

Daños por sismos en edificaciones del área de influencia del nido de la Mesa de los Santos 2008-
2018

Cristian Eliceo Olejua Betancourth

Monografía para Optar el Título de
Especialista en Estructuras

Director

Álvaro Viviescas Jaimes

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Especialización en estructuras

Bucaramanga

2019

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por guiarme en el camino y fortalecerme espiritualmente para empezar un camino lleno de éxito.

Así, quiero mostrar mi gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para mí, agradecer todas sus ayudas, sus palabras motivadoras, sus conocimientos, sus consejos y su dedicación.

Muestro mis más sinceros agradecimientos a mi tutor de proyecto, quien con su conocimiento y su guía fue una pieza clave para que pudiera desarrollar una clave de hechos que fueron imprescindibles para cada etapa de desarrollo del trabajo.

Por último, quiero agradecer a la base de todo, a mi familia, en especial a mis padres, que quienes con sus consejos fueron el motor de arranque y mi constante motivación, muchas gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todo por su amor.

Contenido

Introducción	20
1. Objetivos	21
1.1 Objetivo General	21
1.2 Objetivos Específicos	21
2. Marco Teórico	22
2.1 Sismicidad	22
2.1.1 Sismo	22
2.1.2 Sismología	23
2.1.3 Cinturones de empuje (Thrust)	24
2.1.4 Sistema de Thrust Curvo a lo largo de la Falla de Bucaramanga.	25
2.2 Efecto de la tectónica de placas sobre la sismicidad de Bucaramanga	26
2.2.1. Nido sísmico de Bucaramanga	28
2.2.2 Características sísmicas de los sismos profundos	31
2.2.3 Mecanismos de activación del nido de Bucaramanga.	32
2.2.4 El mecanismo de ruptura en los sismos del nido de Bucaramanga	32
2.2.5 La formación Bucaramanga	33
2.2.6 Sismos históricos en Bucaramanga	37
2.2.7. Sismos históricos relacionados con el sistema de fallas de Bucaramanga.	38

2.3 Objetivos del diseño sismo-resistente de estructuras.....	40
2.3.1 Estimación de la amenaza sísmica en Colombia.	40
2.3.2 Aspectos generales de amenaza sísmica del Área metropolitana de Bucaramanga.	40
2.3.3 Vulnerabilidad de las edificaciones.	43
3. Descripción de daños en edificaciones de vivienda por sismos recientes en la zona de estudio (AMB, Mesa de los Santos, Betulía y Rionegro).	44
3.1 Tipología de las edificaciones.....	45
3.1.1 Mampostería en adobe o tapia pisada	45
3.1.2 Mampostería en ladrillo y no confinada	46
3.1.3 Mampostería Confinada.....	47
3.1.4 Pórtico en concreto.	47
3.1.5 Pórtico en acero.....	48
3.2 Análisis de Reportes y documentación periodística	48
3.2.1 Reportes Municipio Rionegro.....	52
3.2.2 Reportes Área Metropolitana de Bucaramanga.	56
3.2.3 Reporte Betulia Santander	70
3.2.4 Reporte Municipio de Los Santos.....	83
3.3 Registro total de los municipios de Betulia, Rionegro, el Área Metropolitana de Bucaramanga y Los Santos.....	92
3.3.1 Total de casas afectadas por municipio	93
3.3.2 Clasificación del estado de las estructuras afectadas según la NSR-10 Título A.....	95

5.	Recomendaciones	99
	Referencias Bibliográficas	101

Lista de Tablas

Tabla 1. Tipos de convergencias.....	24
Tabla 2. Intensidad y Magnitud	39
Tabla 3. Sismos históricos en el área del Nido de Bucaramanga	39
Tabla 4. Escala Richter efectos del terreno.....	42
Tabla 5. Comparacion de sismos.	49
Tabla 6. Efectos de los sismops del 29 de julio de 1967 y del sismo del 10 de marzo del 2015..	49
Tabla 7. Reporte de daños de casa destruida completamente en Rionegro santander	53
Tabla 8. Reporte de daños de casa de tapoia pisada con colapso de muros afectada en Rionegro santander	54
Tabla 9. Reporte de daños de casa afectada en Rionegro santander.....	55
Tabla 10. Reporte de daños de casas colapsadas en Rionegro santander	56
Tabla 11. Reporte de daños de Edificacion afecta en barrio Comuneros, en la carrera 19# 8-45	57
Tabla 12. Reporte de daños de casa con grietas y fisuras en muros y columnas en Bucaramanga	58
Tabla 13. Reporte de daños de vivienda con grietas en las uniones en Bucaramanga santander .	59
Tabla 14. Reporte de edificio en sistema de portico con grietas horixzontales en placa y muros en Bucaramanga santander	61
Tabla 15. Reporte de daños de edificio con grietas en las placas y en las conexiones en Bucaramanga.....	62
Tabla 16. Reporte de daños de casa Afectada en Bucaramanga santander con grietas verticales.	62

Tabla 17. Reporte de daños en edificación con grietas en placa y muros en Bucaramanga santander	63
Tabla 18. Daños en san Andresito Centro	65
Tabla 19. fallas en edificio con sistema de portico	66
Tabla 20. Grietas en conexiones de elementos estructurales en edificación de Bucaramanga.....	67
Tabla 21. Daños reportados en muros y cubiertas de una edificaion de Betulia Santande.....	71
Tabla 22. Reporte de daños de casa de tapia pisa en Betulia Santander.....	74
Tabla 23. Reporte de daños de edificación en tapia pisada en muros, debido a las malas conexiones con la cubierta.	75
Tabla 24. Reporte de daños severos en Muros pde edificación en tapia pisada en Betulia santander	75
Tabla 25. Muro de tapia parcialmente colapsado por conexiones con elementos de madera y grietas en conexiones entre muros.	76
Tabla 26. Viviendas con los daños mas relevantes del informe de la Unidad de Riesgos y Desastres	78
Tabla 27. Registro de daños y estado de viviendas que se van a demoler para reconstruir en el municipio de Los Santos Santander	84

Lista de Figuras

Figura 1. Plano de falla de un sismo.	23
Figura 2. Sistema de Thrust Curvo a lo largo de la Falla de Bucaramanga.....	25
Figura 3. Modelo Esquemático De La Interacción De Las Placas Nazca Y Caribe Que Subducen Bajo La Placa Suramericana.	26
Figura 4. Vectores de Movimiento con relación a la placa suramericana en la zona de Bucaramanga.....	27
Figura 5. Mapa representativo de la profundidad de los sismos.....	27
Figura 6. Orientación del nido sísmico de Bucaramanga.	28
Figura 7. Localización Nidos sísmicos.	29
Figura 8 . Mapa de Amenazas sísmica para Colombia.....	30
Figura 9. Comportamiento del nido de Bucaramanga evento Máxima Magnitud . Distribución anual.....	32
Figura 10. Subducción en el nido de Bucaramanga.....	33
Figura 11. Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 $ML < 3.0$; Profundidad < 0 km	34
Figura 12. Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 $ML < 3.0$; Profundidad < 40 km ...	34
Figura 13 Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 $ML < 3.0$; Profundidad < 70 km ...	35
Figura 14. Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 $ML < 3.0$; Profundidad < 100 km .	35
Figura 15. Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 $ML < 3.0$; Profundidad < 130 km .	36
Figura 16. Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 $ML < 3.0$; Profundidad < 160 km .	36
Figura 17. Localización en profundidad de los sismos en la latitud de la ciudad de Bucaramanga	38

Figura 18. Principales sistemas de fallas geológicas activas en Colombia.....	41
Figura 19 . Edificación en Tapia pisada afectada en la Mesa de los Santos por el sismo del 10 de marzo del 2015.....	45
Figura 20. Edificación en Mampostería no confinada afectada en la Mesa de los Santos por el sismo del 10 de marzo del 2015.....	46
Figura 21. Edificación en mampostería confinada, que no sigue los parámetros exigidos por la NSR-10 y es afectada en Piedecuesta Santander, por el sismo del 10 de marzo del 2015.	47
Figura 22. Tipologías estructurales predominantes en la ciudad de Bucaramanga.	48
Figura 23. Betulia, 1967.....	50
Figura 24. Betulia 2015.....	50
Figura 25. Viviendas reportadas averiadas en el sismo del 10 de marzo del 2015.....	51
Figura 26. Casa destruida en Rionegro Santander por el sismo del 10 de marzo del 2015.....	53
Figura 27.Casa afectada Rionegro Santander por el sismo del 10 de marzo del 2015.	54
Figura 28. Casa afectada Rionegro Santander por el sismo del 10 de marzo del 2015.	54
Figura 29. Casa totalmente destruida por el sismo del 10 de marzo del 2015.....	55
Figura 30. Casa colapsada totalmente y casas vecinas afectadas con gravedad debido al sismo del 10 de marzo del 2015.....	56
Figura 31. Edificación afecta en barrio Comuneros, en la carrera 19# 8-45 por el sismo del 10 de marzo del 2015.....	57
Figura 32. Edificación de la ciudad de Bucaramanga afectada por el sismo del 10 de marzo del 2015.....	58
Figura 33. Vivienda de Bucaramanga ubicada en la calle 69 # 8ª 35 afectada por grietas en las uniones debido al sismo del 10 de marzo del 2015.	59

Figura 34. Vivienda de Bucaramanga ubicada en la calle 69 # 8ª 35 afectada por grietas en las uniones debido al sismo del 10 de marzo del 2015.	59
Figura 35. Edificio OMAGA II afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas en las placas.....	60
Figura 36.Edificio OMAGA II afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas en las placas y en los muros.	60
Figura 37. Edificio OMAGA II afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas en las placas y en los muros.	61
Figura 38. Edificio OMAGA II afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas en las placas y en los muros.	61
Figura 39. Edificio OMAGA II afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas en las placas y en los muros.	62
Figura 40. Grietas en Muros de la edificación Héroes del silencio de Bucaramanga.	63
Figura 41. Grietas en las placas de la edificación Héroes del silencio de Bucaramanga.	63
Figura 42. Grietas Horizontal en Viga de la edificación Héroes del silencio de Bucaramanga..	64
Figura 43. Grietas horizontales en el piso de la edificación Héroes del silencio de Bucaramanga.	64
Figura 44. Grietas en las conexiones en San Andresito Centro Bucaramanga.	64
Figura 45.Grietas Horizontales en los muros en San Andresito Centro Bucaramanga.	65
Figura 46. Grietas Horizontales en conexiones con la placa en San Andresito Centro Bucaramanga,.....	65
Figura 47. Edificio en sistema de pórtico afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas.....	65

Figura 48. Localización de fisuras verticales en estructura del área metropolitana de Bucaramanga afectada por el sismo.....	66
Figura 49. Localización de fisuras Horizontales en la edificación GAF del área metropolitana de Bucaramanga afectada por el sismo.....	66
Figura 50. Localización de falla en conexiones de vivienda en el área metropolitana de Santander afectada por el sismo del 10 de marzo del 2015.	67
Figura 51. Desprendimiento de muros en vivienda en el área metropolitana de Bucaramanga. ..	67
Figura 52. Grieta entre la losa y el muro debido a sobreesfuerzos y malas conexiones.	68
Figura 53. Grietas verticales y horizontales en los muros,	68
Figura 54. Grieta en la losa del piso causada por sobreesfuerzos ejercidos por la tierra.....	69
Figura 55. Grieta en muro provocado por elementos estructurales mal conecta.	69
Figura 56. Muro de la Universidad industrial de Santanderque presento grietas leves tras el sismo del 10 de marzo del 2015.....	69
Figura 57 . Evidencia de daño en la cubierta de la vivienda.....	71
Figura 58. Grietas en Muro de mampostería debido a esa sobre esfuerzos.....	71
Figura 59. Grieta inclinada en ladrillo de mampostería.....	72
Figura 60. Grieta inclinada en muro de mampostería de vivienda afectada.	72
Figura 61.Grieta inclinada en muro de mampostería de vivienda afectada.	72
Figura 62. Grieta inclinada en muro de mampostería de vivienda afectada.....	72
Figura 63. Fisura en conexión entre muros de mampostería en vivienda afectada.	73
.Figura 64. Grieta vertical en muro de mampostería.	73
Figura 65. Grietas en losa de concreto.....	73

Figura 66. Evidencias de daños en conexiones y muros de tapia pisada en una edificación de Betulia Santander.	74
Figura 67. Daños en Muros por la falta de diseño de cubierta y sus respectivas conexiones.....	74
Figura 68. Daños severos en Muros de tapia pisada en vivienda de Betulia por el sismo del 10 de marzo del 2015.....	75
Figura 69. Muro de tapia parcialmente colapsado por conexiones con elementos de madera.	76
Figura 70. Grietas y fallas en muro de tapia pisada en conexiones entre estos.	76
Figura 71. Se presentan grietas verticales en los muros de tapia pisada en el municipio de Betulia.	77
Figura 72. Grietas y señales de deterioro en la edificación de tapia pisada en Betulia.	77
Figura 73. Grietas verticales al borde el Muro en Tapia en Betulia.	77
Figura 74. Evidencia de Visita de la UNGR en el municipio de Betulia- Santander.	79
Figura 76. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, se observa la mala calidad del diseño y materiales de la estructura.	80
Figura 77. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, se observan grietas en muros y un mal diseño de cubierta.	80
Figura 78. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, se observa la mala calidad del diseño y materiales de la estructura	80
Figura 79. Evidencia de visita realizada por la UNGR en el municipio de Betulia Santander	81
Figura 80. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, estado del suelo luego del sismo.....	81
Figura 81. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, estado del suelo luego del sismo.....	81

Figura 82. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, falla en muro de tapia pisada con pérdida significativa de relleno, se observa la mala calidad del diseño y materiales de la estructura.....	82
Figura 83. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, se observan grietas en muro del segundo piso de edificación	82
Figura 84. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander.	82
Figura 85. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, falla en muro de tapia pisada con refuerzo en madera.	83
Figura 86. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, Muros de tapia pisada desprendiéndose por falta de conexiones.....	86
Figura 87. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, efecto en la cubierta por mal diseño de esta.....	86
Figura 88. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, efecto en muro de tapia con pérdida de relleno.....	87
Figura 89. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, efecto en muro de tapia pisada por mala conexión con elemento de cubierta.....	87
Figura 90. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, Muro que falla por deflexión perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos.	87

Figura 91. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, daños en muro interior de tapia pisada y madera, con pérdida de material.	88
Figura 92. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, se observa falta de diseño estructural en la cubierta y muros de ladrillo sin confinamiento.....	88
Figura 93. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, Daños en muro interno de tapia pisada.	88
Figura 94. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, Grieta en muro de tapia pisada con pérdida de relleno significativa...	89
Figura 95. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, grieta en muro de tapia pisada.	89
Figura 96. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, perdida de recubrimiento y relleno del 50% del muro exterior de tapia pisada.	89
Figura 97. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, grietas en losa interior de vivienda.	90
Figura 98.Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, grietas de losa exterior de vivienda.	90
Figura 99. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, grietas verticales en muro de tapia pisada que había sido reparado con anterioridad al suceso.....	90

Figura 100. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, se observa deterioro en muro de tapia debido a la calidad del material y grietas ocasionadas por el sismo.	91
Figura 101 . Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, rasgos de humedad y deterioro del material, grietas de tamaño significativo.....	91
Figura 102. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, grietas en losa interior de vivienda.	91
Figura 103. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, casa parcialmente destruida después del sismo.	92
Figura 104. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, muros de ladrillo sin confinamiento y conexiones separándose a punto de colapsar.	92
Figura 105. Total, de viviendas afectadas en los municipios de Rionegro, Betulia, Los santos y el Área metropolitana de Bucaramanga.	93
Figura 106. Viviendas afectadas en Betulia-Santander.	94
Figura 107. Viviendas afectadas en Rionegro-Santander.	94
Figura 108. Viviendas nuevas entregadas tras el sismo del 10 de marzo del 2015.	95
Figura 109. Clasificación del estado de las viviendas según el NSR-10 título A.....	96

Resumen

TÍTULO: DAÑOS POR SISMOS EN EDIFICACIONES DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL NIDO DE LA MESA DE LOS SANTOS.*

AUTOR: CRISTIAN ELISEO OLEJUA BETANCOURTH.**

PALABRAS CLAVE: SISMOLOGIA, SISMOS, BUCARAMANGA, EDIFICACIONES

DESCRIPCIÓN:

La siguiente monografía pretende enfatizar en la realización de un documento para estudiar las afectaciones de los sismos en el periodo de tiempo de 2008-2018 en las Edificaciones del área de influencia del nido sísmico de la Mesa de los Santos (Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), La Mesa de los Santos, Betulía y Rionegro Santander). Se parte de un marco teórico, Se realizará una identificación de daños por sismos en el área de influencia del nido de Los Santos Santander, para posteriormente documentar las evidencias de los sitios de estudio.

