esto provoca que los niveles de daño puedan ser modificados y la evaluación de la compresibilidad del suelo no sea clara.

A continuación, se muestra los mapas que representan el nivel de amenaza por subsidencias para la manzana A y B.

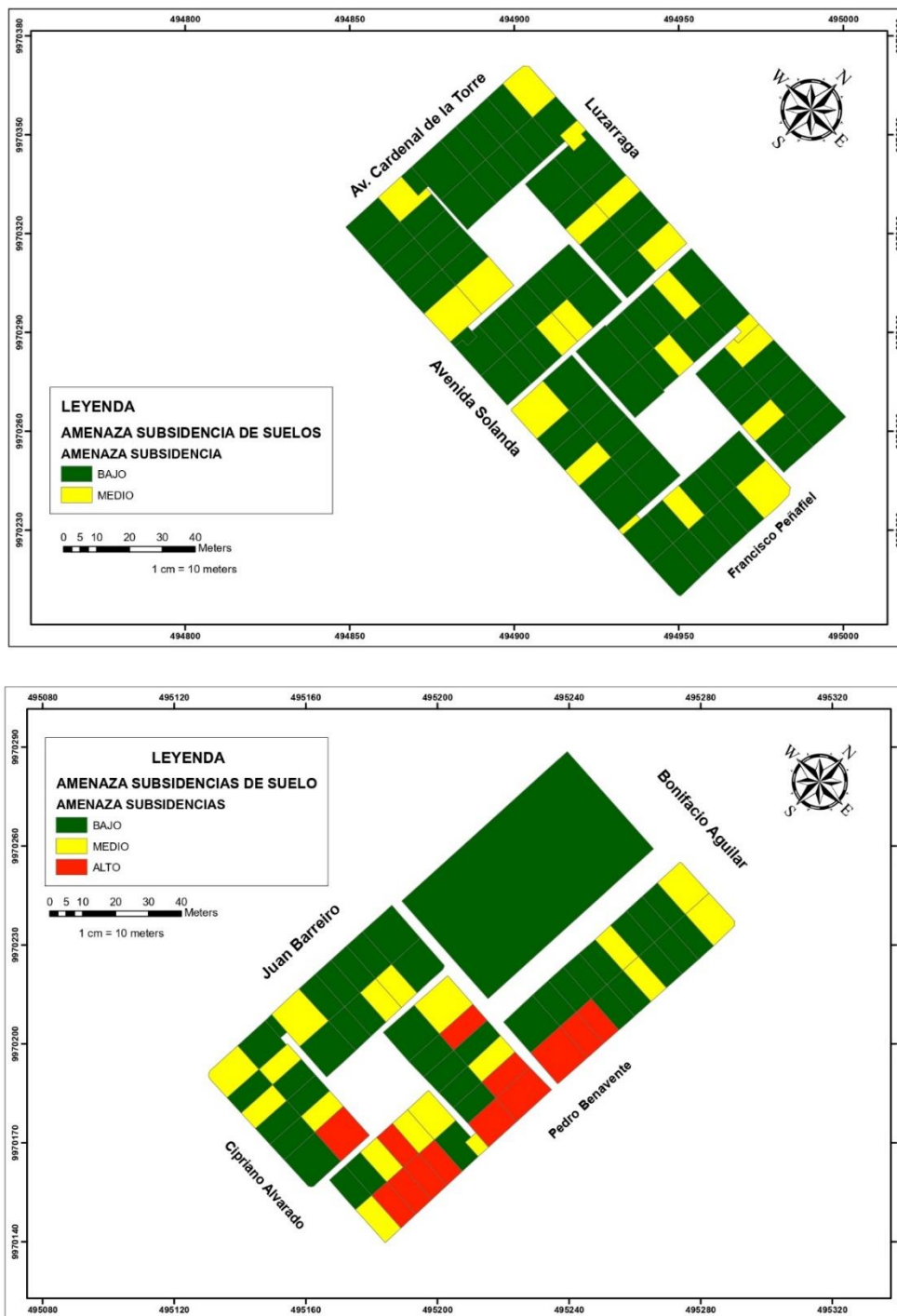


Figura 81 Amenaza por subsidencias de suelo MZ A y B

ELABORADO POR: AGUAIZA

B. SISMO

La cuantificación de la amenaza para sismo se determinó de acuerdo al mapa de zonificación sísmica del Ecuador elaborado por (NEC15-SE-SD, 2015), este representa el resultado del estudio de la amenaza sísmica para un 10 % de excedencia en 50 años y un periodo de retorno de 475 años, este mapa se puede observar en la Figura 82.

Para este caso de estudio las viviendas a cuantificar la amenaza se encuentran en la misma zona sísmica por lo tanto el valor de la amenaza será el mismo para las estructuras de la manzana A como la B. De acuerdo con el mapa de zonificación sísmica del Ecuador, Quito tienen una zona sísmica de grado V, un valor del factor $Z=0.40$ y una caracterización de la amenaza sísmica alta. De acuerdo con estos valores se asignó un nivel de amenaza sísmica igual a 2.

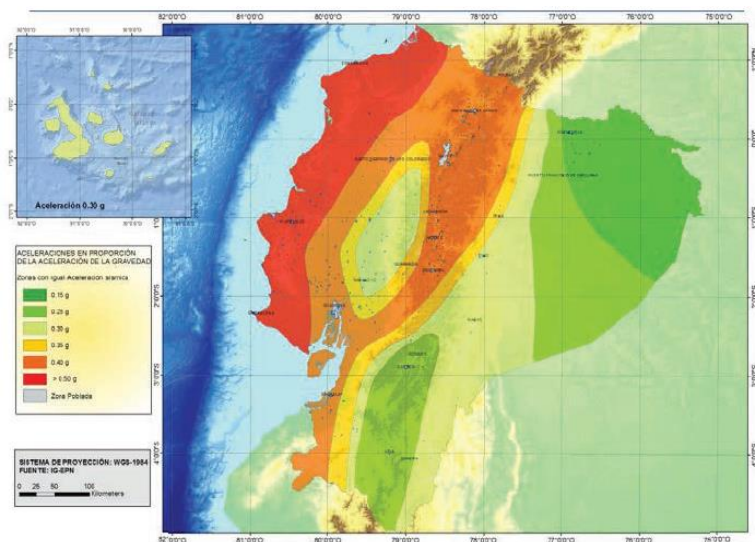


Figura 82 Mapa de amenaza sísmica del Ecuador
FUENTE: (NEC15-SE-SD, 2015)

4.3.1.2 Cuantificación de la Vulnerabilidad

Al igual que la amenaza, la vulnerabilidad fue categorizada de acuerdo con los valores obtenidos del resultado final del análisis de Machine Learning y Lógica Fuzzy descritos en la sección 4.2.9, esto se puede observar en la Tabla 38.

Tabla 38 Asignación de niveles de vulnerabilidad para subsidencias de suelo y sismo

VALOR	CATEGORÍA	NIVEL DE VULNERABILIDAD
< 3,33	Vulnerabilidad Baja	1
3,34 - 6,67	Vulnerabilidad Media	2
> 6,68	Vulnerabilidad Alta	3

ELABORADO POR: AGUAIZA

4.3.1.3 Cuantificación del Riesgo

De la misma forma que la amenaza y la vulnerabilidad pueden ser representados en mapas, al riesgo se lo puede representar de la misma forma, los mapas representan la distribución espacial de los posibles efectos que podrían ocurrir sobre un área geográfica específica, con la ayuda de estos mapas se podrá tomar decisiones de cómo enfrentar y reducir el diferente nivel de riesgo que afecta a las viviendas del sector (Lavell et al., 2009).

A partir de la cuantificación de la amenaza y la vulnerabilidad se realizó la combinación de estos factores con la única finalidad de obtener el nivel de riesgo de subsidencias de suelo y sismo y poder representarlo de una forma lingüística: alto, medio y bajo. Este proceso se puede observar en la Tabla 39.

Tabla 39 Resultado de la combinación de amenaza y vulnerabilidad como resultado (Riesgo)

VULNERABILIDAD \ AMENAZA	BAJA (1)	MEDIA (2)	ALTA (3)
	BAJA (1)	RIESGO BAJO (1)	RIESGO BAJO (2)
MEDIA (2)	RIESGO BAJO (2)	RIESGO MEDIO (4)	RIESGO ALTO (6)
ALTA (3)	RIESGO MEDIO (3)	RIESGO ALTO (6)	RIESGO ALTO (9)

ELABORADO POR: AGUAIZA

FUENTE: (Pillajo, 2016)

Tabla 40 Evaluación para el riesgo de acuerdo con los niveles de vulnerabilidad y amenaza para subsidencias de suelo

N° VIVIENDA	VULNERABILIDAD POR SUBSIDENCIAS	CATEGORIZACIÓN VULNERABILIDAD	AMENAZA SUBSIDENCIA	RIESGO SUBSIDENCIAS	RESULTADO LINGUISTICO
1	5,71	2	2	4	MEDIO
2	7,68	3	1	3	MEDIO
3	7,68	3	1	3	MEDIO
4	8,60	3	2	6	ALTO
5	7,68	3	1	3	MEDIO
6	7,68	3	1	3	MEDIO
7	8,60	3	1	3	MEDIO
8	7,68	3	1	3	MEDIO
9	5,82	2	1	2	BAJO
10	5,82	2	1	2	BAJO
11	5,82	2	2	4	MEDIO
12	7,35	3	3	9	ALTO
13	7,68	3	1	3	MEDIO
14	7,68	3	2	6	ALTO
15	7,68	3	3	9	ALTO

ELABORADO POR: AGUAIZA

Tabla 41 Evaluación para el riesgo de acuerdo a los niveles de vulnerabilidad y amenaza para sismo

N° VIVIENDA	VULNERABILIDAD POR SISMO	CATEGORIZACIÓN VULNERABILIDAD	AMENAZA SISMO	RIESGO SISMO	RESULTADO LINGUISTICO
1	7,67	3	2	6	ALTO
2	7,67	3	2	6	ALTO
3	7,67	3	2	6	ALTO
4	7,67	3	2	6	ALTO
5	7,67	3	2	6	ALTO
6	7,67	3	2	6	ALTO
7	5,12	2	2	4	MEDIO
8	5,96	2	2	4	MEDIO
9	7,34	3	2	6	ALTO
10	8,44	3	2	6	ALTO
11	6,53	2	2	4	MEDIO
12	5,00	2	2	4	MEDIO
13	5,96	2	2	4	MEDIO
14	5,96	2	2	4	MEDIO
15	5,96	2	2	4	MEDIO

ELABORADO POR: AGUAIZA

Los resultados restantes de la evaluación del riesgo se encuentran en el (Anexo IV).

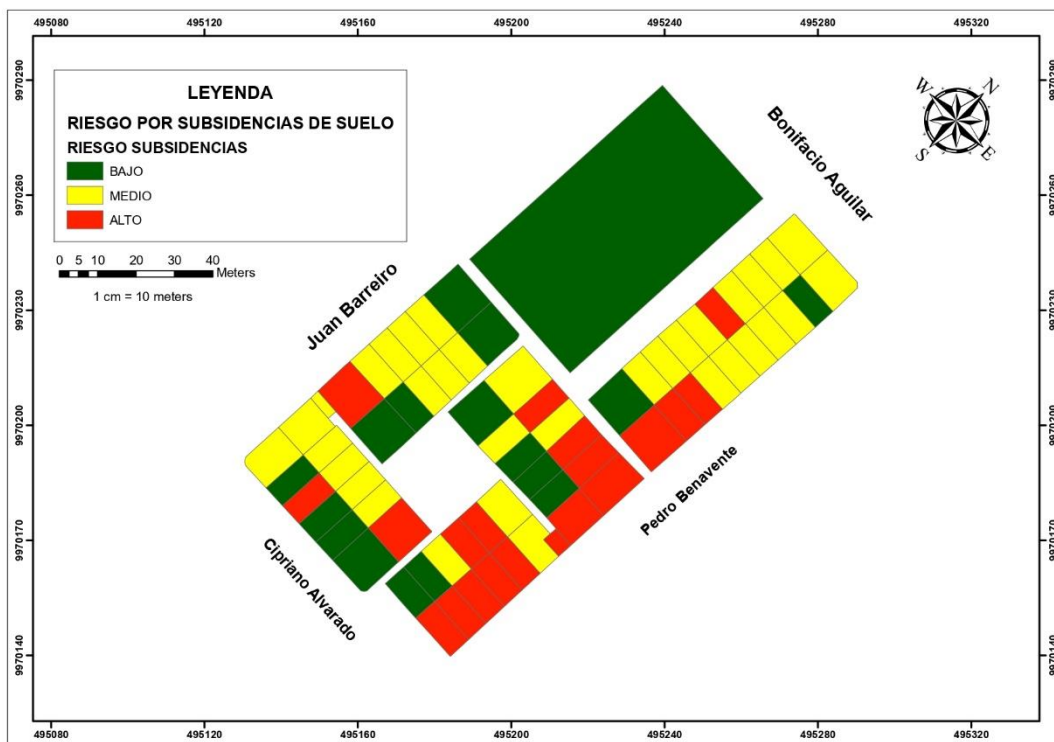
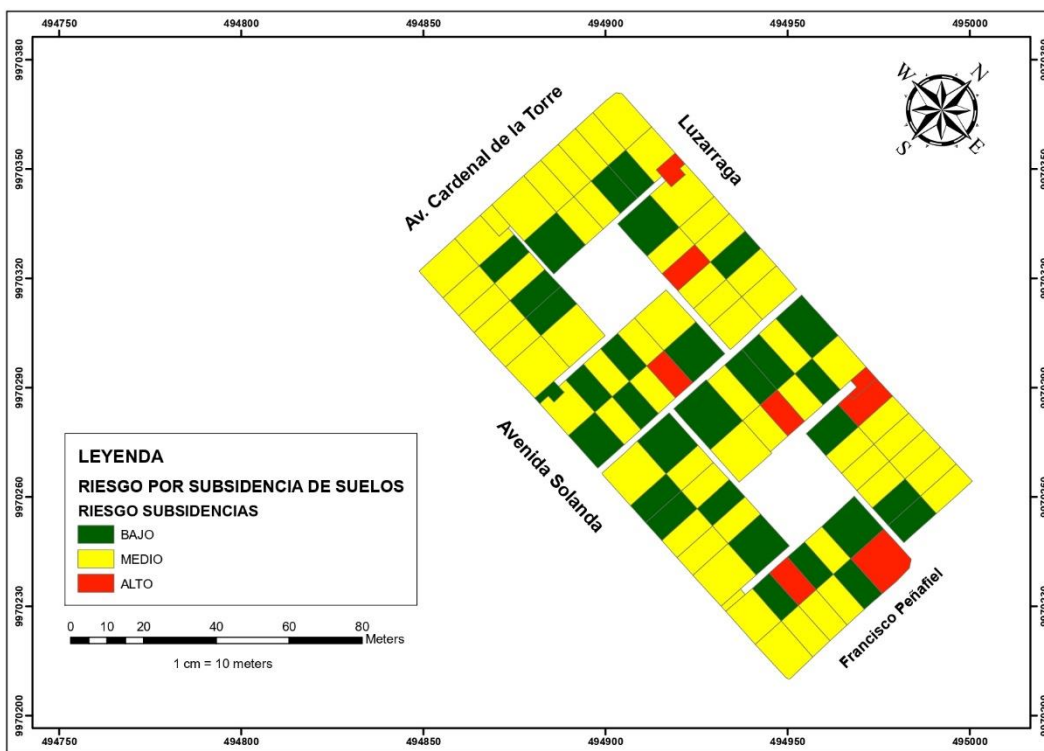