La metodología a seguir es tener un registro fotográfico de las estructuras con las afectaciones provocadas por sismos recientes y que se encuentren registradas, se recopilara la información de eventos sísmicos relevantes registrados en la mesa de los santos, posteriormente se realizara un análisis completo de los efectos provocados en las estructuras por los fenómenos sísmicos del nido sísmico de la Mesa de los Santos, clasificando el tipo de estructuras afectadas (Edificaciones en Tapia pisada, Mampostería confinada y no confinada, sistema de pórtico y estructuras en acero), se evidencian los daños y deterioros y se clasificaran las estructuras teniendo en cuenta su estado según la NSR-10 Capitulo A.10 inciso A.10.2.2.2.

*Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Viviescas Jaimes, Ingeniero Civil

Abstract

TITLE: DAMAGES BY EARTHQUAKES IN THE BUILDINGS OF THE INFLUENCE'S ÁREA OF THE SEIMIC NEST LA MESA DE LOS SANTOS

AUTHOR: CRISTIAN ELISEO OLEJUA BETANCOURTH..^{**}

KEYWORDS: SEISMOLOGY, EARTHQUAKES, BUCARAMANGA, BUILDINGS

DESCRIPTION:

The following monograph aims to emphasize the completion of a document to study the effects of earthquakes in the period of time 2008-2018 in the buildings of the area of influence of the seismic nest of La Mesa de los Santos (Metropolitan Area of Bucaramanga (AMB), La Mesa de los Santos, Betulía and Rionegro Santander). The starting point is a theoretical framework. An earthquakes damage identification will be made in the area of influence of the Los Santos Santander nest, to later document the evidences of the study sites.

The methodology to follow is to have a photographic record of the structures with the affectations caused by recent earthquakes and that are registered, the information of relevant seismic events registered in La Mesa de los Santos will be compiled, later a complete analysis of the effects will be made caused in the structures by the seismic phenomena of the seismic nest of La Mesa de los Santos, classifying the type of affected structures (Buildings in stepped Wall, confined and non-confined masonry, gantry system and steel structures), the damage and deterioration and the structures will be classified taking into account their state according to NSR-10 Chapter A.10 paragraph A.10.2.2.2.

^{**} Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Alvaro Viviescas Jaimes, Civil Engineer

Introducción

Los sismos se reconocen como uno de los fenómenos naturales más peligrosos, han ocasionado grandes pérdidas sociales, económicas, donde no solo los sucesos considerados fuertes o de gran magnitud, sino también los moderados y en ocasiones sismos de un menor tamaño han provocado deterioros considerables debido al estado de la zona tales como topografía y características geológicas. La Mesa de los Santos, el área Metropolitana de Bucaramanga, Betulia, y Rionegro están localizados al nororiente de Colombia, dentro de una zona de amenaza sísmica significativa, a causa principalmente de la alta sismicidad de la región, la geología de los materiales, la presencia de fallas activas que pasan directamente por ella y a la formación de altas montañas. Los efectos causados debido a los sismos han sido frecuentemente asociados con fallas estructurales de viviendas, entre estos daños también se deben tener en cuenta que gran proporción de los daños causados por los sismos son debido a las fallas en el terreno.

Por lo anterior es necesario evaluar la amenaza o riesgo ocasionado por este fenómeno, mediante un análisis del grado de daño que se ocasiono en la Mesa de los Santos, el área Metropolitana de Bucaramanga, Betulia y Rionegro, debido a que son cercanas al nido sísmico de la Mesa de los Santos, es imperativo realizar un análisis completo de los efectos provocados en las estructuras por los fenómenos sísmicos del nido de la mesa de los santos, clasificando el tipo de estructura con el fin de identificar los factores que favorecieron que el grado de daño fuese mayor o no, se evidenciaran los daños y el deterioro encontrado en las edificaciones de las zonas mencionadas anteriormente y con esta información clasificar el estado de la estructura para evaluar el grado de daño ocasionado en estas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Documentar los efectos identificados en edificaciones del área de influencia por sismos originados en el nido sísmico de la Mesa de los Santos.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar los daños y efectos de los sismos más significativos ocurridos en el periodo de tiempo de estudio en las edificaciones de los sitios seleccionados para el estudio del área de influencia del nido sísmico de la Mesa de los Santos (AMB, Mesa de los Santos, Betulía y Rionegro).

Clasificar las estructuras afectadas (Edificaciones en Tapia pisada, Mampostería confinada y no confinada, y sus tipos de daños más característicos).

Realizar un análisis crítico de los factores que contribuyeron al deterioro de las edificaciones en los acontecimientos sísmicos estudiados.

2. Marco Teórico

2.1 Sismicidad

Se denomina sismicidad al estudio y observación de sismos que ocurren en una región geográfica determinada. Este estudio registra en un mapa los diferentes epicentros, además tiene en cuenta la frecuencia con que se producen estos fenómenos. Para llevar a cabo este estudio se emplean diferentes leyes que ayudan a entender y a interpretar estos acontecimientos, como la Ley de Omori, la Ley de Bath, la Ley de Gutenberg-Richter, etc. (Duarte, 2010)

El análisis de los sismos nos ayuda a estar preparados y encontrar mecanismos para reducir el daño que estos pueden causar en la población. En repetidas ocasiones han reducido la pérdida de vidas humanas, además de cuantiosas sumas económicas difíciles de subsanar tanto en el corto como en el mediano plazo. (Duarte, 2010)

2.1.1 Sismo. Es un fenómeno natural que consiste en una agitación de la corteza terrestre y que se provoca por los desplazamientos internos de la misma, y que se transmite a gran distancia por medio de ondas. Estos pueden llegar a provocar daños de diversas magnitudes a los espacios habitados por el ser humano, ya que implican cierta destrucción material y poner en riesgo la vida de los habitantes. (Bembire, 2010)

Un sismo es la vibración de la tierra producida por una rápida liberación de energía a causa del deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla. La energía liberada se propaga en todas las direcciones desde su origen (Foco o hipocentro) en forma de ondas. (Tarbuck and Lutgens, 2001)

Cada año se generan alrededor del mundo más de 300.000 sismos perceptibles, aunque por suerte muchos de estos generan pocos o ningún daño: solo al alrededor de 75 sismos cada año son realmente significativos. (Tarbuck & Lutgens, 2001)

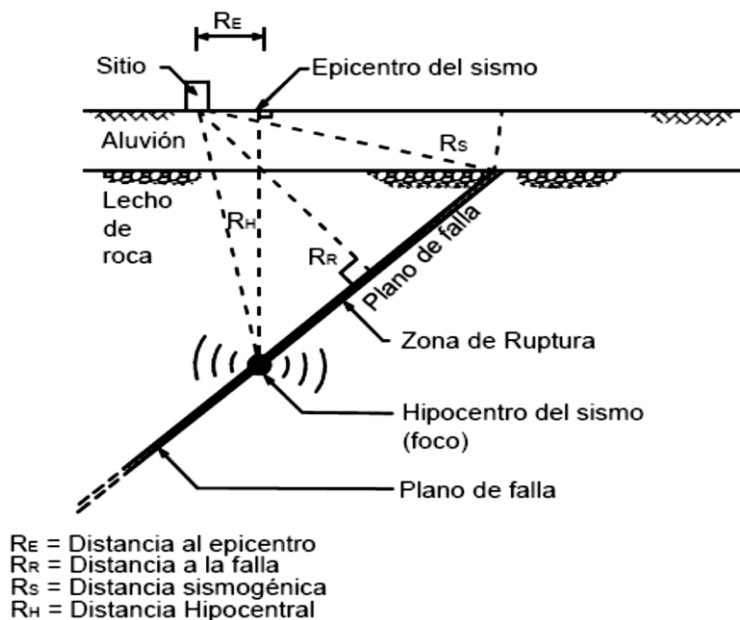


Figura 1. Plano de falla de un sismo.

Adaptado a Suarez, J. (2017). Capítulo 2. Fallas Geológicas y Sismos. [online] Erosion.com.co. Available at: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/168-cap-2-amenaza-sismica.html> [Accessed 16 Jan. 2019].

2.1.2 Sismología. Es la ciencia que se concentra en el análisis de las ondas producidas por los sismos, se encuentra directamente relacionada con la geología, pues esta se encarga del estudio de la estructura de las placas tectónicas, las cuales intervienen en los sismos. Por otra parte, los conocimientos geofísicos son determinantes para calcular la probabilidad de los sismos (la amenaza sísmica de una región se transmite por medio de mapas, registros históricos terremotos y la localización de fallas). (Navarro, 2015)

Es una Rama de la geofísica encargada del estudio de todas las características y temas relacionados con los sismos, terremotos y la propagación de las ondas sísmicas generadas en el interior de la tierra, dichas características pueden ser la fuente que los produce, su localización,

orientación, tamaño, las ondas elásticas que generan, su modo de propagación, dispersión, amplitudes y el medio físico en el que están inmersas dichas ondas. (Baez, 2013)

2.1.3 Cinturones de empuje (Thrust). Los bordes de las placas convergentes son regiones donde las placas se mueven la una hacia la otra y el esfuerzo dominante es la compresión.

La convergencia puede ocurrir de diferente forma:

Tabla 1.

Tipos de convergencias.

Entre dos litósferas continentales	Alpes, Himalaya, Indentación de Panamá
Entre dos placas oceánicas	Islas del Caribe, Marianas, Filipinas
Entre una placa oceánica y una placa continental	Cordillera de los Andes, Cordillera de Norteamérica

Nota: (Suarez, J. (2017). Capítulo 3. Segmentación de fallas geológicas para análisis de amenaza sísmica. Erosion.com.co. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/166-cap-3-amenaza-sismica.html>)

Hay cuatro mecanismos de acomodación de la convergencia tectónica:

- Subducción
- Acortamiento volumétrico con engrosamiento de la corteza
- Extrusión lateral
- Plegamiento

Un sistema de “thrust” es un sistema interconectado de fallas, las cuales están cinemáticamente unidas. (Suarez, J. (2017).

2.1.4 Sistema de Thrust Curvo a lo largo de la Falla de Bucaramanga. Encontramos la indentación de pamplona que actúa como un “thrust” curvo contra la cordillera oriental generando una deformación y giro en un bloque entre la falla de Bramon al Este y la falla de Bucaramanga al Oeste. La acción de este “thrust” en conjunto con el “thrust” oeste-este relacionado con la indentación de Panamá puede ser el responsable de la construcción de la cordillera oriental en la sierra del Cocuy y de la tectónica que encontramos actualmente en la zona de Bucaramanga. (Suarez, 2017)

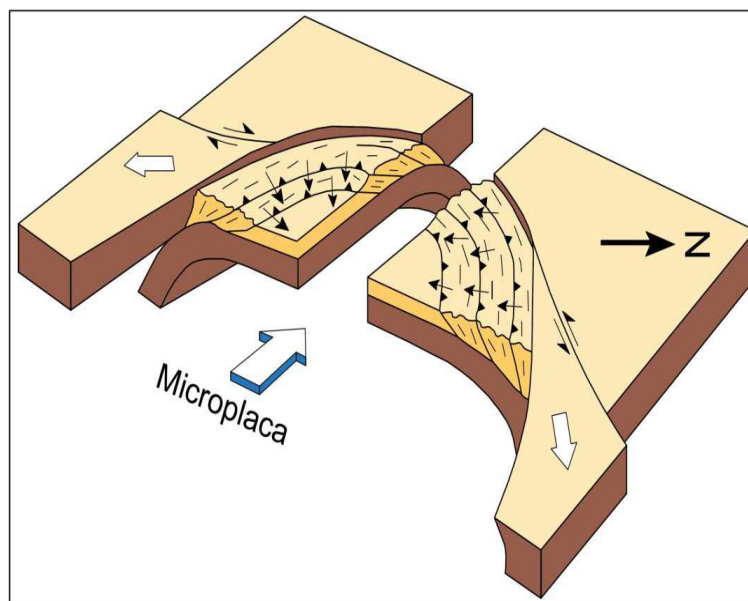


Figura 2. Sistema de Thrust Curvo a lo largo de la Falla de Bucaramanga.

Adaptado Suarez, J. (2017). Capítulo 3. Segmentación de fallas geológicas para análisis de amenaza sísmica. Erosion.com.co. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/166-cap-3-amenaza-sismica.html>

Se considera que una falla es activa ya sea cuando ha tenido movimientos históricos, por ejemplo, en los últimos 10.000 años, o bien en su pasado geológico reciente, considerando los últimos 500.000 años. Si bien las fallas que sufren desplazamientos cuando sucede un terremoto son activas, no todas las fallas activas generan terremotos, algunas son capaces de moverse asísmicamente, es decir sin que esté asociada a ninguna actividad sísmica (LEE, William H. K., Kanamori, Jennings, Kisslinger, 2003).

El sistema de fallas de la cordillera oriental se considera como un sistema de fallas de empuje producto de la reactivación de fallas normales pre jurásicas, y se considera un sistema de activo y como una fuente probable de sismos.

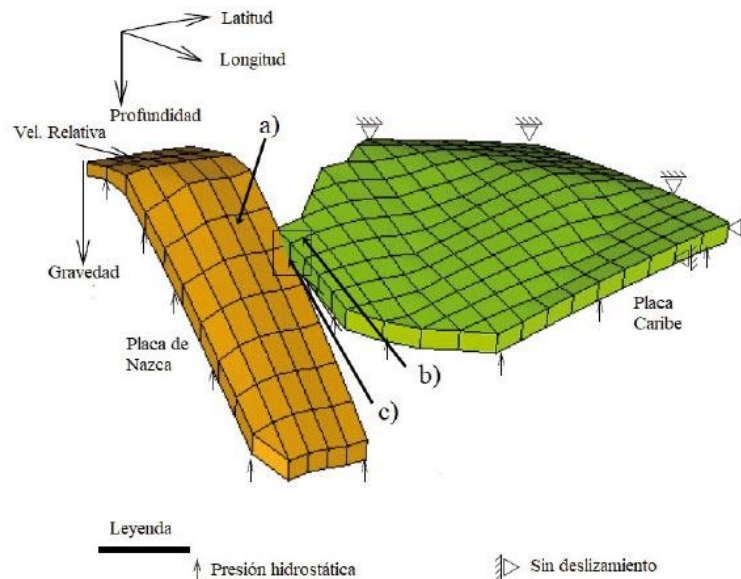


Figura 3. Modelo Esquemático De La Interacción De Las Placas Nazca Y Caribe Que Subducen Bajo La Placa Suramericana.

A) Representa La Localización Del Nido Sísmico Sugerida Por Van Der Hilst Y Mann (1994); B) Muestra La Ubicación Sugerida Por Pennington (1983) Y C) Representa El Modelo Más Actual Sugerido Por Zarifi Et Al. (2007) (Modificado De Zarifi Et Al., 2007). Adaptado Suarez, J. (2017). Capítulo 4. Método Determinístico. Erosion.com.co. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/165-cap-4-amenaza-sismica.html>.

2.2 Efecto de la tectónica de placas sobre la sismicidad de Bucaramanga

Se encuentra una rotura que corresponde a un desplazamiento en el manto a más 70 kilómetros de profundidad y no se evidencia su efecto morfológico superficialmente. Se generan en la zona de Bucaramanga esfuerzos a compresión debido a que los vectores de movimiento son principalmente hacia el oriente y las fallas geológicas son N-S.

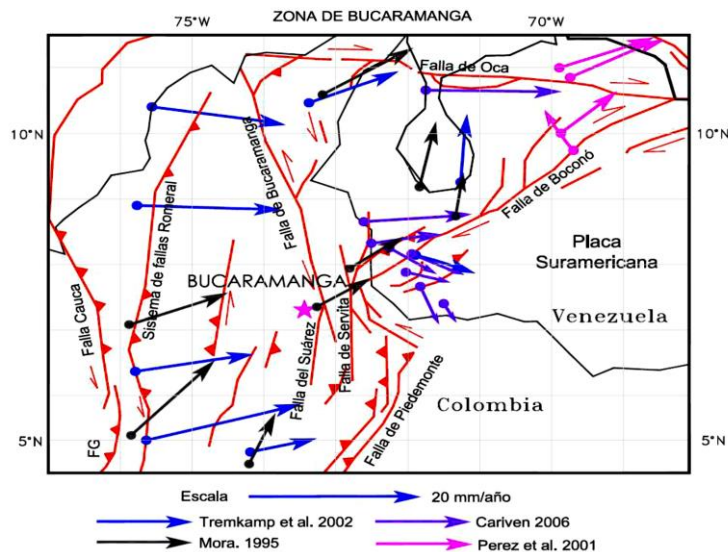


Figura 4. Vectores de Movimiento con relación a la placa suramericana en la zona de Bucaramanga. Adaptado Suarez, J. (2017). Capítulo 5. Método Probabilístico. Erosion.com.co. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/164-cap-5-amenaza-simica.html>.

Para la naturaleza de la Falla existen tres versiones, la primera, considera que se trata de una falla inversa de buzamiento al este y de ángulo bajo a alto. La segunda, por la cual se han inclinado casi todos los autores citados, considera que se trata de una falla de rumbo de desplazamiento lateral izquierdo y la tercera plantea la existencia de dos fallas diferentes, en lugar de una sola falla (Polson and Henao, 1968).

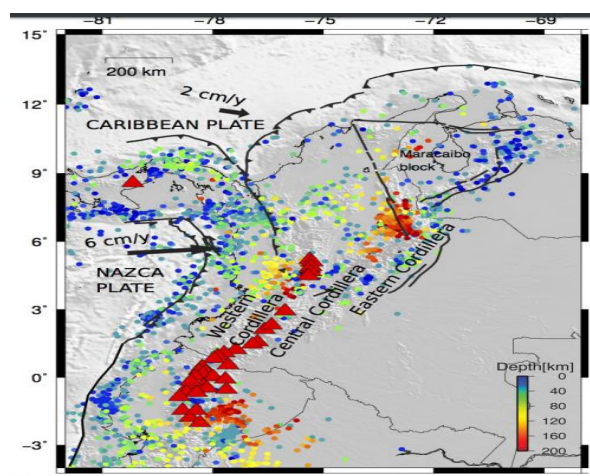


Figura 5. Mapa representativo de la profundidad de los sismos. Adaptado Chiarabba, C., De Gori, P., Faccenna, C., Speranza, F., Seccia, D., Dionicio, V., & Prieto, G. (2016). Subduction system and flat slab beneath the Eastern Cordillera of Colombia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17(1), 16-27. doi: 10.1002/2015

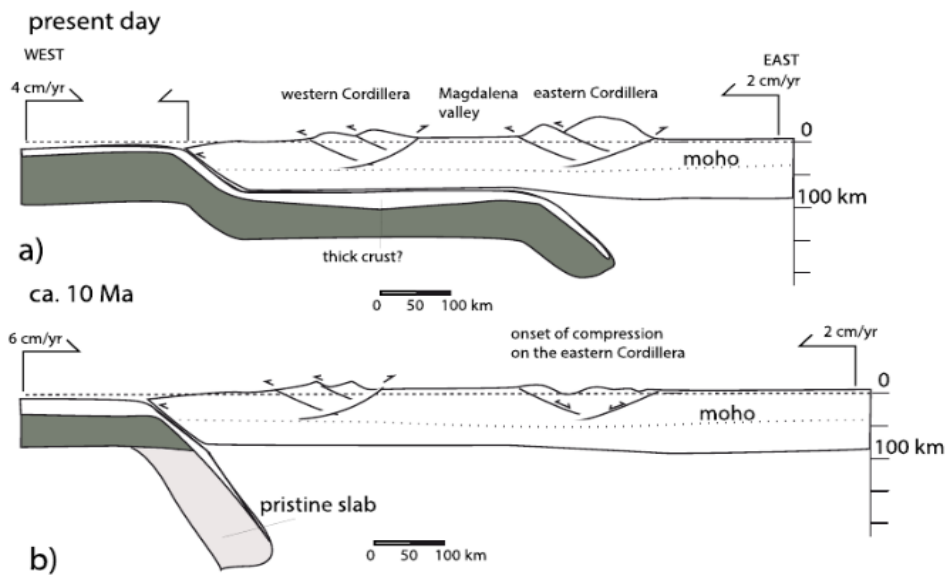


Figura 6. Orientación del nido sísmico de Bucaramanga.

Adaptado Chiarabba, C., De Gori, P., Faccenna, C., Speranza, F., Seccia, D., Dionicio, V., & Prieto, G. (2016). Subduction system and flat slab beneath the Eastern Cordillera of Colombia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17(1), 16-27. doi: 10.1002/2015

Con relación al desplazamiento lateral izquierdo, éste ha sido estimado entre 40 y 240 km y está únicamente registrado en la parte norte de la falla. Esa enorme diferencia entre la magnitud en el desplazamiento indica la naturaleza controvertible de los cálculos hechos por los diferentes autores mencionados, lo cual es de esperarse ya que no se tiene ninguna evidencia directa porque no existen a lado y lado del SFB marcadores fácilmente reconocibles que permiten medir tal desplazamiento. (Cuéllar Cárdenas et al., 2012)

2.2.1. Nido sísmico de Bucaramanga. Se define como nido sísmico a un sitio de concentración de focos sísmicos los cuales ocurren de forma semicontinua o por largos periodos de tiempo. (Suarez, 2017).

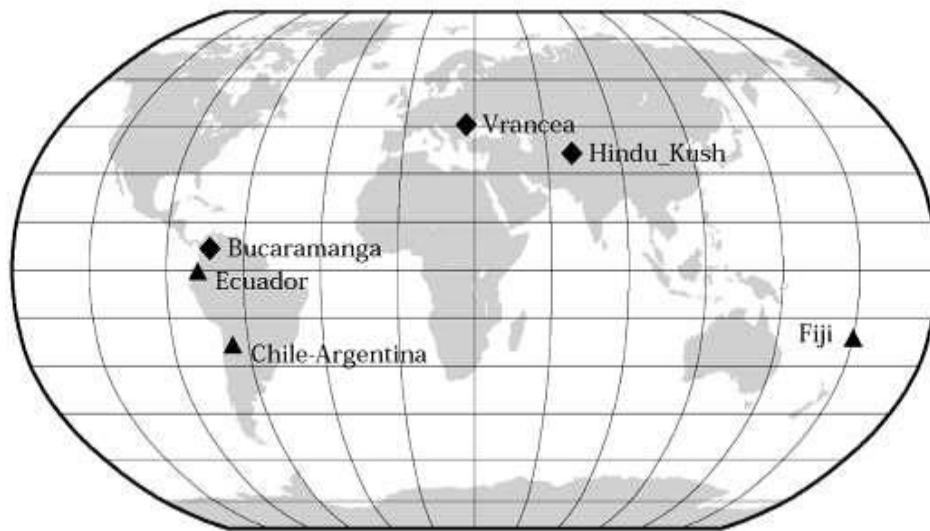


Figura 7. Localización Nidos sísmicos.

Adaptado: Suarez, J. (2017). Capítulo 5. Método Probabilístico. Erosion.com.co. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/164-cap-5-amenaza-simica.html>.

<< Los nidos sísmicos mejor identificados son los de Vrancea Hindú Kush y Bucaramanga.

>> El nido sísmico de Bucaramanga ha sido catalogado como una de las zonas de mayor actividad sísmica en el mundo. (Sepulveda, Cabrera,2018).

Para una serie de sismos ocurridos en una zona y en un tiempo limitado, el sismo de esta serie con mayor magnitud generalmente se lo conoce como sismo principal (o mainshock), los sismos precedentes como premonitores (o foreshock) y a los posteriores como replicas (o aftershock). Un sismo denominado inicialmente principal puede ser premonitor si el siguiente sismo de la serie tiene una magnitud mayor. (SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO, 2011)

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica considera la amenaza sísmica como un fenómeno físico asociado con un sismo, tal como el movimiento fuerte del terreno o la falla del mismo, que tiene el potencial de producir una pérdida. Mediante el análisis probabilístico esto se puede ilustrar por medio de una curva o un mapa de amenaza sísmica. (Ver Figura 8). (Asociación Colombiana de ingeniería sísmica, 2009)

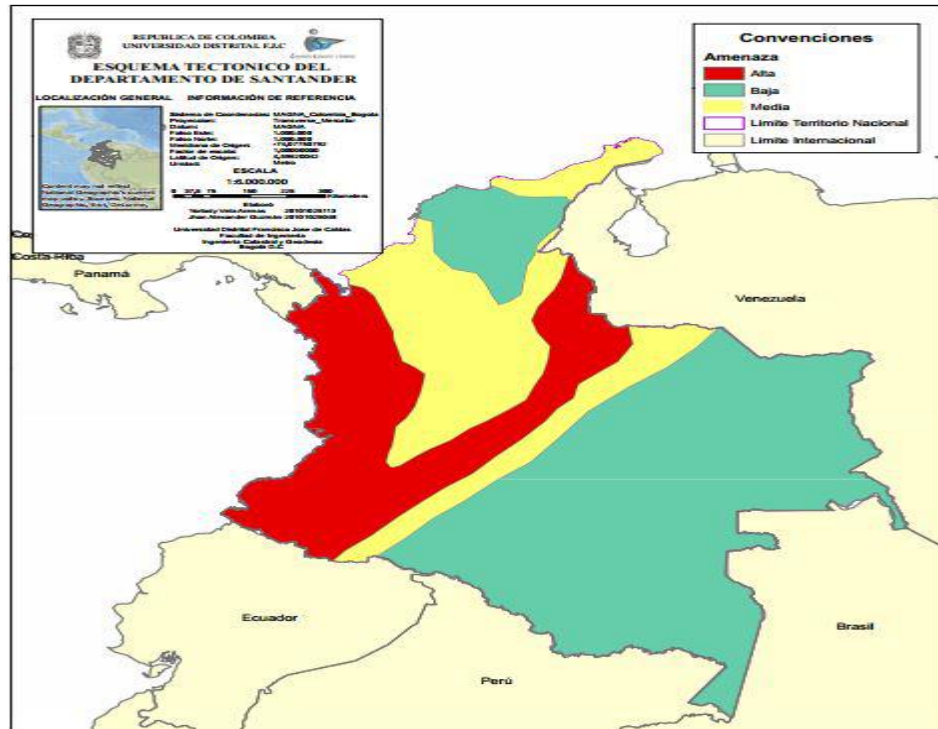


Figura 8 . Mapa de Amenazas sísmicas para Colombia.

Adaptado: París, G., Romero, .I., (1994). Fallas activas en Colombia. Boletín Geológico n° 34(1- 3), INGEOMINAS, Bogotá, 42 págs.

El SFB se ha dividido en tres sectores: -el primero al norte, correspondiente a la Falla de Santa Marta, comprende principalmente el costado occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta entre la costa y la población de Bosconia; -el segundo entre los Municipios de Bosconia y de Curumaní correspondiente a la Falla de Algarrobo, y -el tercero, correspondiente a la Falla de Bucaramanga, entre el Municipio de Curumaní y el extremo Noroccidental del Macizo de Santander. El SFB tiene dirección aproximada N20°W y su trazo rectilíneo se observa claramente en diferentes

sensores remotos, con una extensión longitudinal de aproximadamente 600 km, si se asume un trazo único. En sentido práctico, el SFB es considerado un sistema de fallas de rumbo con movimiento sinestral (Campbell, 1965; Boinet et al., 1989; León, 1991; Vargas y Niño, 1992; Clavijo et al., 1993; Clavijo et al., 1994a)

2.2.2 Características sísmicas de los sismos profundos. La mayoría de las Propiedades sismológicas de los sismos profundos son generalmente similares a los de los sismos poco profundos. Posiblemente la mayor diferencia es la medida con que se producen réplicas Ya que las réplicas son poco comunes en sismos de más de 70 kilómetros de profundidad a diferencia de los sismos producidos a poca profundidad. (Suarez, 2017)

Los terremotos profundos comprenden el 25% de los sismos globales y es un mecanismo que no se encuentra muy bien definido, sus presiones y temperaturas son demasiados alta para que las rocas se rompan, el “fractura miento de rocas por la presencia de agua debido a la deshidratación de minerales, reduciendo la presión hidrostática”. (Prieto et al., 2013)

En el territorio de Bucaramanga se encuentra un racimo de sismos que se denomina “Nido Sísmico de Bucaramanga” que tiene su núcleo a 150 kilómetros de profundidad y a 50 km al sur de la capital de Santander, entre las poblaciones de Umpalá y Cepitá, en el cañón del Chicamocha. Es una de las zonas en el mundo donde ocurren sismos de forma constante. (Suarez, 2017)

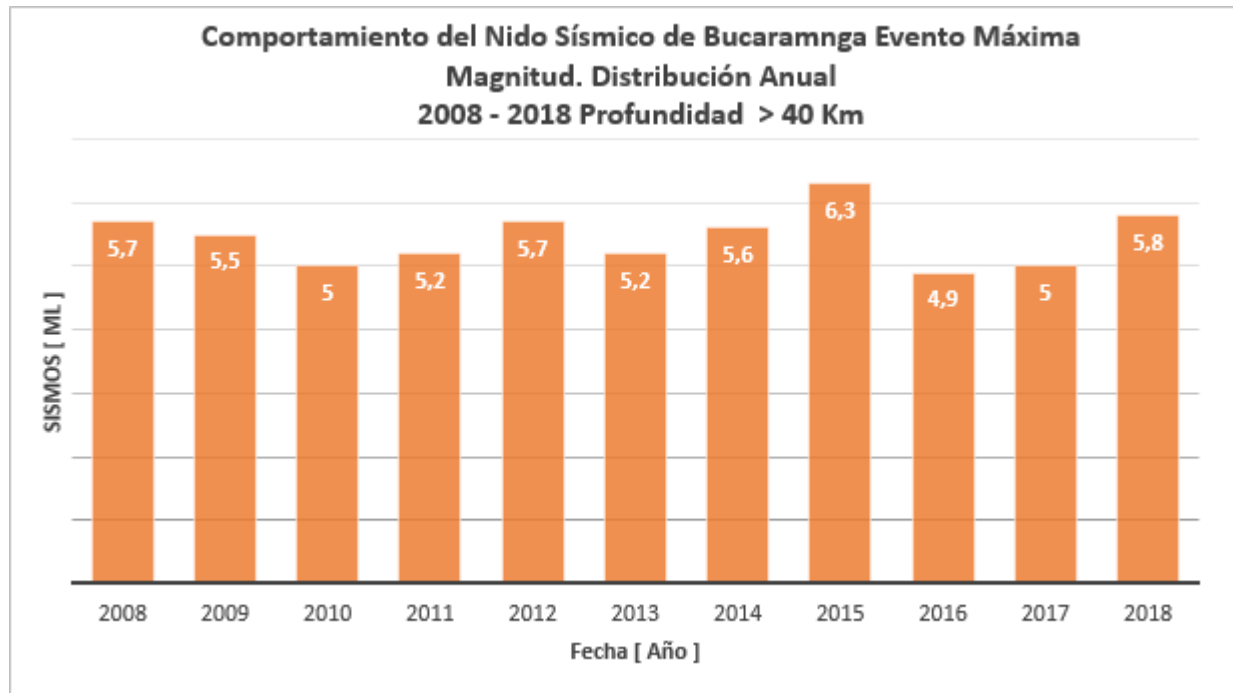


Figura 9. Comportamiento del nido de Bucaramanga evento Máxima Magnitud . Distribución anual.

2.2.3 Mecanismos de activación del nido de Bucaramanga. Existen hipótesis que relacionan el nido sísmico de Bucaramanga con una concentración de esfuerzos resultantes de la interacción de las placas tectónicas. (Pennington, nd).

Se define el nido de Bucaramanga como la interacción de segmento de Bucaramanga con la placa Caribe y los segmentos de Cauca y Ecuador relacionados con la placa de Nazca. (Cortes y Angelier 2005).

2.2.4 El mecanismo de ruptura en los sismos del nido de Bucaramanga. Una posible explicación del nido de Bucaramanga es la presencia de heterogeneidades geológicas en la subducción del micro placa de Panamá y la placa Caribe por debajo de la placa de Suramérica.