Figura 83 Riesgo por subsidencias de suelo MZ A y B

ELABORADO POR: AGUAIZA

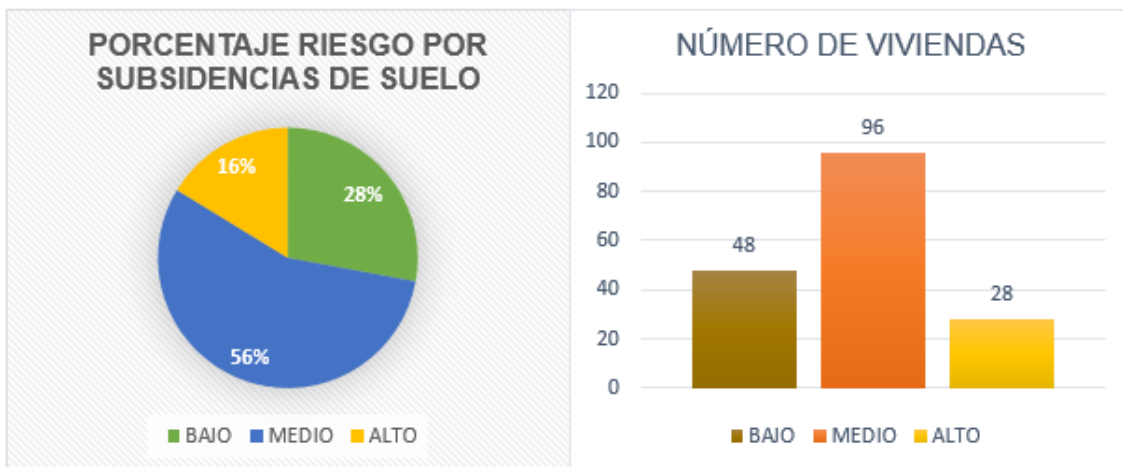
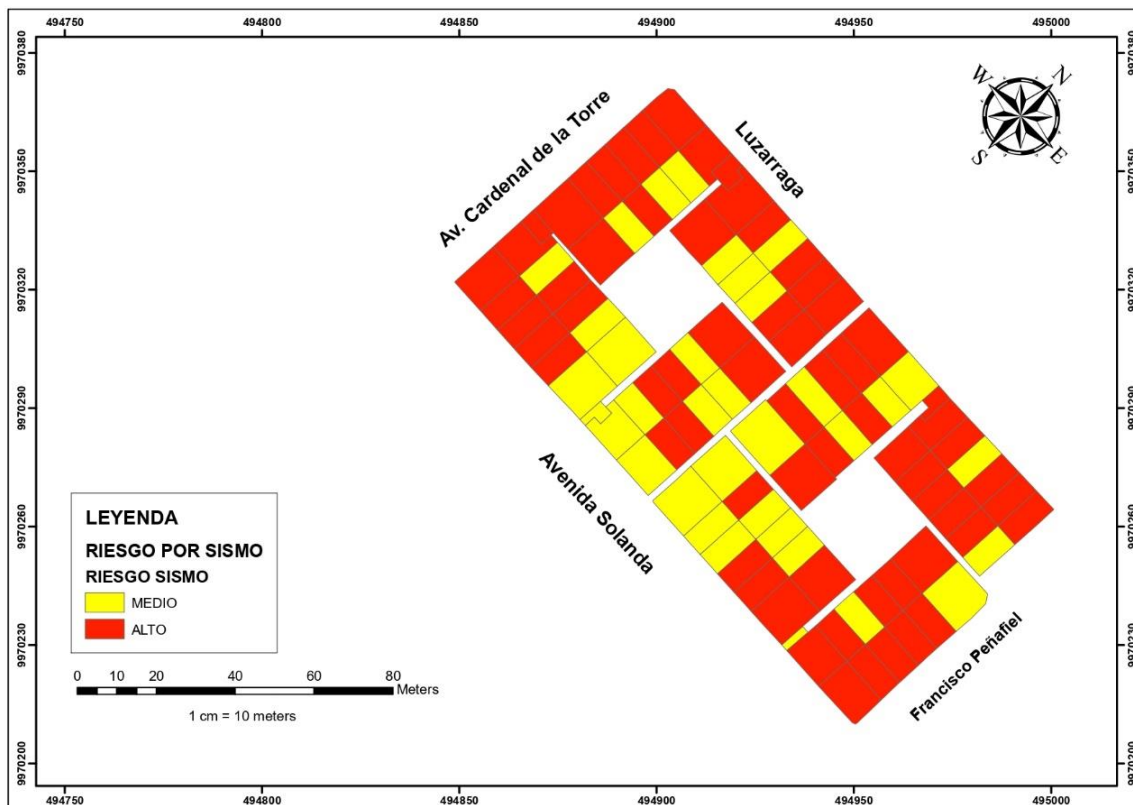


Figura 84 Porcentaje y número de viviendas que presentan riesgo por subsidencias de suelo MZ A y B