Una hipótesis alternativa es que el nido de Bucaramanga corresponde a la acción de los Andes de Mérida y al desplazamiento del bloque de Maracaibo. (Seccia, 2012)

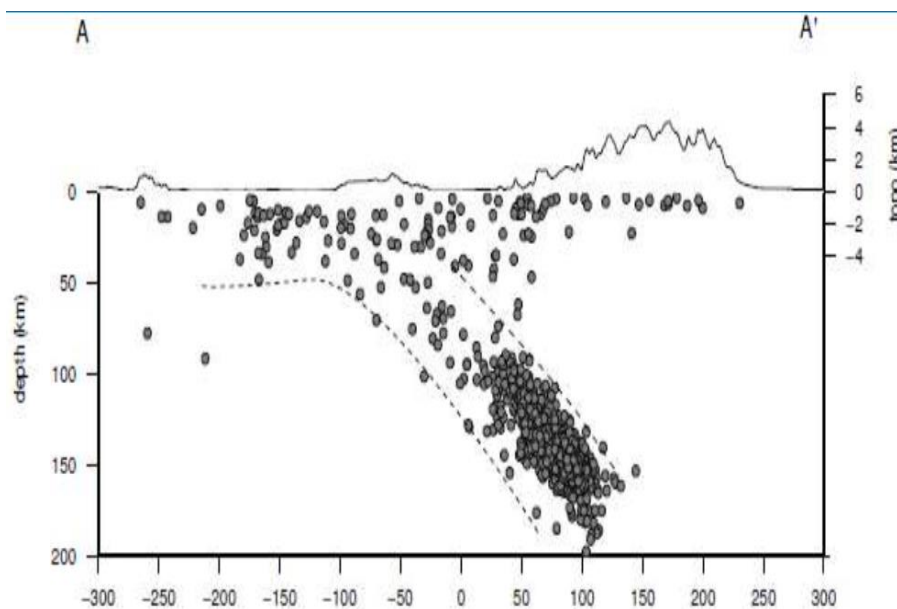


Figura 10. Subducción en el nido de Bucaramanga.

Adaptado: Chiarabba, C., De Gori, P., Faccenna, C., Speranza, F., Seccia, D., Dionicio, V., & Prieto, G. (2016). Subduction system and flat slab beneath the Eastern Cordillera of Colombia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17(1), 16-27. doi: 10.1002/2015

2.2.5 La formación Bucaramanga. La constitución de Bucaramanga es un depósito aluvial con un área aproximada de 130 kilómetros cuadrados, en los cuales se encuentran la mayor parte del sector urbano del área metropolitana de Bucaramanga. La Formación Bucaramanga va desde el contacto con el macizo ígneo metamórfico de Santander al Este hasta las laderas al Oeste del sector urbano de Girón.

Al Sur se expande hasta el pie de la Mesa de Ruitoque y al norte hasta el barrio Los Colorados. Este depósito alcanza unas profundidades superiores a 300 metros. Prieto analizó a detalle los sismos del nido de Bucaramanga y plantea que se presentan un gran número de sismos repetidos con formas espectrales similares y frecuencias de esquina, pero con momentos sísmicos significativamente diferentes (Prieto, 2013).

Sin embargo, los sismos del nido de Bucaramanga tuvieron un comportamiento similar al de otras fuentes de sismos profundos incluyendo el marco tectónico dentro o a lo largo de placas de subducción, valores altos de b , ausencia de réplicas y valores altos de caída de esfuerzo promedio. (Prieto y Otros, 2012).

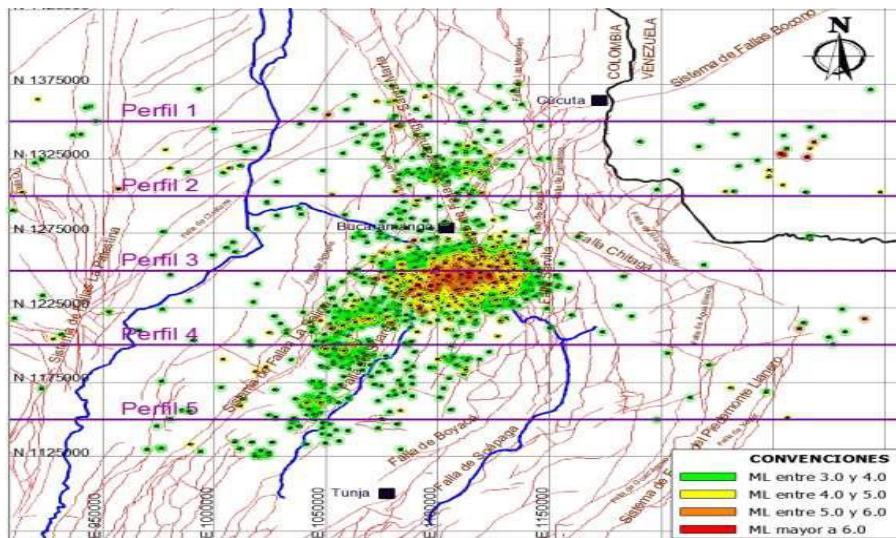


Figura 11. Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 ML < 3.0; Profundidad < 0 km
Adaptado: Pennington, W. (n.d.). The subduction of the eastern Panama Basin and the seismotectonics of northwestern South America.

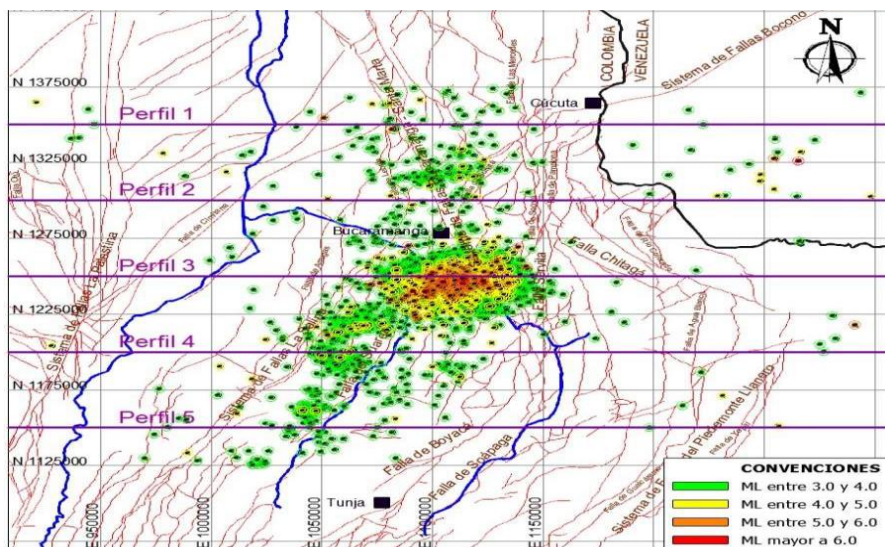


Figura 12. Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 ML < 3.0; Profundidad < 40 km
Adaptado: Pennington, W. (n.d.). The subduction of the eastern Panama Basin and the seismotectonics of northwestern South America.

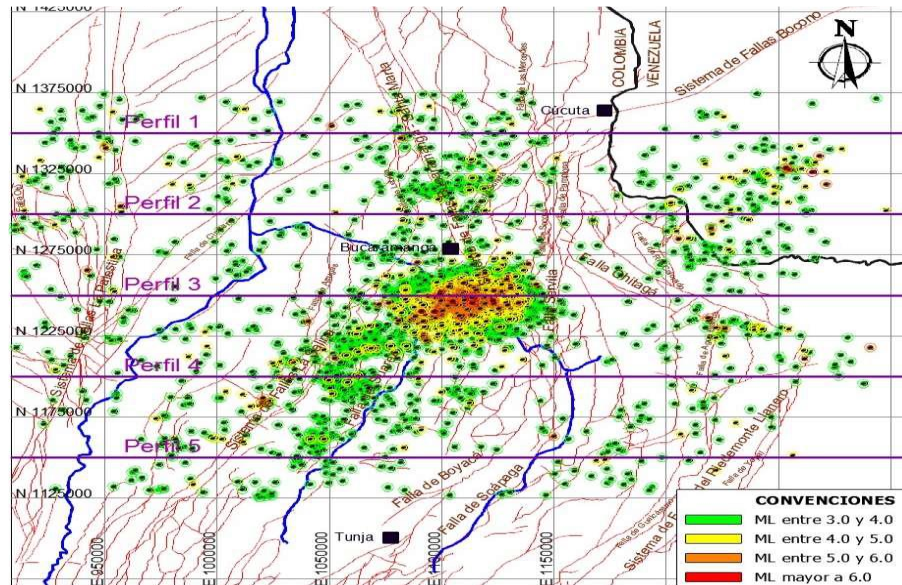


Figura 13 Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 ML < 3.0; Profundidad < 70 km
Adaptado: Pennington, W. (n.d.). The subduction of the eastern Panama Basin and the seismotectonics of northwestern South America.

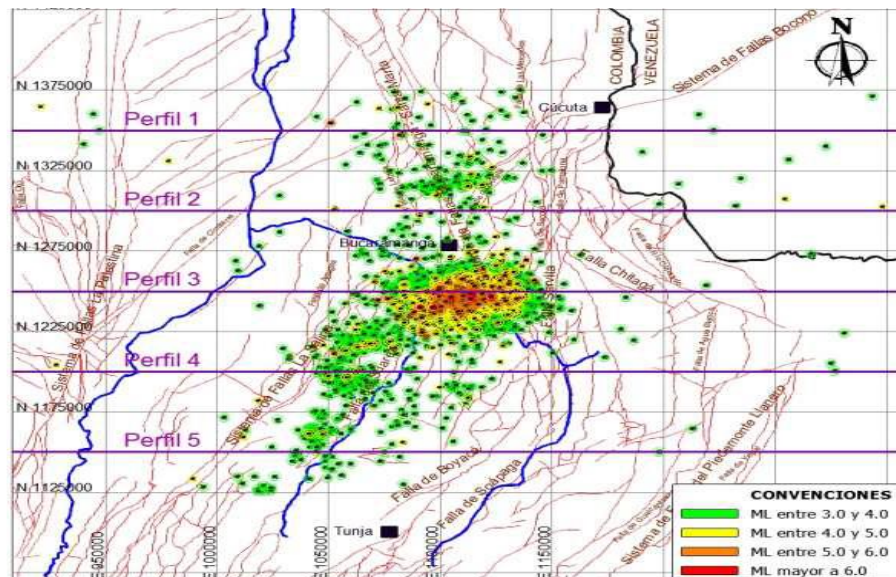


Figura 14. Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 ML < 3.0; Profundidad < 100 km
Adaptado: Pennington, W. (n.d.). The subduction of the eastern Panama Basin and the seismotectonics of northwestern South America.

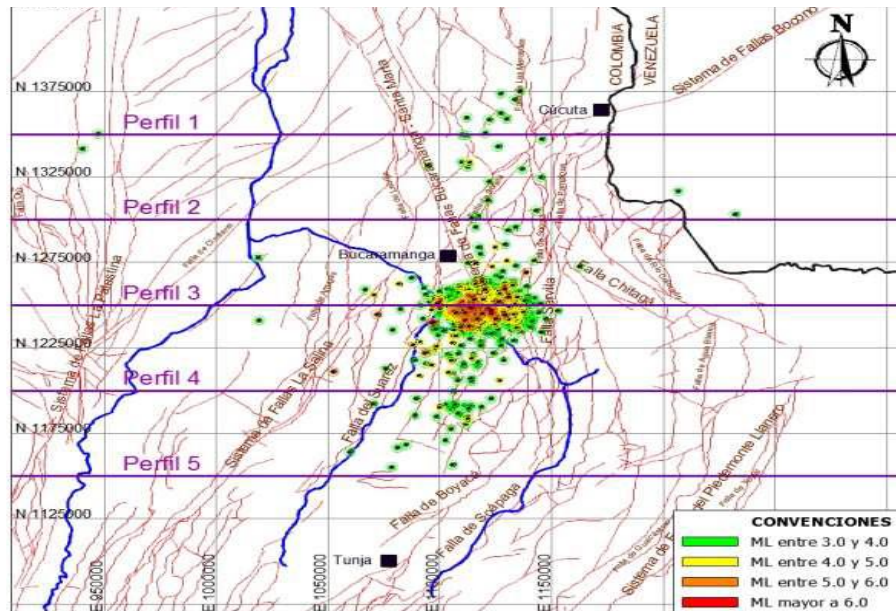


Figura 15. Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 ML < 3.0; Profundidad < 130 km
Adaptado: Pennington, W. (n.d.). The subduction of the eastern Panama Basin and the seismotectonics of northwestern South America.

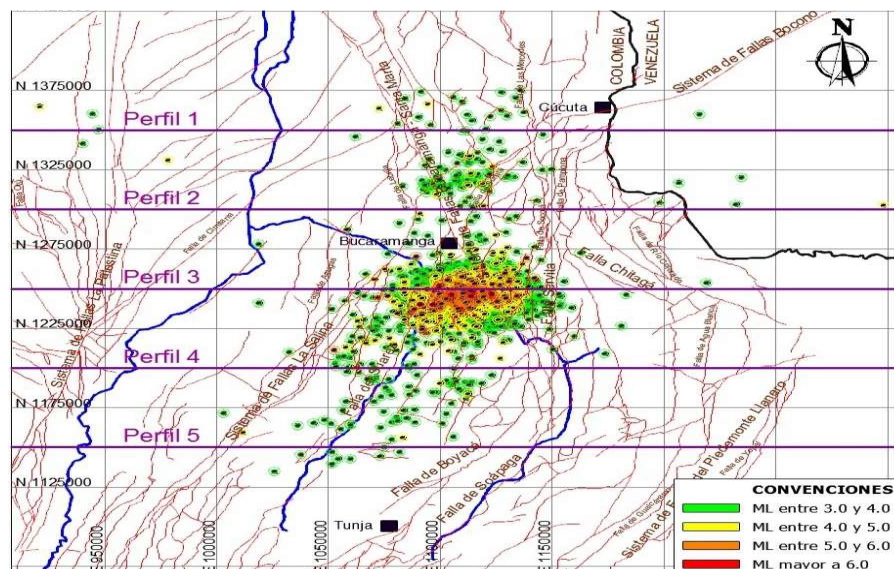


Figura 16. Localización sismos en la RSNC de 1993 a 2015 $ML < 3.0$; Profundidad < 160 km
Adaptado: Pennington, W. (n.d.). The subduction of the eastern Panama Basin and the seismotectonics of northwestern South America.

2.2.6 Sismos históricos en Bucaramanga. No se encuentra ninguna evidencia que muestre que, en el territorio de Bucaramanga y su área metropolitana, hayan ocurrido terremotos cuyos efectos hayan dejado víctimas o significativas pérdidas materiales, solo alcanzan a averiar y a semidestruir edificaciones, generalmente las más antiguas o que se encuentren mal construidas es decir no cumplan con los requisitos mínimos de la norma NSR-10. Sin embargo, en sus alrededores como los municipios de Betulia, Rionegro y la Mesa de los Santos se encuentran reportes en los que se muestran daños estructurales en las edificaciones de mayor magnitud que en el área metropolitana de Bucaramanga. (Suarez, 2017)

El sismo de abril 4 de 1952

- El sismo de diciembre 14 de 1952
- El sismo de abril 22 de 1956
- El sismo de septiembre 2 de 1964. Según Vanguardia Liberal: Este es uno de los sucesos que más ha causado estragos en la ciudad de Bucaramanga. Informaron que dejó 7 heridos y 3° casas destruidas, dejando inservible el casco urbano. Este sismo alcanzó una magnitud de 4.8 y tuvo su epicentro en el sistema de fallas de Chucarima cerca a Lourdes en Norte de Santander. (Suarez, 2017)

- El sismo de julio 29 de 1967 (sismo de magnitud 6.3, con coordenadas de epicentro 6.8N y 73.0W en el sector de Betulia - Santander). Este es el sismo de mayor magnitud que se haya sentido en la ciudad de Bucaramanga y hubo un total de 20 muertos y 150 heridos, especialmente en el municipio de Betulia. Sufrieron averías importantes algunos edificios, como la catedral de la Sagrada Familia, la Iglesia de San Pedro y el edificio Turbay. Históricamente la población que más es afectada por los sismos regionales es Betulia. (Suarez, 2017)

<<El último sismo importante ocurrió el 10 de marzo de 2015 con magnitud de 6.3 a profundidad de 166 kms. >>

Se puede observar los sismos de las fuentes superficiales y los del nido sísmico de Bucaramanga, donde tienen origen los sismos de mayor magnitud.