ELABORADO POR: AGUAIZA



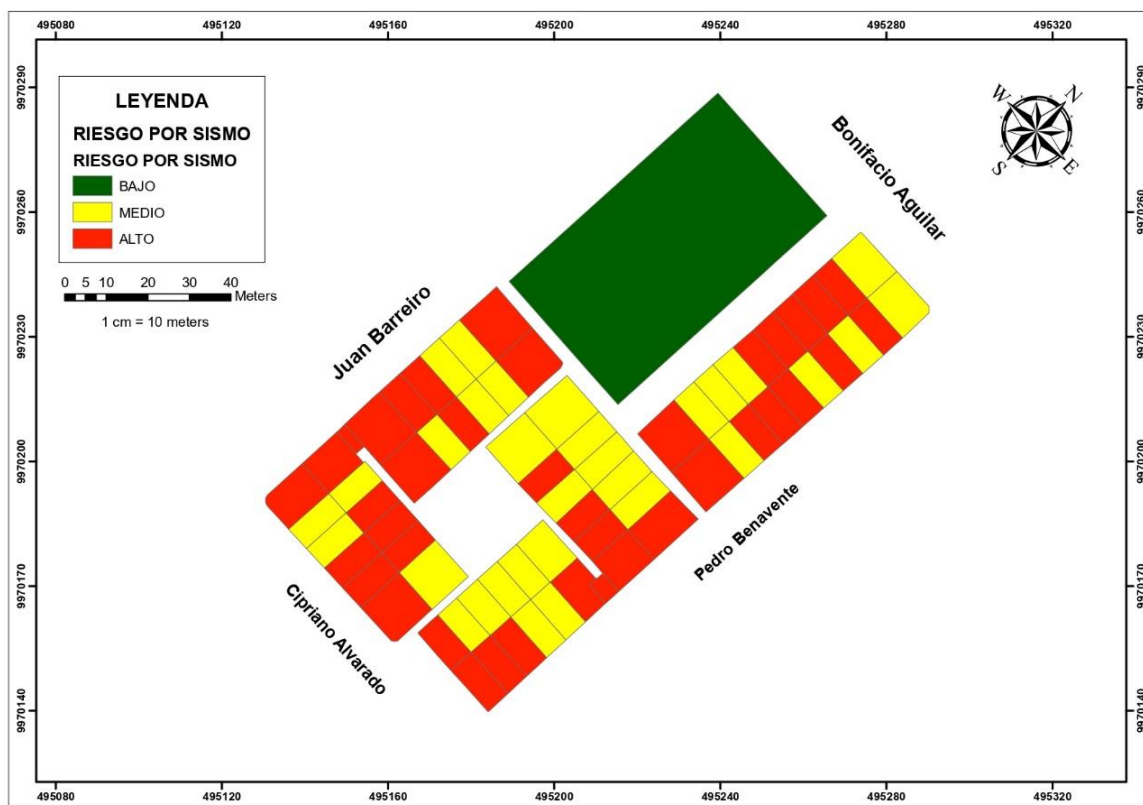


Figura 85 Riesgo por sismo MZ A y B
 ELABORADO POR: AGUAIZA

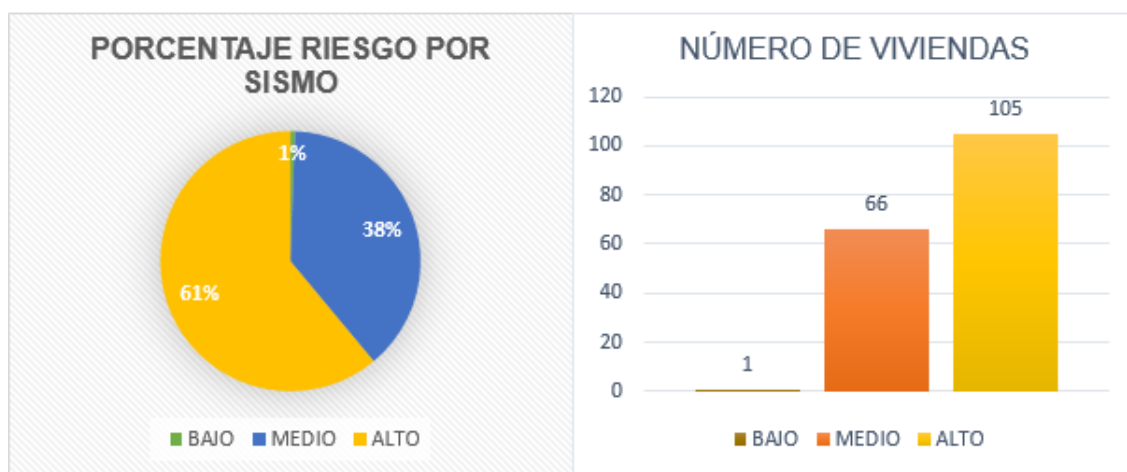


Figura 86 Porcentaje y número de viviendas que presentan riesgo por sismo MZ A y B
 ELABORADO POR: AGUAIZA

4.3.2 GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO

La gestión del riesgo contempla el análisis y evaluación del riesgo, además de la realización de estrategias y acciones específicas que permite controlar, reducir y transferir el riesgo. Este es un concepto generalizado de diferentes organizaciones que buscan minimizar la afectación del riesgo (UNISDR, 2009).

Para el caso de Solanda se realizó un Plan de Gestión Integral del Riesgo, abarcando el concepto Gestión del Riesgo de Desastre definida de forma genérica como:

“Un proceso social cuyo fin último es la previsión, la reducción y control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles” (Lavell et al., 2009).

La Gestión del Riesgo de Desastres necesita la colaboración de varias entidades, con distintas funciones y campos de acción que van desde lo local a lo internacional (Lavell et al., 2009). Este sistema se descompone en acciones específicas (hito), las cuales abarcan seis procesos como se muestra en la Figura 87.

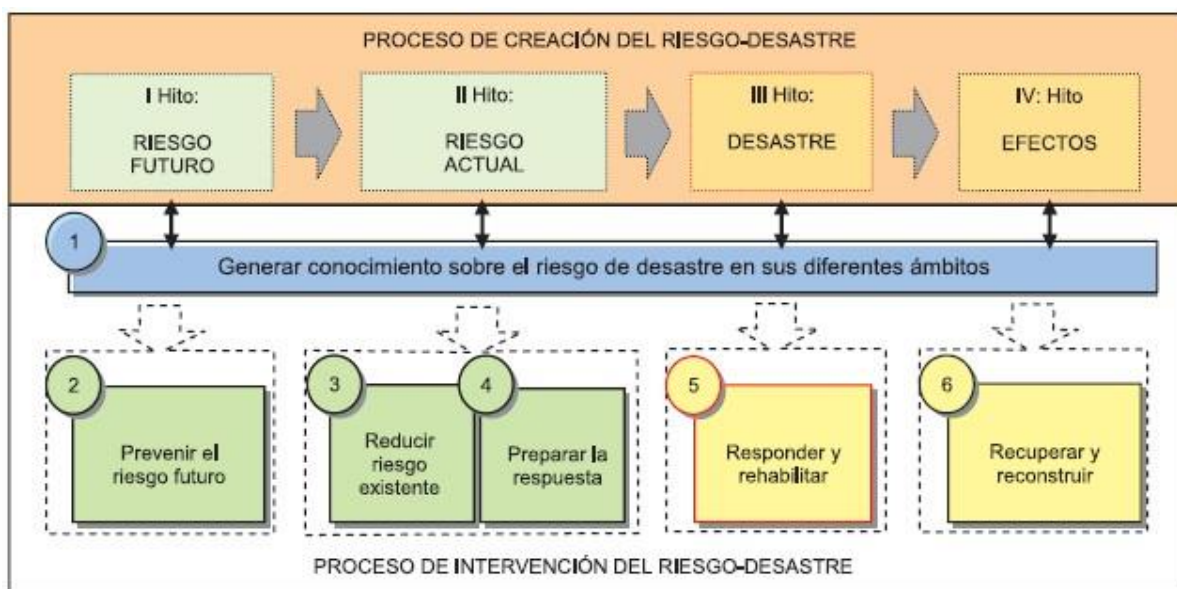


Figura 87 Proceso de creación del Riesgo-Desastre

FUENTE: (Lavell et al., 2009)

La elaboración del Plan de Gestión Integral del Riesgo en el sector de Solanda se tomó como referencia al (Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastre 2015-2030), el cual menciona cuatro prioridades ha adoptar por los Estados, las prioridades de acción son las siguientes:

- PRIORIDAD 1: Comprender el riesgo de desastres
- PRIORIDAD 2: Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo
- PRIORIDAD 3: Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia
- PRIORIDAD 4: Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y para “reconstruir mejor” los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.

Para lograr una correcta aplicación de la Gestión del Riesgo de Desastre, las organizaciones responsables necesitan ejecutar los procesos clave mostrados en la Figura 88, los cuales funcionan conjuntamente con las prioridades definidas anteriormente.

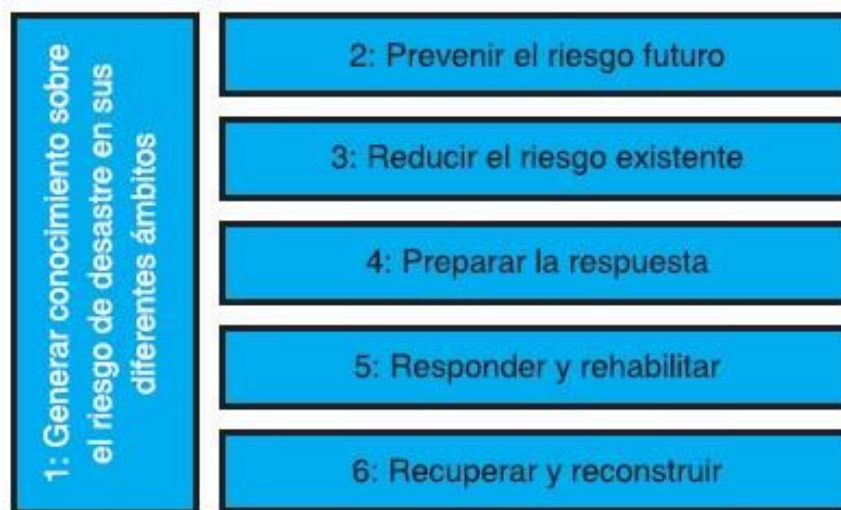


Figura 88 Procesos clave o misionales de la Gestión del Riesgo de Desastre

FUENTE: (Lavell et al., 2009)

1. Generar conocimiento sobre el riesgo de desastre en sus diferentes ámbitos

En este proceso se genera la información y el conocimiento que permita y facilite una correcta gestión del riesgo y se pueda difundir y disponer los datos a las personas que toman decisiones (Lavell et al., 2009). En el ámbito político corresponde a la prioridad 1 del Macro de Acción de Sendai.