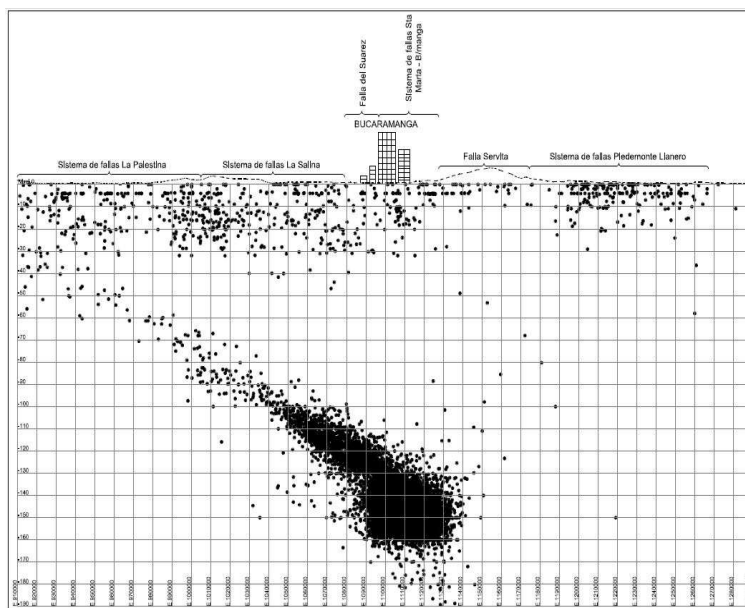


Figura 17. Localización en profundidad de los sismos en la latitud de la ciudad de Bucaramanga
Adaptado: Pennington, W. (n.d.). The subduction of the eastern Panama Basin and the seismotectonics of northwestern South America.

2.2.7. Sismos históricos relacionados con el sistema de fallas de Bucaramanga. No hay información histórica de grandes terremotos atribuibles a la falla de Bucaramanga. (Suarez, 2017) Sin embargo, se reportan algunos sismos históricos que podrían atribuirse a este sistema de fallas. Sismos de Ocaña:

- 1894 (abril 28) «conmovió todos los edificios de la ciudad y las campanas de los templos tocaron plegarias ellas solas». Sin embargo, es posible que este sismo esté relacionado con la falla de Boconó en Venezuela.

- 1973 (agosto 30). Sismo de magnitud 5.7 con epicentro cerca de Ocaña ocasionando daños en edificios de Bucaramanga y Cúcuta.
- Sismos del Socorro: El 31 de diciembre de 1868 con réplicas el 01 de enero de 1869 se presentó un sismo de gran intensidad en Socorro estado de Santander.
- Noviembre 18 de 1877 en Socorro, San Gil, Zapatoca y Barichara. Sismo de Soata en 1873. No existen detalles de este sismo, pero por su localización se atribuye a la falla de Soata – Soapaga.
- Sismo de Guaca (marzo 11 de 1974). Magnitud 5.0 a profundidad de 24 kms. (Suarez, 2017)

Tabla 2

Intensidad y Magnitud

Intensidad	Magnitud
Tamaño: Efectos producidos por un sismo	Tamaño: Energía liberada por un sismo
Medida cualitativa basada en los efectos observados en superficie, en personas, Objetos, construcciones y naturaleza.	Medida física basada en el registro Sismográfico.
Diversas escalas: escala cerrada (hasta 12 Grados): Mercalli, EMS-98.	Diversas escalas: Escala logarítmica abierta (ML, MW, MS)
Varios valores numéricos en diferentes Puntos de la tierra.	Un valor numérico en un punto de la Tierra.

Nota: Sarabia, M. (2015).

Actividad Sísmica y su monitoreo, orientado a la gestión del riesgo de desastres en Santander.

Tabla 3

Sismos históricos en el área del Nido de Bucaramanga

FECHA	HORA	EPICENTRO		MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km)
1967-07-29	05:24	6.84	-73.09	6.8 Mw	160
1968-05-07	04:00	6.74	-73.00	5.7 Mw	159
1973-08-30	13:25	7.14	-72.76	6.3 Mw	180

Nota: Sarabia, (2015). Foro Actividad Sísmica y su Monitoreo, orientado a la gestión del riesgo de desastres en Santander, Bucaramanga

2.3 Objetivos del diseño sismo-resistente de estructuras

El diseño sismo resistente tiene un objetivo principal que consiste en prevenir el colapso de los edificios durante un sismo, en tal forma que se logre minimizar el riesgo de muerte o de que ocurran lesiones a las personas en las edificaciones o sus alrededores. Ya que los terremotos de gran magnitud son poco frecuentes, la economía dispone que es más importante evitar el colapso de las edificaciones y encuentra aceptable que ocurran daños en los edificios siempre y cuando esto no ocurra. (NSR-10, 2010)

2.3.1 Estimación de la amenaza sísmica en Colombia. La Amenaza puede ser definida por la magnitud y la probabilidad de eventos, en este caso de sismo en una determinada región y la Vulnerabilidad, por la exposición y susceptibilidad de su sistema socioeconómico (condiciones sociales, economía y ambiente de construcción) al ser afectados por estos sismos, dependiendo de esto es mejor o peor su nivel de respuesta ante un fenómeno de esta magnitud. (Eraso, 2015)

Con el objetivo de entender los procesos que interactúan generando los eventos extremos, usando diferentes metodologías para medir el nivel de amenaza y estimar los Riesgos , de tal forma que permita formular la normativa que deben aplicar las técnicas de construcción conforme con esta amenaza, y que también nos permita evaluar el estado de las estructuras ya construidas respecto al nivel de amenaza sísmica, y para esto se tiene en cuenta los sismos ocurridos, los sismo por cada área, la relación entre sismos pequeños y grandes, la Magnitud máxima y su Recurrencia. (Eraso, 2015)

2.3.2 Aspectos generales de amenaza sísmica del Área metropolitana de Bucaramanga.

Existen dos áreas de gran amenaza por estar encima de la falla el Cerro de Palonegro por estar

En general la amenaza sísmica se mide en niveles o magnitudes, medidas de la cantidad de energía liberada, que indica el tamaño real del sismo, que no es tradicionalmente usado para idéntica el tamaño del evento sísmico. (Zuñica, 2011). La magnitud del sismo se define como el promedio de las magnitudes calculadas en tantas estaciones como sea posible.

Tabla 4
Escala Richter efectos del terreno.

Magnitud	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	Se siente, pero solo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a los edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas pobladas
7.0 - 7.9	Terremoto mayor, causa graves daños
8.0 o mayor	Gran terremoto, destrucción total a áreas pobladas cercanas

Nota: Guzmán, J. and Vela, Y. (2015). *Determinación de la amenaza sísmica en Santander mediante el análisis de valores extremos*. Ingeniería catastral y geodesia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Al ser las edificaciones de mampostería una de las tipologías más frecuentes en las ciudades colombianas, surge la necesidad de realizar estudios conducentes a valorar su vulnerabilidad sísmica. Además, no se debe pasar por alto que una buena cantidad de estas edificaciones han sido diseñadas y construidas sin considerar los lineamientos sismo resistente necesario para su buen desempeño durante la ocurrencia de un sismo. (Maldonado, Chio Cho, Gomez, 2007)

En la ciudad de Bucaramanga el sistema muros de hormigón está presente en el 41.83% de las edificaciones de hormigón. Es decir, como sistema es uno de los más utilizados y su crecimiento es mayor después de la NSR-98.

2.3.3 Vulnerabilidad de las edificaciones. La EMS clásica las diferentes Tipologías estructurales en seis clases de vulnerabilidad (A, B, C, D, E y F) en función de los materiales de construcción usados en la edificación (mampostería, concreto, acero y madera) y el nivel de diseño sísmico, donde A es muy vulnerable y F es menos vulnerable. Las primeras tres clases A, B y C, representan las Tipologías estructurales más vulnerables (desempeño sísmico pobre), como muros de mampostería de adobe. Las clases D y E representan las Tipologías estructurales con vulnerabilidad media (estructuras con diseño sísmico), dentro de esta clasificación están las estructuras bien construidas de madera, acero y concreto reforzado, mampostería confinada y reforzada. Finalmente, la clase F representa las estructuras con vulnerabilidad baja (estructuras con un buen diseño sísmico).

Tabla 5

Clasificación de estructuras de mampostería por su clase de vulnerabilidad.

Tipo de estructura resistente a carga	Subtipos	Clase de Vulnerabilidad
Muros de Mampostería de piedra natural	Muros de escombros y mortero de lodo	A
	Muro de piedra con mortero de cemento o cal	C
Muros de tierra (Lodo, adobe, y tierra compactada)	Muro de lodo	A
	Muros de lodo con elementos horizontales de madera (Bajareque)	B
	Muros de adobe	A
	Muros de tierra compactada	A
Muros de mampostería de ladrillo	Muros de ladrillo sin confinar con mortero de lodo, cemento o cal	B
	Muros de ladrillo sin confinar con mortero de lodo, cemento o cal (incluye postes verticales y horizontales de madera)	B
	Muro de ladrillo sin confinar con mortero de lodo, cemento o cal (Con losas de piso o techo de concreto reforzado)	C

Nota: Grünthal G. (1998), “Escala Macro sísmica europea (EMS)”, Consejo Europeo, Notas del Centro Europeo de Geodinámica y Sismología.

La clasificación de daño observado de la EMS está integrada por 5 categorías:

- Grado 1, sin daño o daño leve (sin daño estructural, daño no estructural leve)
- Grado 2, daño moderado (daño estructural leve, daño no estructural moderado)
- Grado 3, daño substancial a severo (daño estructural moderado, daño no estructural moderado)
- Grado 4, daño muy severo (daño estructural severo, daño no estructural muy severo)
- Grado 5, destrucción total (daño estructural muy severo).

3. Descripción de daños en edificaciones de vivienda por sismos recientes en la zona de estudio (AMB, Mesa de los Santos, Betulía y Rionegro).

Teniendo en cuenta que los municipios de estudio permanecen en alto riesgo sísmico, hemos realizado un análisis para identificar las zonas más vulnerables sísmicas con la cual se pretende ser una guía para la toma de conciencia, reducción del riesgo y planificación de los programas de prevención y atención de emergencias cuando ocurre un evento sísmico.

Se tienen en cuenta los sistemas estructurales que predominan en estos municipios, donde se tiene que, para la Mesa de los Santos, Betulía y Rionegro están la mampostería en adobe o tapia pisada, mampostería no confinada y para el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga mampostería confinada o no confinada, en pórticos de concreto y se consideró el pórtico en acero.

3.1 Tipología de las edificaciones

3.1.1 Mampostería en adobe o tapia pisada. Las edificaciones de adobe y tapia pisada presentan usualmente unas características constructivas que contribuyen a aumentar su vulnerabilidad sísmica. Frecuentemente la edad de estas edificaciones y el deterioro de las propiedades mecánicas de sus materiales llevan a una disminución adicional de su capacidad de soportar un terremoto. Este sistema se presenta en las edificaciones más antiguas del área metropolitana de Bucaramanga, sin embargo, en los municipios de La Mesa de los Santos, Rionegro y Betulia estas edificaciones prevalecen, debido a que la mayoría fueron realizadas en el pasado a partir de reglas empíricas y diseñadas solo para soportar acciones gravitacionales. (Yamin et.al, 2007)



Figura 19. Edificación en Tapia pisada afectada en la Mesa de los Santos por el sismo del 10 de marzo del 2015. Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.

3.1.2 Mampostería en ladrillo y no confinada. En esta clasificación se encuentran todas las construcciones elaboradas con mampostería en los diferentes tipos de ladrillo existentes que se encuentren en los municipios. Dichos muros no cuentan con un adecuado confinamiento o, en algún caso no poseen elementos diferentes a la mampostería misma, lo cual hace que las cargas verticales y horizontales que actúan sobre la estructura sean soportadas por los muros de mampostería. (Maldonado, Chio Cho, 2007)

Este tipo de edificación también es muy común encontrarlo en el área metropolitana de Bucaramanga, en La Mesa de los Santos, Betulia y Rionegro, debido a que construyen edificaciones que no cumplen con los requisitos mínimos de la NSR-10 al no poseer el respectivo confinamiento y en muchas ocasiones una adecuada cimentación o carecen de ella, lo cual deja expuesta a estas edificaciones a diferentes fallas.



Figura 20. Edificación en Mampostería no confinada afectada en la Mesa de los Santos por el sismo del 10 de marzo del 2015. Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.

3.1.3 Mampostería Confinada. Este sistema está conformado por muros de mampostería adecuadamente confinados, de tal manera que el comportamiento estructural mejora al contar con elementos que le ayuden principalmente al soporte de las fuerzas horizontales. (Maldonado, Chio Cho, 2007)

Es una de las tipologías estructurales más frecuentes en las ciudades colombianas, aunque una buena cantidad de estas edificaciones han sido diseñadas y construidas sin considerar los lineamientos sismo resistentes, necesarios para un buen desempeño durante un evento sísmico. (Maldonado, Chio Cho, 2007)



Figura 21. Edificación en mampostería confinada, que no sigue los parámetros exigidos por la NSR-10 y es afectada en Piedecuesta Santander, por el sismo del 10 de marzo del 2015. Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.

3.1.4 Pórtico en concreto. Es una tipología compuesta por un pórtico espacial, resistente a momentos, el cual soporta todas las fuerzas tanto horizontales como verticales. Este sistema puede tener un comportamiento dúctil o no dúctil en función del reforzamiento, confinamiento y configuración estructural de sus elementos. (Maldonado, Chio Cho, 2007)

3.1.5 Pórtico en acero. Es un pórtico cuyos elementos son perfiles metálicos los cuales se encuentran con frecuencia en grandes bodegas y edificaciones industriales. (Maldonado, Chio Cho, 2007)

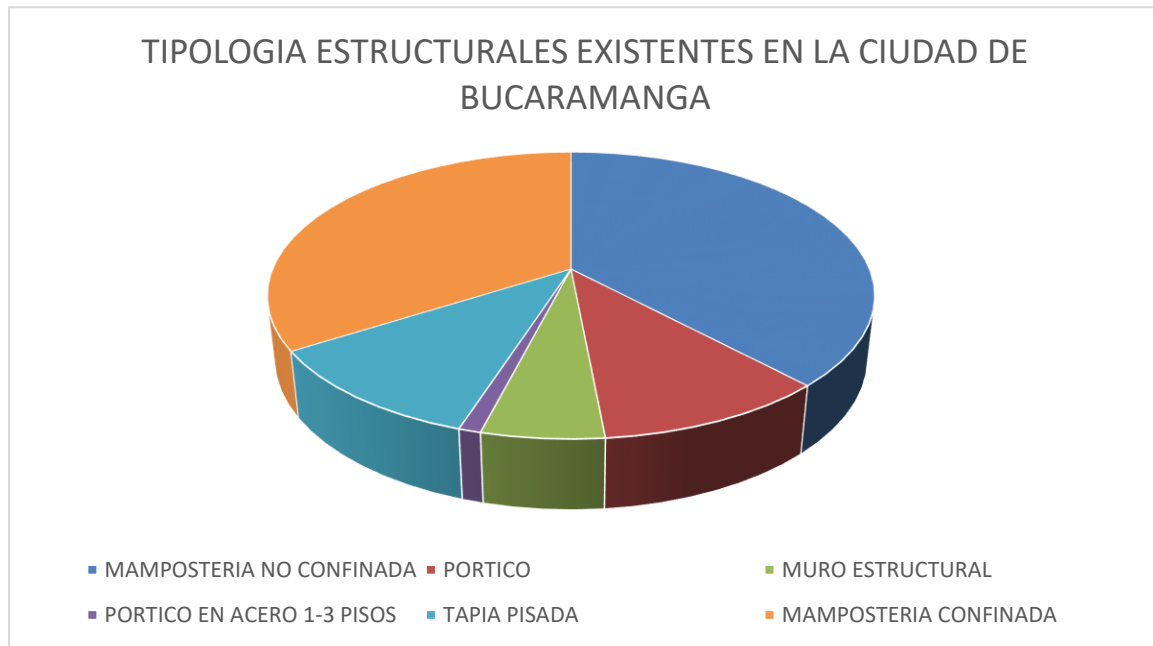


Figura 22. Tipologías estructurales predominantes en la ciudad de Bucaramanga.

Adaptado Maldonado Rondon, E., Chio Cho, G. and Gomez Araujo, I. (2007). Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos. In: Ingeniería y Universidad, 11th ed.

3.2 Análisis de Reportes y documentación periodística

Se realizó una investigación en la que se revisaron los boletines de sismos de los años de estudio que comprenden desde el 2008-2018 reportados por la Red Sismológica Nacional de Colombia RSNC, en los boletines podemos encontrar los Histogramas de funcionamientos de las estaciones de medición, se encuentra en detalle el registro de los eventos sísmicos ocurridos en cada año, así como sus características principales el número del evento, la fecha, Hora: Minuto:

Segundo. Hora del evento en tiempo universal (UT). Para la hora local en el territorio Colombiano se restan 5 horas, Latitud en grados, la Longitud en grados, la Profundidad en kilómetros, su magnitud en la escala de Richter, su ubicación en la cabecera municipal y departamento más cercano al epicentro, entre otras características, después del análisis detallado de cada uno de los boletines reparados y del estudio del monitoreo realizado por la gestión de riesgo de desastre en Santander, la documentación periodística encontrada se llegó a la conclusión que a pesar de que los sismo en Santander debido al nido sísmico de Bucaramanga es recurrente, estos al desarrollarse a grandes profundidades no han ocasionado daños significativos para la población, en los 10 años estudiados se reportaron daños del sismo ocurrido el 10 de marzo del 2015 y desde entonces no han ocurrido sismos con magnitudes importantes.

Tabla 6
Comparación de sismos.

Sismo del 29 de julio de 1967			Sismo del 10 de marzo de 2015		
Magnitud: 6.8Mw			Magnitud: 6.4Mw (6.6)		
Epicentro:	6.84	-73.09	Epicentro:	6.83	-73.13
Los Santos (Santander)			Los Santos (Santander)		
Profundidad: 160 km			Profundidad: 160 km		
Resumen:	Sentido desde Santa Marta Hasta Pasto y en Venezuela. Daños de edificaciones en Santander, Boyacá, Norte de Santander y Antioquia.		Resumen:	Sentido desde Santa Marta Hasta Cali y en Venezuela. Daños de edificaciones en Santander, Boyacá, Norte de Santander, Antioquia y Cundinamarca	

Nota: Sarabia, (2015). Foro Actividad Sísmica y su Monitoreo, orientado a la gestión del riesgo de desastres en Santander, Bucaramanga

Tabla 7*Efectos de los sismos del 29 de julio de 1967 y del sismo del 10 de marzo del 2015*

Lugar	Sismo 29/07/1967	Sismo 10/03/2015
Betulia	Dstrucción de 70 viviendas, el palacio municipal y las torres de la iglesia. Daños en el 90% del casco urbano y en viviendas del área rural.	Más de 200 viviendas averiadas tanto del área urbana como rural. Algunas casas desalojadas debido a los graves daños.
El Playón	Colapsaron 10 viviendas en el Área rural.	Casi 300 casas averiadas, más de 80 destruidas, la mayoría en el área rural.
Rionegro	La iglesia, el palacio municipal y la mayoría de las casas quedaron agrietadas en muros y pisos. Colapsaron dos viviendas.	Más de 500 casas averiadas, Algunas de ellas no habitables, la mayoría en el área rural.
Matanza	La mayoría de casas presentaron daños en muros y algunas quedaron inhabitables. - El Pajuil: 7 viviendas y dos Escuelas destruidas.	Más de 200 casas averiadas y Otras 200 destruidas, la mayoría en el área rural, en los corregimientos de El Pajuil y Santa Cruz de La Colina.

Nota: Sarabia, (2015). Foro Actividad Sísmica y su Monitoreo, orientado a la gestión del riesgo de desastres en Santander, Bucaramanga.



Figura 23. Betulia, 1967 Adaptado: Quintero, F. and Jaramillo, M. (2019). El drama que viven en Rionegro y Betulia los afectados por el temblor. EL TIEMPO. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15382237>.



Figura 24. Betulia 2015 Adaptado: Quintero, F. and Jaramillo, M. (2019). El drama que viven en Rionegro y Betulia los afectados por el temblor. EL TIEMPO. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15382237..>

La unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres quienes realizan el respectivo barrio por los municipios aledaños elaborando un reporte de las viviendas afectadas en los municipios de Santander afectados debido al sismo del 10 de marzo del 2015, el cual nos ayuda a tener una visión global de cómo se comportó el sismo en la región.

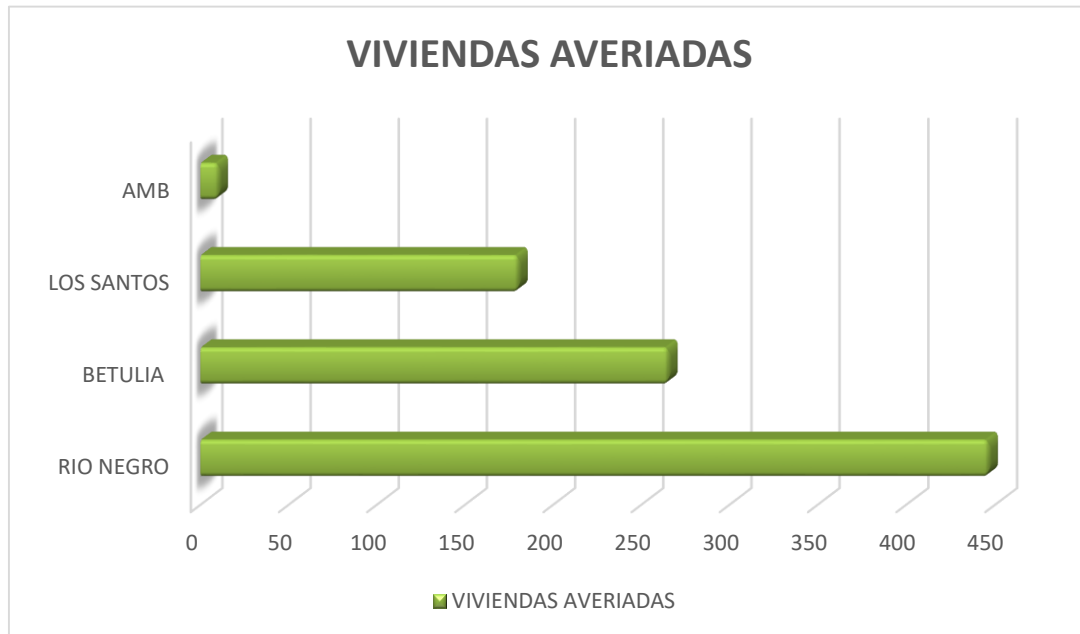


Figura 25. Viviendas reportadas avariadas en el sismo del 10 de marzo del 2015.

<< Podemos observar que en el área metropolitana de Bucaramanga se reportaron pocos daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015, el coordinador de la Oficina de Gestión del Riesgo, Fredy Ragua, sostuvo que el movimiento telúrico registrado en la tarde de este martes 10 de marzo dejó afectaciones en 14 edificios, entre los que se encuentra Surabic, en donde funciona RCN La Radio. A diferencia que en los otros municipios de la región >> (RCNradio, 2015)

El fuerte sismo causó pánico en los santandereanos, el sismo ocurrió a las 3:55 y fue el más fuerte de los últimos 50 años en la región, aunque por fortuna no dejó heridos que lamentar. Por

fortuna, la profundidad fue alta (161 kilómetros) y por ello los efectos del movimiento telúrico no tuvieron el impacto de terremotos como el de Armenia, que fue de 6,4 grados, pero fue a 16 kilómetros de profundidad.

3.2.1 Reportes Municipio Rionegro. <<En marquesinas o en casas vecinas tuvieron que dormir unas 500 personas, alrededor de 100 familias del municipio de Rionegro, Santander, que lo perdieron todo, luego del fuerte temblor que sacudió ayer a gran parte del país>> (RCN Radio, 2015)

Rionegro, ubicado a 24,7 kilómetros al norte de Bucaramanga, es uno de los municipios más afectados por el fuerte temblor que sacudió al país el 10 de marzo del 2015. (El tiempo, 2015), Según el alcalde José Rodríguez el reporte oficial del municipio arroja aproximadamente 100 viviendas totalmente destruidas y 554 aproximadamente con fisuras es el reporte que tiene la alcaldía municipal y el Cuerpo de Bomberos después de realizar un recorrido, en horas de la noche, por los sectores afectados. (El tiempo, 2015)

La zona rural del municipio es la zona que presenta más casos de viviendas destruidas, veinticinco veredas del municipio resultaron afectadas. El salón de una escuela colapso totalmente y un colegio del casco urbano presento fisuras en las paredes.

Las veredas donde hubo más afectación fueron La Colorada, El Bosque, Berlín, Honduras y Valparaíso. Algunas de las viviendas distan a 30 minutos de la cabecera municipal, mientras que otras están a una hora y media y dos horas. (Vanguardia, 2015)



Figura 26. Casa destruida en Rionegro Santander por el sismo del 10 de marzo del 2015. Adaptado: Alcaldía de Rionegro (Rionegro, 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Rionegro-Santander.

Tabla 8
Reporte de daños de casa destruida completamente en Rionegro Santander

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Posee un nivel de daño severo, esta vivienda quedo inhabitable ya que se encuentra en su mayoría destruida. • Esta edificación no requiere una intervención menor, en este caso la vivienda debe ser reconstruida. • La cubierta, y gran parte de los muros colapsaron.	• Era una vivienda antigua construida en adobe o tapia pisada, un material poco adecuado para esta zona de amenaza sísmica alta, además de que no poseía los requisitos mínimos exigidos en la NSR-10. • Debido al sismo ocurrido el 10 de marzo del 2015, la vivienda quedo completamente destruida.

<< En Rionegro aproximadamente 100 casas presentaron daños que llevaron al colapso de las estructuras dejándolas completamente inutilizables>> (Vanguardia, 2015)



Figura 27.Casa afectada Rionegro Santander por el sismo del 10 de marzo del 2015. Adaptado: Alcaldía de Rionegro (Rionegro,.,2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Rionegro-Santander.

Tabla 9
Reporte de daños de casa de tapia pisada con colapso de muros afectada en Rionegro Santander

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
Esta vivienda presenta daños severos existieron movimientos en el plano o fuera de él que provocaron el colapso de este.	Es una vivienda antigua, que se encuentra construida con un material no apto para la zona de amenaza sísmica donde se encuentra, como rehabilitación se debe considerar el remplazo total de estos muros y un reforzamiento de la misma para evitar nuevos acontecimientos.



Figura 28. Casa afectada Rionegro Santander por el sismo del 10 de marzo del 2015. Adaptado: Alcaldía de Rionegro (Rionegro,.,2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Rionegro-Santander.

Tabla 10
Reporte de daños de casa afectada en Rionegro Santander

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
Esta vivienda presento un daño moderado, posee grietas en los muros de tapia pisada, presenta grietas en las esquinas de los muros.	Esta vivienda está construida a base de barro y es un material que no permitió que fuera lo suficiente resistente para no presentar daños durante el sismo del 10 de marzo del 2015.

“La mayoría de estas casas se destruyeron completamente porque están construidas a base de barro y son muy antiguas, lo que hace que las casas no sean tan resistentes a un sismo como el que ocurrió ayer en horas de la tarde”, dijo el ingeniero Elkin Rollón. (El Tiempo, 2015)



Figura 29. Casa totalmente destruida por el sismo del 10 de marzo del 2015.
Adaptado: Alcaldía de Rionegro (Rionegro,.2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Rionegro-Santander.



Figura 30. Casa colapsada totalmente y casas vecinas afectadas con gravedad debido al sismo del 10 de marzo del 2015

Adaptado: Alcaldía de Rionegro (Rionegro, 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Rionegro-Santander.

Tabla 11

Reporte de daños de casas colapsadas en Rionegro Santander

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
Según reportes periodísticos y reportes de la unidad de gestión de desastres en Rionegro aproximadamente 100 viviendas fueron destruidas totalmente debido al sismo.	La mayoría de las viviendas del municipio de Rionegro no cuenta con un sistema estructural apto para la zona de amenaza sísmica a la que pertenecen, estas son viviendas antiguas y están construidas a base de adobe o tapia pisada

3.2.2 Reportes Área Metropolitana de Bucaramanga. El fuerte sismo causó pánico entre los Bumanguenses. Si bien en Bucaramanga y su área metropolitana no se dieron emergencias de consideración como en otros municipios de Santander (en Betulia, Rionegro, los santos, entre otros) la capital no estuvo exenta de situaciones de pánico y de daños materiales especialmente en edificios y viviendas antiguas. (Vanguardia, 2015)

Una de las situaciones más críticas se dio en una urbanización ubicada en el barrio Comuneros, en la carrera 19# 8-45, donde se provocaron grietas en las zonas comunes de la primera torre ver Figura y en las columnas de unos apartamentos. (El tiempo, 2015)

Se reportaron daños en el Coliseo Bicentenario (grietas) y en al menos una docena de edificios de cabecera (Carrera 39 con 42), Campo Hermoso, Miradores de San Luis, Girardot y Álvarez (Calle 32 con 38). (Vanguardia, 2015)

En el centro, los edificios públicos fueron evacuados. En la alcaldía se cayeron varias losas y aparecieron grietas en unas escaleras del edificio antiguo y en el sótano. Aun así, se descartan daños significativos o que afecten la integridad estructural de alguna estructura en Bucaramanga y área Metropolitana. (Vanguardia, 2015)

A continuación, se realizará una base de datos con las viviendas más representativas de las afectadas en el sismo del 10 de marzo del 2015 y de las cuales se encuentre el respectivo reporte de daños.



Figura 31. Edificación afecta en barrio Comuneros, en la carrera 19# 8-45 por el sismo del 10 de marzo del 2015

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 12

Reporte de daños de Edificación afecta en barrio Comuneros, en la carrera 19# 8-45

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Se pueden observar daños estructurales en las columnas adyacentes, así como daños en la mampostería y acabados de las fachadas de los edificios. • Se considera como daños severos la pérdida del recubrimiento de las barras de acero, sin embargo estas estructuras.	• Estos edificios no tenían el espacio suficiente uno respecto al otro, que en el momento del sismo vibraron de manera diferente y las losas del edificio de menor altura golpearon las partes intermedias del otro causando daños en las columnas del edificio de mayor altura.



Figura 32. Edificación de la ciudad de Bucaramanga afectada por el sismo del 10 de marzo del 2015. Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 13
Reporte de daños de casa con grietas y fisuras en muros y columnas en Bucaramanga

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Se presentan grietas en forma de X en los muros. • Se observa desconcha miento del concreto en el muro que ha fallado durante el sismo. • Se observan fisuras en los muros y en las conexiones entre el muro y l columna, y entre el muro y la viga de apoyo. • Se observan grietas en la columna.	• Las fuerzas cortantes impuestas por los sismos, originan fallas por tensión diagonal. La manifestación típica son fallas aproximadamente en ángulos de 45°. • Hay muy poca resistencia a la tensión diagonal. • Falta de acero en los muros. • Aunque no representa peligro de colapso ante una repetición inmediata del sismo, se recomienda su reparación lo más pronto posible.



Figura 33. Vivienda de Bucaramanga ubicada en la calle 69 # 8ª 35 afectada por grietas en las uniones debido al sismo del 10 de marzo del 2015.

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 34. Vivienda de Bucaramanga ubicada en la calle 69 # 8ª 35 afectada por grietas en las uniones debido al sismo del 10 de marzo del 2015.

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 14

Reporte de daños de vivienda con grietas en las uniones en Bucaramanga Santander

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
- Se presentan grietas horizontales en las juntas aproximadamente mayores a 6mm. - Se manifiestan fisuras en el muro debido a la fuerza que ejerce la conexión de la cubierta.	- Estas grietas indican que ha ocurrido un desplazamiento horizontal, a lo largo de las grietas y se crean aberturas en las juntas mayores a 6mm. - Para su rehabilitación se recomienda la costura de la grieta con barras de refuerzo



Figura 35. Edificio OMAGA II afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas en las placas

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 36. Edificio OMAGA II afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas en las placas y en los muros.

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 15
Reporte de edificio en sistema de pórtico con grietas horizontales en placa y muros en Bucaramanga Santander

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
Se presentan grietas horizontales en los muros y en las placas. Así como la caída de pequeños trozos de revestimiento.	- Estas grietas en la placa se pueden atribuir a un esfuerzo de tracción. - En el muro la grieta horizontal indica que se obligó a ejercer un esfuerzo de flexión o pandeo.



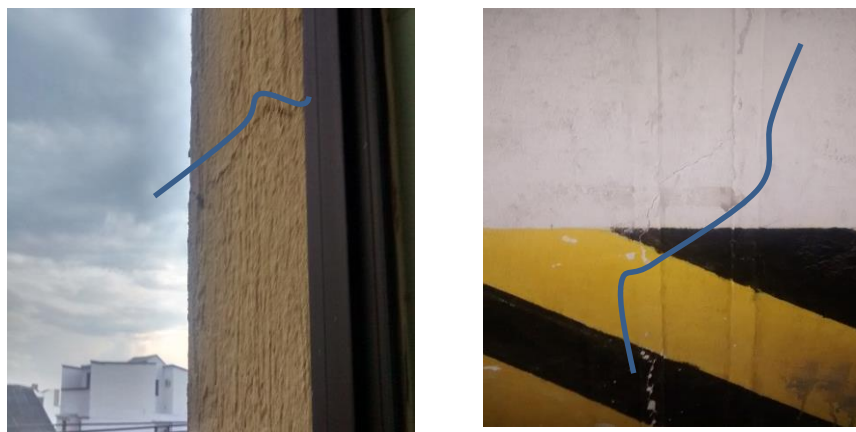
Figura 37. Edificio OMAGA II afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas en las placas y en los muros.
Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 38. Edificio OMAGA II afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas en las placas y en los muros.
Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 16*Reporte de daños de edificio con grietas en las placas y en las conexiones en Bucaramanga*

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
- Se presentan grietas horizontales en las placas. - Grietas en las conexiones columna y muro.	- Estas grietas en la placa que se presentan de forma longitudinal se pueden atribuir a un esfuerzo de tracción. - Las grietas entre las conexiones se pueden atribuir a una falta de acero y una mala conexión que lo hace menos resistente.