2. Prevenir el riesgo futuro

Para lograr cumplir este proceso se requiere desarrollar habilidades y capacidades de planificación que ayude a anticipar la aparición de nuevos riesgos (Lavell et al., 2009). En el ámbito político corresponde a la prioridad 3 del Macro de Acción de Sendai.

3. Reducir el riesgo existente

Implementar opciones de reducción de riesgo que deben ser planificadas y ejecutadas en conjunto con proyectos de desarrollo integral, este proceso debe incluir la reducción de la vulnerabilidad (Lavell et al., 2009). En el ámbito político corresponde a la prioridad 1 y 2 del Macro de Acción de Sendai.

4. Preparar la respuesta

En este proceso se fortalecen los conocimientos y las capacidades desarrolladas por entidades públicas, privadas y otras organizaciones que ayudan en la respuesta ante condiciones de emergencias o desastres identificadas anteriormente (Lavell et al., 2009). En el ámbito político corresponde a la prioridad 4 del Macro de Acción de Sendai.

5. Responder y rehabilitar

Este proceso se realiza la implementación de medidas necesarias para salvar la mayor cantidad de vidas humanas, garantizar la operación de servicios básicos y rescatar bienes, usando los planes de emergencia y contingencia elaborados en el proceso 4

(Lavell et al., 2009). En el ámbito político corresponde a la prioridad 4 del Macro de Acción de Sendai.

6. Recuperar y reconstruir

En este proceso se restablece las condiciones aceptables y sostenibles mediante la reparación de servicios destruidos y la reconstrucción de la infraestructura afectada, con la finalidad de obtener un desarrollo social y económico con la comunidad afectada logrando reducir el riesgo a un nivel menor del que existían antes del desastre (Lavell et al., 2009). En el ámbito político corresponde a la prioridad 4 del Macro de Acción de Sendai.

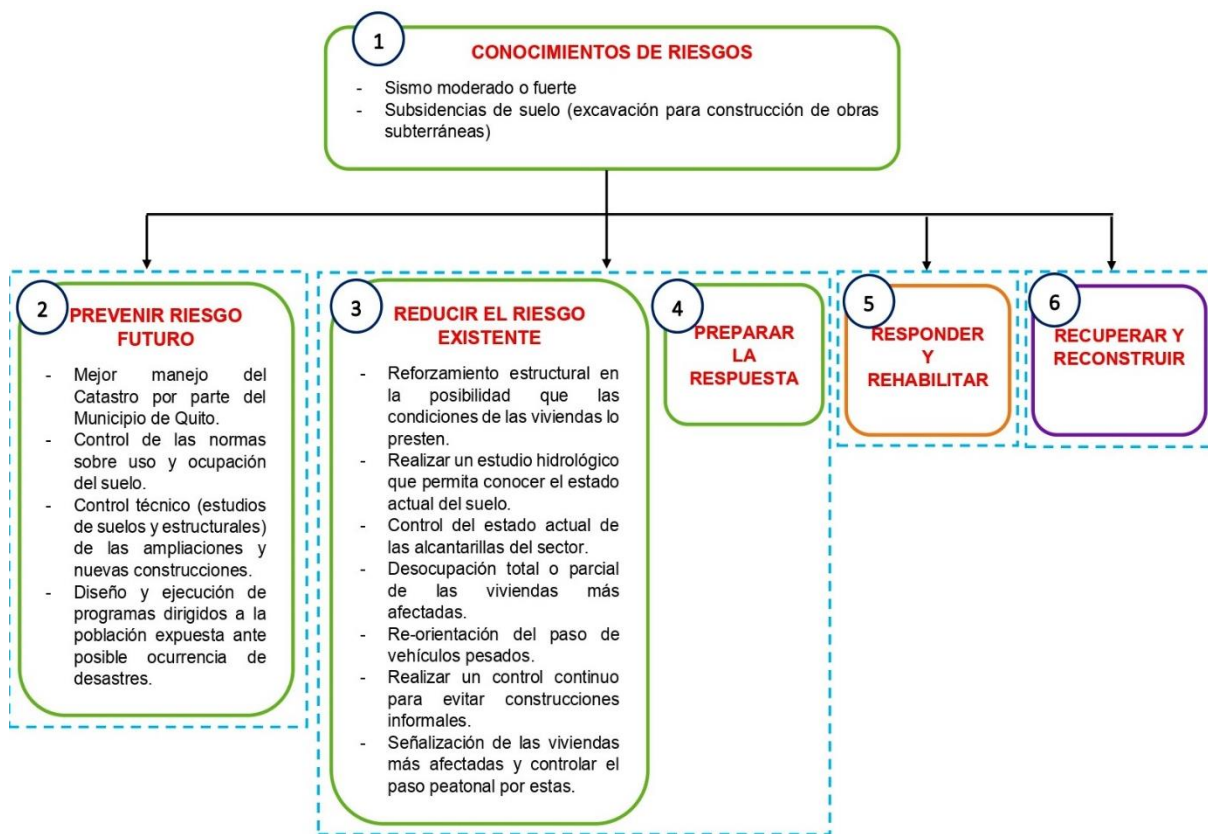


Figura 89 Gestión del riesgo del desastre sector Solanda

ELABORADO POR: AGUAIZA

4.3.3 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

La mitigación o (reducción) del riesgo consiste en la planificación y ejecución de planes o medidas de intervención con el objetivo de que el nivel de riesgo se reduzca. La mitigación es el resultado de comprender que no se puede controlar la afectación del riesgo totalmente, esto quiere decir que en algunos casos no va ser posible evitar totalmente los daños y sus consecuencias (Lavell, 2001). Solo se podrá atenuarlas.

La Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD/ONU) aconseja que las medidas de mitigación deben ser estructurales y no-estructurales, el cumplimiento de estas medidas son dependientes de los diferentes actores involucrados en su ejecución (EIRD/ONU, 2004), para el caso del sector de Solanda debe existir un trabajo en conjunto entre la población, el Municipio de Quito y entidades públicas.

Las medidas que se sugieren en este proyecto son dirigidas a la reducción de la vulnerabilidad de las diferentes edificaciones ubicadas en el sector, si bien es conocido que las ejecuciones de estas medidas pueden ayudar a disminuir los efectos sobre la población y sus bienes, la naturaleza de estas en especial la de subsidencias que involucra suelos limosos orgánicos, hace que siga su propia dinámica por lo que es importante que existan controles continuos en la zona.

4.3.3.1 Medidas de Mitigación para Riesgo Alto y Medio por Subsidencias de Suelo

Se analizó 172 viviendas del sector y se obtuvo como resultado que 28 tienen un riesgo alto que corresponde al 16.28 % y 96 viviendas que representa el 55.81 % poseen riesgo medio (Anexo IV).