*Figura 39. Edificio OMAGA II afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas en las placas y en los muros.*

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 17*Reporte de daños de casa Afectada en Bucaramanga Santander con grietas verticales.*

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
Se presentan grietas y fisuras entre la columnas, debido a que la columna tiene más rigidez que el muro.	Las grietas entre las conexiones se pueden atribuir a una falta de acero y una mala conexión que lo hace menos resistente.



Figura 40. Grietas en Muros de la edificación Héroes del silencio de Bucaramanga.
Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

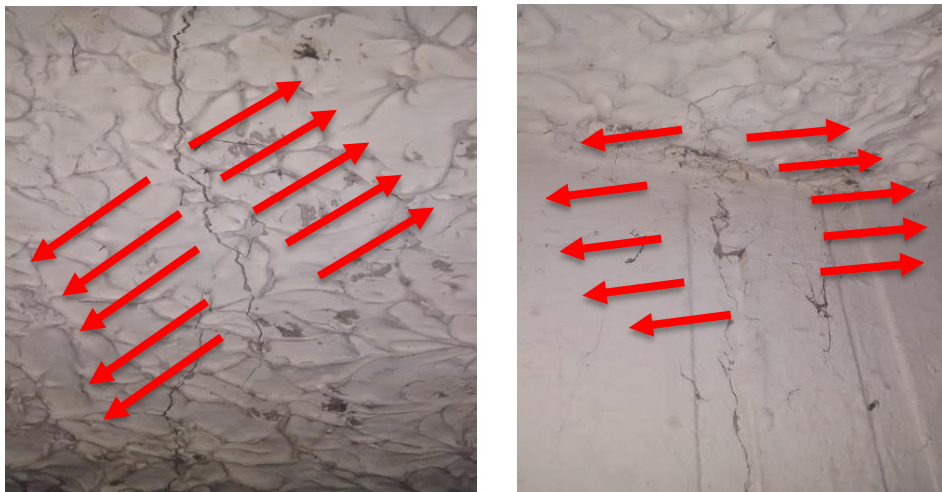


Figura 41. Grietas en las placas de la edificación Héroes del silencio de Bucaramanga.
Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 18
Reporte de daños en edificación con grietas en placa y muros en Bucaramanga Santander.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Se presentan grietas horizontales en los muros y en las placas. • Grietas horizontales en Viga.	• Estas grietas indican que ha ocurrido un desplazamiento horizontal, a lo largo de las grietas y se crean aberturas.



Figura 42. Grietas Horizontal en Viga de la edificación Héroes del silencio de Bucaramanga.. Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

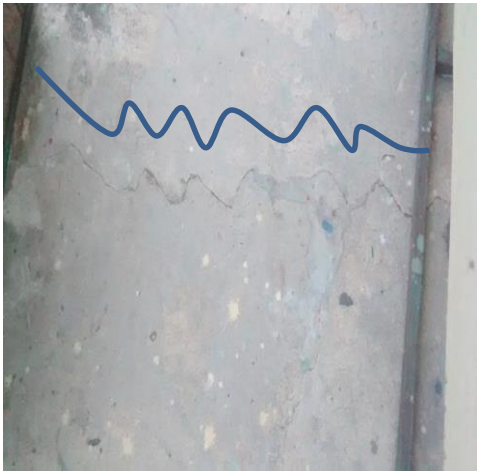


Figura 43. Grietas horizontales en el piso de la edificación Héroes del silencio de Bucaramanga. Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 44. Grietas en las conexiones en San Andresito Centro Bucaramanga. Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 45. Grietas Horizontales en los muros en San Andresito Centro Bucaramanga.
Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

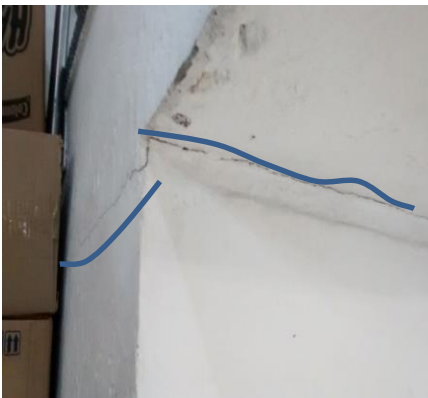


Figura 46. Grietas Horizontales en conexiones con la placa en San Andresito Centro Bucaramanga,
Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 19
Daños en san Andresito Centro

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
- Se presentan grietas horizontales en los muros y longitudinales en la losa de entrepiso. - Se generaron grietas entre las conexiones.	- Las grietas en la placa que se pueden atribuir a un esfuerzo de tracción. - Las grietas entre las conexiones se pueden atribuir a una falta de acero y una mala conexión que lo hace menos resistente.



Figura 47. Edificio en sistema de pórtico afectado por el sismo del 10 de marzo del 2015 presentando grietas.
Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 20
Fallas en edificio con sistema de pórtico

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Se presentan grietas horizontales en los muros. • Se generaron grietas entre las conexiones. • Posible movimiento en el plano o fuera de él, en la parte del muro que se conecta con la Viga. • Muros fisurados en las esquinas.	• Las grietas horizontales en los muros representan esfuerzos a tracción a los que se sometieron. • Las grietas entre las conexiones se pueden atribuir a una falta de acero y una mala conexión, la viga posee más rigidez creando esfuerzos en el muro que este no soporta y se agrieta.



Perdidas de material y signos de deterioro de la ESTRUCTURA

Figura 48. Localización de fisuras verticales en estructura del área metropolitana de Bucaramanga afectada por el sismo
Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 49. Localización de fisuras Horizontales en la edificación GAF del área metropolitana de Bucaramanga afectada por el sismo.
Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

La mayoría de edificios afectados están diseñados con un sistema estructural de pórtico, y podemos observar que son edificaciones viejas que y por esta razón son más susceptibles a daños provocados por sismos debido a que estas tienen un nivel de deterioro mayor.



Figura 50. Localización de falla en conexiones de vivienda en el área metropolitana de Santander afectada por el sismo del 10 de marzo del 2015.
Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 21.
Grietas en conexiones de elementos estructurales en edificación de Bucaramanga

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Se generaron grietas entre las conexiones. • Posible movimiento en el plano o fuera de él, en la parte del muro que se conecta con la Viga.	• En las conexiones entre los distintos elementos estructurales, se originan condiciones complejas y elevadas concentraciones de esfuerzos que conducen a numerosos casos de falla. • Las grietas entre las conexiones se pueden atribuir a una falta de acero y una mala conexión, la viga posee más rigidez creando esfuerzos en el muro que este no soporta y se agrieta. • Estas conexiones pueden fallar por la escasez de anclajes de refuerzo entre las columnas y las vigas



Figura 51. Desprendimiento de muros en vivienda en el área metropolitana de Bucaramanga. Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Estos muros se desprendieron debido a que el sistema estructural de la vivienda no es el adecuado, ya que carece del respectivo confinamiento columnas, vigas que soporten y ayuden a distribuir las cargas a adecuadamente en especial cuando se someten a sobreesfuerzos por un fenómeno de gran magnitud como un sismo de la magnitud del ocurrido el 10 de marzo del 2015 y por la zona de amenaza sísmica donde se encuentran ubicadas estas edificaciones.



Figura 52. Grieta entre la losa y el muro debido a sobreesfuerzos y malas conexiones.

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca, 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 53. Grietas verticales y horizontales en los muros,

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca, 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Grietas verticales y horizontales en los muros y también se puede evidenciar la falta de un sistema estructural estable, así como signos de deterioro lo que aumentaron el nivel de vulnerabilidad de la estructura ante un evento sísmico como el reportado.



Figura 54. Grieta en la losa del piso causada por sobreesfuerzos ejercidos por la tierra.

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

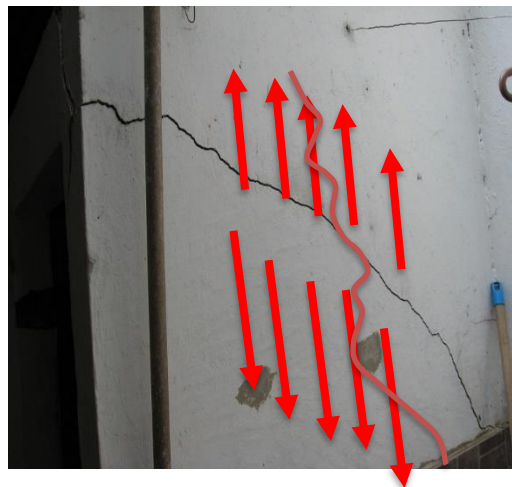


Figura 55. Grieta en muro provocado por elementos estructurales mal conecta.

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 56. Muro de la Universidad industrial de Santanderque presento grietas leves tras el sismo del 10 de marzo del 2015.

Adaptado: Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



El muro presento grietas leves a causa de las cargas sometidas por el sismo del 10 de marzo del 2015, son grietas de 2mm, que no comprometen la integridad estructural de la edificación y para su rehabilitación es un proceso de recubrimiento sencillo.

En el área metropolitana de Bucaramanga se presentaron reportes de daños que estuvieron en un promedio de leve a moderado, la mayoría de daños que se reportaron afectaban parte de la fachada y acabados de las edificaciones, en los sistemas de pórtico no se comprometió la integridad estructural de la edificación, siendo así sus daños superficiales y que el proceso de rehabilitación no es más sencillo, a diferencia de algunas estructuras en mampostería que se encontraban con un pésimo diseño estructural y no contaban con el confinamiento adecuado para resistir un evento como este, sufrieron daños considerables pero aun así no se colapsó parte de la estructura lo que hace que su proceso de rehabilitación sea más económico y más sencillo.

3.2.3 Reporte Betulia Santander. Informes periodísticos, informan que Betulia, municipio del departamento de Santander, uno de los más afectado por el sismo el 10 de marzo del 2015. Debido a que registro un panorama desolador: Según registros de la alcaldía de Betulia y en las 32 veredas cercanas se reportaron 387 vivienda afectadas en las que 76 fueron demolidas y construidas nuevamente, debido a su estado ya que la mayoría de estas colapsaron total o parcialmente con el sismo, se reportaron daños en un hospital, una iglesia y dos escuelas. Este mismo esquema será replicado en la zona rural de Betulia donde se registraron 12 viviendas averiadas y cuatro destruidas. (El Tiempo, 2015)

Según reportes del cuerpo de Bomberos de Betulia, de las 157 viviendas afectadas en la cabecera municipal de Betulia aproximadamente 70 tienen averías en el 90 por ciento de sus estructuras, 90 presentan grietas y daños moderados. (El Tiempo, 2015)

Se determinaron tres líneas de acción: subsidios de arriendo que se entregaran a las familias con viviendas no habitables; banco de materiales para la reconstrucción; y ayuda humanitaria de emergencia, que incluyen kit de aseo, colchonetas y alimentos.

Gracias a la unidad de riesgo de desastres tenemos a disposición un registro fotográfico de algunas de las viviendas afectadas:



Figura 57 . Evidencia de daño en la cubierta de la vivienda.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 58. Grietas en Muro de mampostería debido a esa sobre esfuerzos.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Tabla 22
Daños reportados en muros y cubiertas de una edición de Betulia Santander

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Se generaron grietas en los muros en dirección aproximada de 45°. • Se provocaron daños en las cubiertas de la mayoría de las casas.	• Los muros fueron sometidos a un esfuerzo a cortante alto, en ocasiones por otros elementos más rígidos quienes provocan este esfuerzo en los muros. • La cubierta no tiene un diseño estructural lo que la hizo vulnerable a los daños presentados.



Figura 59. Grieta inclinada en ladrillo de mampostería.

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 60. Grieta inclinada en muro de mampostería de vivienda afectada.

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

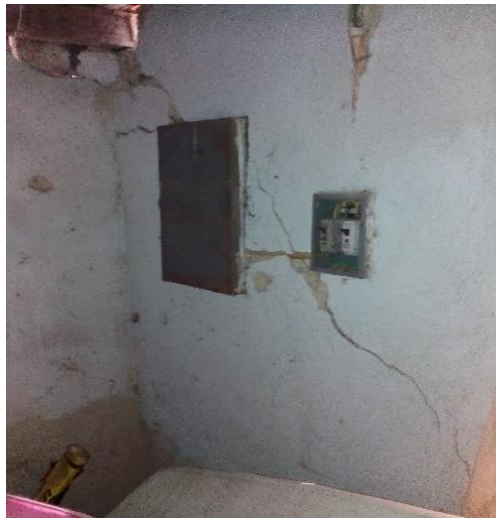


Figura 61. Grieta inclinada en muro de mampostería de vivienda afectada.

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 62. Grieta inclinada en muro de mampostería de vivienda afectada.

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

<< Estos muros poseen un nivel de daño fuerte, ya que presentan agrietamientos diagonales severos, con anchos mayores a 3.0 mm y dislocación de pizas de confinamiento. (Gil, 2015) >>



Figura 63. Fisura en conexión entre muros de mampostería en vivienda afectada.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 64. Grieta vertical en muro de mampostería.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.

Estas fisuras son ocasionadas debido a que la estructura no cumple con el confinamiento requerido por la NSR-10, la falta de elementos estructurales como columnas en las conexiones permite que los esfuerzos sometidos a estos muros logren el desprendimiento de los mismos.



Figura 65. Grietas en losa de concreto.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander

En la losa se presentaron grietas longitudinales excesivas por flexiones excesivas ejercidas por el sismo del 10 de marzo del 2015.



Figura 66. Evidencias de daños en conexiones y muros de tapia pisada en una edificación de Betulia Santander.

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander

Tabla 23
Reporte de daños de casa de tapia pisa en Betulia Santander

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Agrietamiento diagonal perceptible y perdido del pañete, gritas con anchos entre 2 mm y 4mm en la superficie del muro. • Perdida notable del revestimiento de una parte del muro.	• Se crearon asentamientos centrales en zonas grandes provocados por el sismo del 10 de marzo lo que provoco que se sobrecargara el muro fallando de esta forma.



Figura 67. Daños en Muros por la falta de diseño de cubierta y sus respectivas conexiones.

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander

Tabla 24
Reporte de daños de edificación en tapia pisada en muros, debido a las malas conexiones con la cubierta.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Agrietamiento diagonal severo con anchos de grietas mayores a 4mm, y pérdida notable del pañete en la superficie del muro. • Se provocaron daños en las cubiertas de la mayoría de las casas.	• Los muros fueron sometidos a sobreesfuerzos sometidos por las malas conexiones entre los elementos. • La cubierta no tiene un diseño estructural lo que la hizo vulnerable a los daños presentados.



Figura 68. Daños severos en Muros de tapia pisada en vivienda de Betulia por el sismo del 10 de marzo del 2015
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander

Tabla 25
Reporte de daños severos en Muros de edificación en tapia pisada en Betulia Santander

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Se observan grietas verticales y desprendimiento de relleno.	• Por el sismo se sobrepasó la capacidad portante del muro a compresión por aplastamiento del material de agarre con rotura a la tracción.



Figura 69. Muro de tapia parcialmente colapsado por conexiones con elementos de madera.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 70. Grietas y fallas en muro de tapia pisada en conexiones entre estos.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander

Tabla 26

Muro de tapia parcialmente colapsado por conexiones con elementos de madera y grietas en conexiones entre muros.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pérdida de relleno significativo y colapso de una parte de él. • Grietas superiores a 4 mm.	• Los muros fueron sometidos a cargas sobreimpuestas que sobrepasaron la capacidad de carga de este material debido a que es una zona de alta sismicidad y las estructuras requieren otro sistema estructural.

Las estructuras antiguas trabajan a tensiones por debajo de su capacidad, esa es una de las condiciones para su subsistencia durante siglos, pero fundamentalmente es la FORMA, la que le da estabilidad, de manera que las fuerzas estructurales puedan acomodarse satisfactoriamente reduciendo el problema a un problema geométrico, sin embargo, estas estructuras en la zona de amenaza sísmica donde se encuentran no tienen la capacidad para soportar un sismo de esa magnitud.