- **PROPUESTAS PARA MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES**

Las medidas de mitigación estructurales se definen como la intervención física de la vulnerabilidad, mediante la construcción de soluciones con criterio ingenieril que permita la garantía y protección de la población y sus bienes. A partir de esto muchas

de las soluciones pueden ser costosas y no viables por las características del sector y el tiempo de vida útil de las viviendas. Muchas de las propuestas de mitigación estructurales contemplan una implicación que va más allá de un reforzamiento estructural, estas medidas tienen que ir de lo particular a lo general. Considerando estos factores se sugieren las siguientes medidas de mitigación:

A. Ejecutar un reforzamiento estructural de paredes de mampostería (enchapar), esta técnica ayuda a disminuir la vulnerabilidad física de las estructuras tanto para subsidencias de suelo como para sismo. El enchapado actúa como un muro estructural que ayuda a resistir las cargas laterales y verticales del pórtico. El enchapado consiste en recubrir la pared de mampostería existente con malla electrosoldada, se tienen que conectar estas mallas a la losa o vigas por medio de anclajes y revestirlas con mortero de alta resistencia, este procedimiento se lo debe realizar en las dos caras de la pared de mampostería. Es recomendable que las paredes de mampostería seleccionadas para reforzar tengan simetría en planta y elevación, para obtener una estructura mucho más rígida.

Para la sección de paredes que se van a enchapar se recomienda los siguientes criterios:

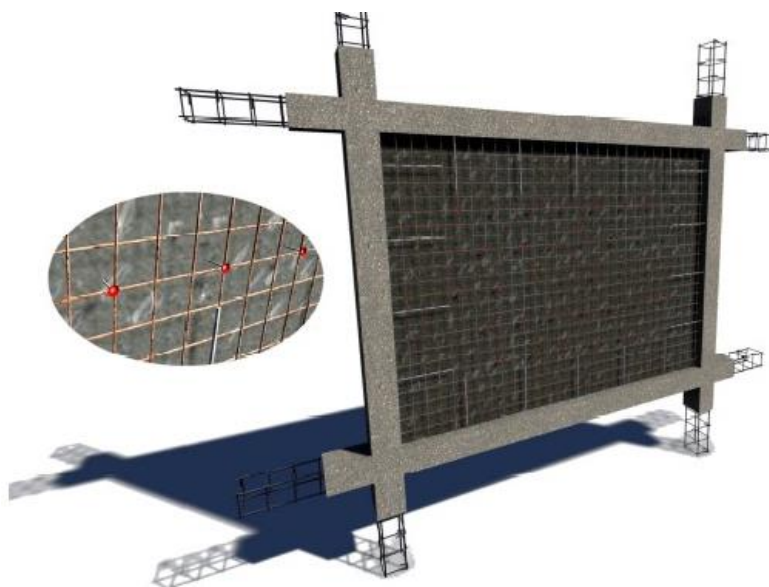


Figura 90 Enchapado de paredes

FUENTE: (Aguilar & Lumbi, 2014)

1. Paredes de mampostería que se encuentre dentro de los pórticos.
2. Paredes que tengan continuidad en altura
3. Evitar generar problemas de torsión en la selección de las paredes.

Esta propuesta se la debe considerar a partir de las características específicas de cada vivienda, existe muchas estructuras altas junto a las pequeñas lo que lleva a un estudio más específico. A pesar que esta medida es la más económica, su aplicación en gran cantidad puede resultar costoso.

- B. Se conoce que la condición del suelo en el sector es pésima, por lo que una de las medidas a tomar seriamente es el derrocamiento de estructuras mayores a 2 pisos en sectores donde el nivel de daño es irreparable y la reubicación de la población con una mejor planificación, considerando que el proyecto original fue implementado para 2 plantas.
- C. Realizar un estudio Hidrológico y Geotécnico del sector con la finalidad de tener un control sobre los asentamientos que se están produciendo en las viviendas, este control debe ser continuo y permanente con registros fotográficos, considerando que los propietarios de las viviendas cubren la fisuras con mortero y baldosa lo que hace más complejo la identificación de las estructuras afectadas.
- D. Evitar el aumento de cargas gravitacionales en las viviendas (ampliaciones), estas ocasionan que aumente la vulnerabilidad física de las estructuras y su comportamiento estructural. La totalidad de las viviendas en el sector de Solanda se encuentran adosadas, por este motivo la afectación por aumento de cargas provoca que las estructuras adyacentes sufran daños.
- E. De acuerdo con el estudio geotécnico realizado por la Pontifica Universidad Católica del Ecuador determino un tipo de extracto de va desde arenas limosas a limos arenosos, compresibles de mediana plasticidad. Por estas características del suelo se recomienda el mantenimiento y mejoramiento del estado actual de las alcantarillas (Bucheli & Realpe, 2018).
- F. Limitar de manera estricta las obras subterráneas y la extracción de agua del sector, ya esto podría influir en el cambio del nivel freático.

G. Re-orientación de vehículos pesados que circulan por el sector.

- **PROPUESTAS PARA MEDIDAS DE MITIGACIÓN NO ESTRUCTURALES**

Las medidas de mitigación no estructurales se definen como las acciones que se asocian con el fortalecimiento de entidades públicas, regulación de uso de suelos educación y preparación de la población frente a situaciones de emergencia. A continuación, se sugieren algunas medidas de mitigación:

- A. Control de la ocupación y uso del suelo, además de la creación de nuevas ordenanzas que logren el control de los diferentes sistemas de construcción y materiales que se puedan usar en el sector por parte del Municipio de Quito.
- B. Control técnico (estudios de suelos) y mejor manejo del catastro sobre las posibles ampliaciones o nuevas construcciones en el sector por parte del Municipio de Quito.
- C. Diseño y ejecución de programas por parte de entidades públicas y metropolitanas, dirigidos a la población expuesta ante posible ocurrencia de desastres.
- D. Socializar y educar a la población del sector sobre la afectación del riesgo al que se encuentran expuesto y sobre las acciones a realizar ante la presencia de un desastre, con la finalidad de que exista un empoderamiento por parte de la población y lograr la creación de comités barriales, dirigidos especialmente al control y manejo de la gestión del riesgo.

4.3.3.2 Medidas de Mitigación para Riesgo Alto y Medio por Sismo

Se analizó 172 viviendas del sector y se obtuvo como resultado que 105 tienen un riesgo alto que corresponde al 61.05 % y 66 viviendas que representa el 38.37 % poseen riesgo medio (Anexo IV).

- **PROPUESTAS PARA MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES**

- A. Ejecutar un reforzamiento estructural de paredes de mampostería (enchapar), esta técnica ayuda a disminuir la vulnerabilidad física de las estructuras tanto para subsidencias de suelo como para sismo. El enchapado actúa como un muro estructural que ayuda a resistir las cargas laterales y verticales del pórtico. Esta propuesta se la debe considerar a partir de las características específicas de cada vivienda, existe muchas estructuras altas junto a las pequeñas lo que lleva a un estudio más específico. A pesar que esta medida es la más económica, su aplicación en gran cantidad puede resultar costoso. El procedimiento de esta técnica se lo detalla en las propuestas de mitigación estructurales para subsidencias de suelo.
- B. Realizar un reforzamiento estructural por medio de la técnica encamisado de columnas la cual consiste en cubrir las columnas con refuerzo longitudinal y transversal alrededor de la sección original y añadir un nuevo recubrimiento de hormigón. Esta técnica tiene el objetivo de aumentar la resistencia axial, a flexión y cortante de las columnas, llegando a obtener el criterio de columna fuerte viga débil.
- C. Por la condición del suelo y la alta vulnerabilidad de las viviendas para sismo afectadas previamente por subsidencias de suelo, se recomiendan derrocar las estructuras mayores a 2 pisos e iniciar un plan de reubicación de la población con una mejor planificación, se debe considerar que el proyecto original fue desarrollado para 2 plantas.

- **PROPUESTAS PARA MEDIDAS DE MITIGACIÓN NO ESTRUCTURALES**

- A. Control técnico (estudios estructurales complementados con estudios de suelo) y mejor manejo del catastro sobre las posibles ampliaciones o nuevas construcciones en el sector por parte del Municipio de Quito, logrando controlar la informalidad que existe en el sector.

- B. Control sobre la ocupación y uso del suelo en las viviendas, ya que muchas de estas son de uso comercial lo que hace que exista eliminación de paredes y por consecuencia una alteración a la configuración estructural existente.
- C. Diseño y ejecución de programas por parte de entidades públicas y metropolitanas, dirigidos a la población expuesta ante posible ocurrencia de desastres.
- D. En el sector de Solanda especialmente en la zona conocida como el laberinto existe invasión de los pasajes peatonales, lo que hace imposible la circulación de los diferentes servicios de atención a desastres, es por eso que se debe socializar y educar a la población del sector sobre la afectación del riesgo que se encuentran expuestos y sobre las diferentes acciones a realizar ante la presencia de un desastre como es un evento sísmico de gran magnitud.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El sector de Solanda ubicado en el sur occidente del Distrito Metropolitano de Quito fue creado a partir de la donación de terrenos a la Fundación Mariana de Jesús, la cual en unión con la Junta Nacional de la Vivienda y financiado por el Banco Ecuatoriano de la Vivienda iniciaron la construcción de un plan de vivienda social a inicios de la década de los 80's. Los registros históricos indican que en los terrenos donde se construiría el plan de vivienda, existía la presencia de acuíferos, pantanos y quebradas que después fueron rellenadas, esto ayudo para dar inicio a lo que hoy se conoce como el barrio de Solanda un sector residencial y comercial.
- Realizado el análisis de Gestión del Riesgo Integral, se pudo observar que en el sector de estudio existe un riesgo alto del 56% y un riesgo medio del 16% para subsidencias de suelo y para sismo existe un riesgo alto del 61% y un riesgo medio del 38%, estos valores exponen la grave problemática que presenta el barrio de Solanda.
- La metodología expuesta en este trabajo abarca el levantamiento de información por medio de encuestas, esta información puede ser subjetiva e incompleta lo que lleva a obtener un cierto nivel de incertidumbre. Al igual que en el levantamiento de información, los modelos computacionales presentan un nivel de incertidumbre provocado por la cercanía de las viviendas y por no conocer la real interacción que existe entre estructuras, tanto para el problema de subsidencias como con la presencia de eventos sísmicos, esta interacción que existe entre estructuras puede ayudar a ciertas viviendas y perjudicar a otras, por este motivo se utilizó la teoría de conjuntos difusos disminuyendo el nivel de incertidumbre externo provocado.
- El análisis de la vulnerabilidad se realizó a partir de las 6 variables previamente definidas en la encuesta tanto para subsidencias como para sismo, con el método de Machine Learning se creó ejemplos de entrenamiento cuyo resultado final son

calificaciones lingüísticas, estos ejemplos se aginaron al algoritmo con lo cual se obtuvo resultados finales satisfactorios comparados con los daños observados en las viviendas, además se logró disminuir las incertidumbres externas con el uso de la lógica difusa.

- Para los diferentes análisis no lineales que se realizaron en el sector se consideró la afectación que pueden tener las estructuras debido a la interacción que existe con las viviendas adyacentes, para el caso de asentamientos esta interacción se logró calibrando los modelos, de esta manera se observó que los niveles de daño producido en la vivienda son dependientes del comportamiento de las estructuras colindantes.
- Las edificaciones informales que presentan más de 3 pisos presentan una vulnerabilidad alta ante subsidencias y sismo, esto se debe a la falta de planificación en su ampliación vertical y esto se puede evidenciar en el tamaño de sus columnas. Por estas razones las estructuras evaluadas de 3 pisos y especialmente mayores a 4 pisos no son aptas para desempeñarse adecuadamente ante la presencia de sismos en la ciudad de Quito como se demostró en los modelos realizados.
- Se pudo evidenciar en el análisis no lineal estático para asentamientos que los primeros niveles de daños se produjeron en las paredes de mampostería, esto provocado por la degradación rápida de la rigidez y además se observó que las paredes tienen una aportación considerable en el rango elástico mientras que su aporte en el rango inelástico es casi nulo.

5.2 RECOMENDACIONES

- La información obtenida sobre los diferentes parámetros mecánicos de los materiales en el sector es casi nula, por este motivo se recomienda realizar muestreos y ensayos de los diferentes materiales considerando las particularidades de las viviendas del sector y su interacción con las edificaciones vecinas. Sin embargo, se debe considerar la informalidad que posee el sector y que

las ampliaciones fueron hechas de manera independiente, por lo que es muy posible que los coeficientes de variación de los ensayos no sean aceptables.

- Los resultados de vulnerabilidad de las viviendas pueden llegar a presentar un mayor grado de veracidad, si las variables definidas en la encuesta incluyen los daños que presentan los elementos estructurales y paredes de mampostería, incluyendo una inspección interna de la edificación.
- Educar y socializar a la población del sector de Solanda sobre el nivel del riesgo al que se encuentran expuestos y las posibles acciones que se podrían realizar para evitar un desastre, con la finalidad que exista un empoderamiento de la población impulsando la creación y formación de comités barriales dirigidos hacia el control y manejo de la gestión del riesgo.
- Evaluar las medidas de mitigación realizadas en este estudio, que permita la reducción de la vulnerabilidad de las diferentes viviendas que se encuentran afectadas y comenzar el Plan Integral de Gestión de Riesgos para el barrio Solanda.
- Incitar al Municipio de Quito y entidades públicas a desarrollar proyectos de investigación en la rama de la geología, hidrogeología e ingeniería civil para que de esta manera se pueda recopilar, analizar y ampliar nueva información sobre la zona y obtener una idea más generalizada de las diferentes amenazas que afectan a la ciudad

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, I., & Lumbi, E. (2014). *Diagnóstico y Propuesta de Reforzamiento Estructurales de una Edificación Representativa en el Barrio Atucucho, de Quito.*
- Alban, D. (2017). *Zonificación del Peligro por Subsistencia en el barrio San José de Chilibulo, Sur del Distrito Metropolitano de Quito.*
- Arroyo, J. C. (2017). *Estudio Teórico del Comportamiento No Lineal de Losas de Cimentación. obtención de un Método Simplificado para la Determinación del Coeficiente de Balasto y de los Esfuerzos en Losas de Cimentación con Geometría Regular.* Retrieved from <https://repositorio.ucjc.edu/bitstream/handle/20.500.12020/239/TESIS-VERSION ENCUADERNADA-22 de mayo.pdf?sequence=1>
- Aruna, Rajagopalan, & Nandakishore. (2011). An Empirical Comparison Of Supervised Learning Algorithms In Disease Detection. *International Journal of Information Technology Convergence and Services*, 1(4), 81–92. <https://doi.org/10.5121/ijitcs.2011.1408>
- ASCE/SEI 41. (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. In *ANSI/ASCE Standard*. <https://doi.org/10.1061/9780784414859>
- ASCE/SEI 7. (2016). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. In *ANSI/ASCE Standard*. <https://doi.org/10.1061/9780872629042>
- Aviles, L. (2013). *Caracterización Geológica-Geotécnica del Sur de la Ciudad de Quito.*
- Barbat, A. H., Canas, J. A., & Yopez, F. (1995). Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería. Retrieved from <http://www.cimne.com/tiendaCIMNE/free/MIS12.pdf>
- Barbat, A., & Pujades, L. (2004). Evaluación de la Vulnerabilidad y del Riesgo Sísmico en zonas urbanas, aplicación a Barcelona. *SÍSMICA 2004 - 6º Congreso Nacional de Sismología e Engenharia Sísmica*, (1977), 229–252. Retrieved from http://civil.uminho.pt/masonry/Publications/Sismica_2004/229-252 Alex Barbat e Lluís Pujades _24 p_.pdf
- Bonett, R. L. (2003). *Comportamiento Sísmico de Edificios de Mampostería No Reforzada Aplicación a Entornos Urbanos en Zonas de Amenaza Alta y Moderada.* Retrieved from <http://www.tdx.cat/handle/10803/6230>
- Breiman, L. (2001). Randon Forests. *Machinelearning 202 Pbworks*, 1–35. Retrieved from http://machinelearning202.pbworks.com/w/file/etch/60606349/breiman_randomf

orests.pdf

- Bucheli, J., & Realpe, G. (2018). *Estudio de Diagnóstico - Preliminar "Asentamientos de viviendas en el Barrio de Solanda, en la ciudad de Quito de la provincia de Pichincha."*
- Cacuango, P. D. (2013). *Plataforma de Arte Urbano Solanda.*
- Carreño, M. L., Barbat, A. H., & Cardona, O. D. (2014). Método Numérico para la evaluación Holística del Riesgo Sísmico utilizando la teoría de Conjuntos Difusos. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 30(1), 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.10.002>
- Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2011). Evaluación de la habitabilidad de edificios afectados por Sismo utilizando la Teoría de Conjuntos Difusos y las Redes Neuronales Artificiales. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 27(4), 278–293. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2011.08.006>
- Casco, B., & Parra, J. (2020). *Determinación de la Probabilidad de Daño Estructural por Asentamientos Diferenciales de la Viviendas de la Ciudadela Solanda en Quito usando Métodos Estocásticos.*
- Demartinos, K., & Dritsos, S. (2006). First level pre-earthquake assessment of buildings using Fuzzy Logic. *Earthquake Spectra*, 22(4), 865–885. <https://doi.org/10.1193/1.2358176>
- DMQ. (2015). Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito. *EXCO-Excelencia Corporativa. Quito*, 126. Retrieved from https://ia801301.us.archive.org/31/items/AtlasAmenazasNaturalesDMQ/Atlas_a_menazas_naturales_DMQ.pdf
- Durbach, I. N., & Stewart, T. J. (2012). Modeling Uncertainty in Multi-criteria Decision Analysis. *European Journal of Operational Research*, 223(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.04.038>
- EIRD/ONU. (2004). *Vivir con el Riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres.* Ginebra, Suiza.
- El Comercio. (2019). *El 45% de las casas informales de Quito tiene mayor riesgo sísmico.* Retrieved from <https://www.elcomercio.com/actualidad/construccion-informal-sismos-vulnerabilidad-estudio.html>
- Erçetin, Ş. Ş., Tekin, A., & Açıkalin, Ş. N. (2014). *Organized and Disorganized Chaos a New Dynamics in Peace Intelligence.* https://doi.org/10.1007/978-94-017-8691-1_1

- Estrada, K., & Vivanco, N. (2019). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica. Análisis Estructural y Diseño del Reforzamiento de una vivienda de tres pisos ubicada en el norte de Quito-Ecuador.*
- Grijalva, L., & Narváez, H. (2018). *Elaboración de Curvas de Fragilidad para Ensayos Experimentales realizados sobre Mamposterías de Bloques de Concreto y Ladrillos en Quito.*
- Guerrero, F. (2017). *Vivienda colectiva de reubicación para familias en zonas de Riesgo.*
- ICIA. (2017). *Evaluación de Vulnerabilidades Físicas y Socio-Económicas.* (Etapa 2), 1–66.
- Ilustre Consejo Municipal de Quito. *Ordenanza 2292 de Urbanizaciones “Solanda.”*, (1983).
- Lavell, A. (2001). *Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición.* 1–22.
- Lavell, A., Narváez, L., & Pérez, G. (2009). *La Gestión del Riesgo de Desastres: Un enfoque basado en procesos* (Primera Ed). PREDECAN.
- Lima, K., & Paredes, J. (2017). *Estudio Analítico-Experimental del Desempeño de un Pórtico de Hormigón Armado con Panel de Relleno de Bloque de Baja Resistencia, a través de un Ensayo a Carga Lateral y Modelo Computacional.* Escuela Politécnica Nacional.
- Lin, K. C., Huang, Y. H., Hung, J. C., & Lin, Y. T. (2015). Feature Selection and Parameter Optimization of Support Vector Machines Based on Modified Cat Swarm Optimization. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/365869>
- Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science.* <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>
- Mora Martínez, E. D. (2019). *Evaluación de Vulnerabilidad ante Subsidiencias de suelos y sismos del Sector Solanda Zona 1 de la Ciudad de Quito , Ecuador.*
- NEC15-SE-CG. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción Cargas (No Sísmicas). Retrieved from <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CG.pdf>
- NEC15-SE-SD. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente.*
- Parra, H. (2016). *Desarrollos Metodológicos y Aplicaciones hacia el cálculo de la Peligrosidad Sísmica en el Ecuador Continental y Estudio de Riesgo Sísmico en*

la ciudad de Quito. Universidad Politécnica de Madrid.

Pillajo, T. (2016). *Análisis, Evaluación y Gestión de Riesgo por fenómenos de remoción en masa en el barrio San Jacinto de Atacucho, noroccidente de Quito*.

Popovics, J. S., Zemajtis, J., & Shkolnik, I. (2008). A study of static and dynamic modulus of elasticity of concrete. *ACI-CRC Final Report, Civil and Environmental Engineering, University of Illinois, Urbana IL*, (October), 16. Retrieved from https://www.concreteresearchcouncil.org/portals/7/files/pdfs/crc_43.pdf

Ramasubramanian, K., & Singh, A. (2019). *Machine Learning Using R: With Time Series and Industry-Based Uses Cases in R* (2nd ed). <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4215-5>

Ramírez, A. (2015). *Evaluación de patologías y desempeño estructural en viviendas afectadas por el fenómeno de subsidencia en la localidad de Jocotepec, Jalisco, México*. Retrieved from <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/123456789/375>

Sasikala, B. S., Biju, V. G., & Prashanth, C. M. (2017). Kappa and accuracy evaluations of machine learning classifiers. *RTEICT 2017 - 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, Proceedings, 2018-Janua*, 20–23. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256551>

Shrestha, D. L., & Solomatine, D. P. (2006). Machine learning approaches for estimation of prediction interval for the model output. *Neural Networks*, 19(2), 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2006.01.012>

Terzaghi, K. van. (1955). *Evaluation of Coeficientes of Subgrade Reaction*.

Tomás, R., Herrera, G., Delgado, J., & Peña, F. (2009). Subsidencia del terreno. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra: Revista de La Asociación Española Para La Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 17(3), 295–302.

Trelles, I., & Rodríguez, F. (2018). *Diagnóstico de comunicación social: una dimensión de la vulnerabilidad del sistema de gestión de riesgos del Ecuador*.

UNISDR. (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*.

Vaca, F. (2017). *Apuntes de Clase Diseño en Madera y Mampostería*.

Vidal, V., & Goyes, F. (2016). Las Cajitas de Fósforo: The Solanda Housing Project. *Massachusetts Institute of Technology*, 1–18.

Winter, G., & Nilson, A. (1977). *Proyecto de Estructuras de Hormigón* (Reverté, Ed.). Madrid.

Zúñiga, O., & Terán, A. (2008). Evaluación Basada En Desplazamientos De Edificaciones De Mampostería Confinada. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 48(79), 25. <https://doi.org/10.18867/ris.79.29>