Figura 71. Se presentan grietas verticales en los muros de tapia pisada en el municipio de Betulia.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 72. Grietas y señales de deterioro en la edificación de tapia pisada en Betulia.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 73. Grietas verticales al borde el Muro en Tapia en Betulia.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander

A continuación, se presentará un resumen de las viviendas más afectadas y sus daños en el municipio de Betulia Santander, información suministrada de los registros de la Unidad Nacional de Riesgos y Desastres la cual hizo una recolección de información al realizar las respectivas visitas para evaluar los daños de estas viviendas y determinar en qué estado se encontraban para proceder de esta manera a su rehabilitación.

Tabla 27

Viviendas con los daños más relevantes del informe de la Unidad de Riesgos y Desastres

UBICACION	BARRIO	DAÑOS PRESENTADOS
URBANO	MARIA AUXILIADORA	no habitables paredes agrietadas en un 95% largo 22.10 frente 9.40 alto 4 comparte muro con la 5-39
RURAL	CENTRO	frente 15 metros fondo 6 metros vivienda afectada un 80% grietas transversales y longitudinales, techo averiado lo que hace que esta vivienda la hace inhabitable
RURAL	MARIA AUXILIADORA	altura 4 metros frente 11,2metros vivienda afectada en un 30%
URBANO	CENTRO	muro tapia pisada 50% de la casa averiada – colapsada
URBANO	SAGRADO CORAZON	vivienda afectada un 50%
URBANO	CENTRO	vivienda habitable 11.00 mts - 8.80 mts presenta daños las tejas del techo
RURAL	CENTRO	casa afectada en 90%
RURAL	MARIA AUXILIADORA	vivienda afectada un 98% fondo de la casa es: 14metros frente:19 metros altura:4 metros
URBANO	MARIA AUXILIADORA	daños graves en toda la estructura frente 9.20 mts fondo 10.10 mts
URBANO	MARIA AUXILIADORA	vivienda afectada un 98% fondo de la casa es: 14metros frente:19 metros altura:4 metros
URBANO	CENTRO	Muro afectado. Alt 3.90 mts. long2.90 alt 3.90
RURAL	SAGRADO CORAZON	demolición casa 70% declarada no habitable vivienda largo:9,0 metros altura:3,90
URBANO	SAGRADO CORAZON	No habitar. 60% para demoler medidas de la vivienda l1: 6,60 metros l2 6,60 metros l3:3,51 metros l4:3,0 metros fondo:6,60 metros altura:3,0 metros
URBANO	VEREDA EL CENTRO	demolición de una habitación afectada 100% l1: 3,70 metros l2: 3,50 metros l3: 3,70 metros l4: 3,70 metros altura: 3,70 metros techo de la vivienda afectada
URBANO	FINCA CANTABRIA	Demoler cocina. Largo l1:3,7 altura, 2,50 metros largo l2: 3,50 metros altura 2,50 metros muros averiados l1: 4,00 metros l2:4,00 metros l3:3,10 metros l4:3,8 metros altura 3 metros
RURAL	CENTRO	Demolición. casa no habitable
URBANO	CENTRO	Muros en tapia pisada, averiados 3 muros l1 largo: 3,70 metros altura 3,20 metros l2 largo: 3,70 metros altura: 3,80 metros l3 largo: 3,70 metros altura: 3,80 metros.

URBANO	CENTRO	vivienda no habitable techo en buenas condiciones paredes con grietas transversales frente 12 metros por 4 metros de fondo altura 3 metros
URBANO	CENTRO	vivienda afectada un 90% 8 columnatas 2,50 metros 3 viguetas 5,50 metros 3 viguetas de 7 metros mampostería en muros de 5,50 x 1 metro de alto

Nota: Unidad Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (2015). Reportes de Viviendas afectadas. Betulia-Santander

La Unidad Nacional de Gestión de Riesgos realizaron una inspección en los lugares afectados lo cual determino los datos utilizados como registro de los daños causados por el sismo, a su vez determino que las viviendas sufrieron daños considerables en sus estructuras no contaban con las normas de sismo resistencia, por lo que se les brindó apoyo a las familias damnificadas.

Registro fotográfico de la inspección y visitas realizadas por la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos:



Figura 74. Evidencia de Visita de la UNGR en el municipio de Betulia- Santander.

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 75. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, se observa la mala calidad del diseño y materiales de la estructura.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 76. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, se observan grietas en muros y un mal diseño de cubierta.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 77. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, se observa la mala calidad del diseño y materiales de la estructura.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 78. Evidencia de visita realizada por la UNGR en el municipio de Betulia Santander
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 79. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, estado del suelo luego del sismo
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 80. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, estado del suelo luego del sismo.
Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.



Figura 81. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, falla en muro de tapia pisada con pérdida significativa de relleno, se observa la mala calidad del diseño y materiales de la estructura.

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 82. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, se observan grietas en muro del segundo piso de edificación

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 83. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander.

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander



Figura 84. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Betulia Santander, falla en muro de tapia pisada con refuerzo en madera.

Adaptado: Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander

3.2.4 Reporte Municipio de Los Santos. El día 10 de marzo de 2015, a las 3:58 pm aproximadamente se presentó un sismo que afectó algunos municipios del departamento de Santander, incluido el municipio de Los Santos, en el cual quedaron un gran número de viviendas inhabitables, y como consecuencia de lo anterior se declaró como zona de calamidad pública al municipio de Los Santos-Santander, como un requisito legal para poder asignar recursos y de esta forma reconstruir la zona. (Municipio de los Santos, 2015)

En el municipio de Los Santos se registraron 164 viviendas afectadas que se consideran habitables donde la Unidad Nacional de Riesgos realizó el trabajo de reconstruir esas viviendas. De acuerdo a los censos afectados y el trabajo delegado por la secretaria de Planeación Municipal y las entidades prenotadas, se diagnosticaron un total de 23 viviendas afectadas, las cuales quedaron en condiciones no habitables, por lo que tendrán que reconstruirse en su totalidad. (Municipio de los Santos, 2015)

Los informes técnicos rendidos por los Ingenieros, dan cuenta del diagnóstico de inhabitabilidad y peligro que presentan los inmuebles prenotados, en virtud de los cuales si se llega

a colapsar algunas de estas viviendas pondrían en riesgo la salud y vida de las personas que se encuentren cercanas a las mismas, incluido sus bienes. (Municipio de los Santos, 2015)

Se concluyó que se debe realizar la demolición controlada de las viviendas que se encuentran en riesgo de colapsar y que se declararon inhabilitarles y disponer de los escombros y un sitio apto para ellos. (Municipio de los Santos, 2015)

En el documento “**Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina**” realizado por el Ente Territorial se encuentran registradas 23 viviendas que serán demolidas para su reconstrucción, en el informe encontramos los daños de las casas y una breve descripción del sistema estructural de la vivienda, recopilaremos 10 los datos de 10 viviendas con el fin de tener una visión de cómo se comportaron estas edificaciones durante el sismo y el porqué de la magnitud de los daños que sufrieron. (Municipio de los Santos, 2015)

Tabla 28

Registro de daños y estado de viviendas que se van a demoler para reconstruir en el municipio de Los Santos Santander

VEREDA	PREDIO	DESCRIPCION DEL PREDIO	ESTADO
Laguna	El Guamo	Se trata de una vivienda elaborada en tapia pisada con las siguientes construcciones: 1 Habitación, 1 sala-comedor, corredor.	La construcción presenta grietas, partes caídas: las cuales según los informes se ocasionaron como consecuencia del sismo del 10 de marzo del 2015.
El portero	LOTE Numero SALDO	Se trata de una vivienda elaborada en adobe, con las siguientes construcciones: 3 Habitación, cocina, corredor.	La construcción presenta grietas severas, con debilitamiento de gran parte de la estructura: las cuales según los informes se ocasionaron como consecuencia del sismo del 10 de marzo del 2015.
La Purnia	El Naranjo	Se trata de una vivienda elaborada en tapia pisada, techo con las siguientes construcciones: 3 Habitación, cocina, corredor delantero y trasero, 1 baño.	La construcción presenta grietas severas, partes caídas y debilitamiento de gran parte de la estructura: las cuales según los informes se ocasionaron como consecuencia del sismo del 10 de marzo del 2015.

La Purnia	El Mango	Se trata de una vivienda elaborada en tapia pisada con caña, con las siguientes construcciones: 2 Habitación, cocina, comedor.	La construcción presenta grietas severas, partes caídas y debilitamiento de gran parte de la estructura: las cuales según los informes se ocasionaron como consecuencia del sismo del 10 de marzo del 2015.
El Potrero	Los Curos	Se trata de una vivienda elaborada en tapia pisada, con las siguientes construcciones: 1 Habitación, cocina, baño.	La construcción presenta grietas severas, con debilitamiento de gran parte de la estructura: las cuales según los informes se ocasionaron como consecuencia del sismo del 10 de marzo del 2015.
La Purnia	Hoyo Rico	Se trata de una vivienda elaborada en adobe, con las siguientes construcciones: 3 Habitación, sala-comedor, cocina, corredor delantero.	La construcción presenta grietas severas, partes caídas y debilitamiento de gran parte de la estructura: las cuales según los informes se ocasionaron como consecuencia del sismo del 10 de marzo del 2015.
El pozo	Pozo Amarillo	Se trata de una vivienda elaborada en tapia pisada, con las siguientes construcciones: 1 Habitación, cocina, corredor delantero.	La construcción presenta grietas severas, partes caídas y debilitamiento de gran parte de la estructura: las cuales según los informes se ocasionaron como consecuencia del sismo del 10 de marzo del 2015.
La Purnia	El Diamante	Se trata de una vivienda elaborada en adobe, con las siguientes construcciones: 2 Habitación, sala-comedor, cocina, corredor delantero.	La construcción presenta grietas severas, partes caídas y debilitamiento de gran parte de la estructura: las cuales según los informes se ocasionaron como consecuencia del sismo del 10 de marzo del 2015.
El Potrero	El Verde	Se trata de una vivienda elaborada en tapia pisada, con las siguientes construcciones: 2 Habitación, cocina, baño, corredor.	La construcción presenta grietas severas, partes caídas y debilitamiento de gran parte de la estructura: las cuales según los informes se ocasionaron como consecuencia del sismo del 10 de marzo del 2015.
El Potrero	Villa Hilda	Se trata de una vivienda elaborada en bereque y barro, con las siguientes construcciones: 2 Habitación, cocina, corredor.	La construcción presenta grietas severas, con debilitamiento de gran parte de la estructura: las cuales según los informes se ocasionaron como consecuencia del sismo del 10 de marzo del 2015.

Nota: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.

La Unidad Nacional de Gestión de Riesgos realizaron una inspección en los lugares afectados lo cual determino los datos utilizados como registro de los daños causados por el sismo, a su vez determino que las viviendas sufrieron daños considerables en sus estructuras no contaban con las normas de sismo resistencia, por lo que se les brindó apoyo a las familias damnificadas.



Figura 85. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, Muros de tapia pisada desprendiéndose por falta de conexiones.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 86. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, efecto en la cubierta por mal diseño de esta.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 87. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, efecto en muro de tapia con pérdida de relleno.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 88. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, efecto en muro de tapia pisada por mala conexión con elemento de cubierta.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 89. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, Muro que falla por deflexión perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 90. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, daños en muro interior de tapia pisada y madera, con pérdida de material.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 91. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, se observa falta de diseño estructural en la cubierta y muros de ladrillo sin confinamiento.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 92. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos-Santander, Daños en muro interno de tapia pisada.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 93. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, Grieta en muro de tapia pisada con pérdida de relleno significativa.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 94. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, grieta en muro de tapia pisada.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.)



Figura 95. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, perdida de recubrimiento y relleno del 50% del muro exterior de tapia pisada.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 96. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, grietas en losa interior de vivienda.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 97. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, grietas de losa exterior de vivienda.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 98. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, grietas verticales en muro de tapia pisada que había sido reparado con anterioridad al suceso.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 99. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, se observa deterioro en muro de tapia debido a la calidad del material y grietas ocasionadas por el sismo.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 100 . Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, rasgos de humedad y deterioro del material, grietas de tamaño significativo.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 101. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, grietas en losa interior de vivienda.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 102. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, casa parcialmente destruida después del sismo.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.



Figura 103. Evidencia del estado de las edificaciones después del sismo del 10 de marzo del 2015 en Los Santos Santander, muros de ladrillo sin confinamiento y conexiones separándose a punto de colapsar.

Adaptado: Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.

3.3 Registro total de los municipios de Betulia, Rionegro, el Área Metropolitana de Bucaramanga y Los Santos.

Según la información recopilada de los informes periodísticos, de las respectivas alcaldías y de los reportes realizados por la UNGR (Unidad Nacional de Gestión de Riesgos), se obtuvieron los siguientes registros de daños en los municipios.

3.3.1 Total de casas afectadas por municipio. según los informes se obtuvieron datos acerca del total de casas que fueron afectadas por el sismo del 10 de marzo del 2015 que según los registros de la RSNC (Red Sismológica Nacional de Colombia) ha sido el de mayor magnitud en el periodo de tiempo estudiado y que la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos tenga reporte de daños significativos en los municipios pertenecientes a la zona de estudio.

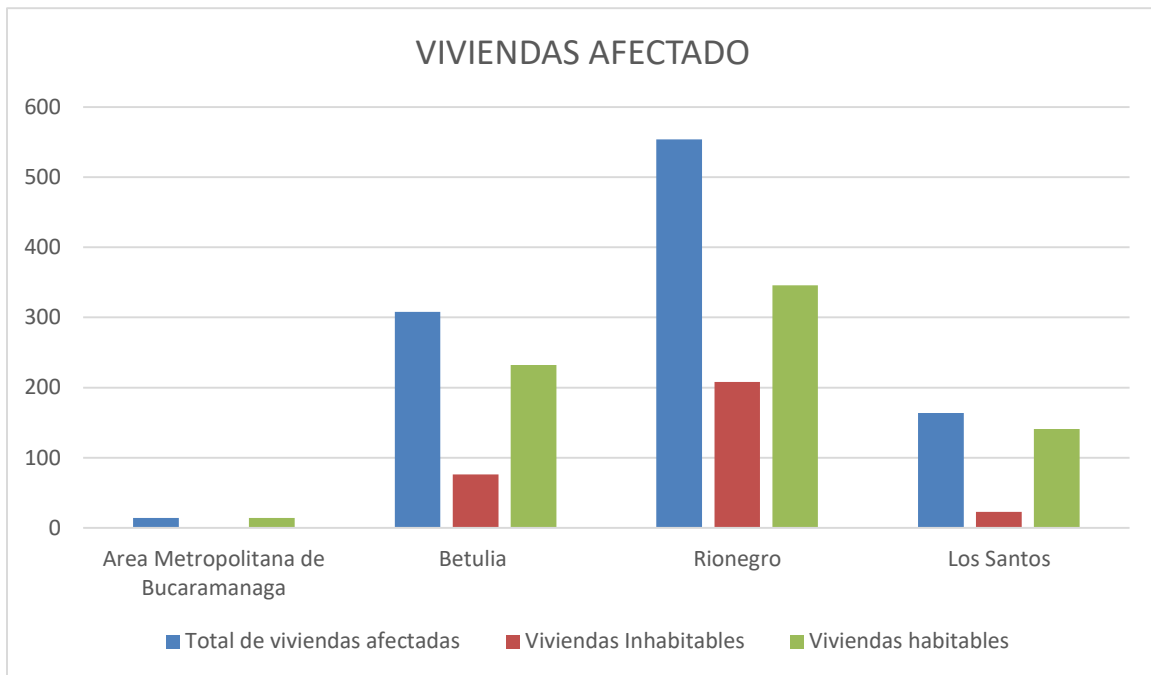


Figura 104. Total, de viviendas afectadas en los municipios de Rionegro, Betulia, Los santos y el Área metropolitana de Bucaramanga.

En la gráfica podemos observar el total de viviendas afectadas por el sismo del 10 de marzo del 2015 en los municipios de estudio, y cuantas de estas según los informes de los ingenieros que realizaron en diagnóstico de daños de estas viviendas quedaron inhabitables y presenten un riesgo para sus moradores, así como para sus vecinos, y cuantas de estas viviendas tuvieron daños leves o moderados y su diagnóstico fue habitables.

Como los municipios de Betulia y Rionegro fueron los más afectados en nuestra zona de estudio realizamos estas gráficas para tener una visión más amplia de las viviendas afectadas y averiadas, en ellas podemos observar la cantidad de viviendas que quedaron inhabitables, así como

las que tuvieron daños leves o moderados y comprarlo con el total de viviendas afectadas de cada uno de los municipios.

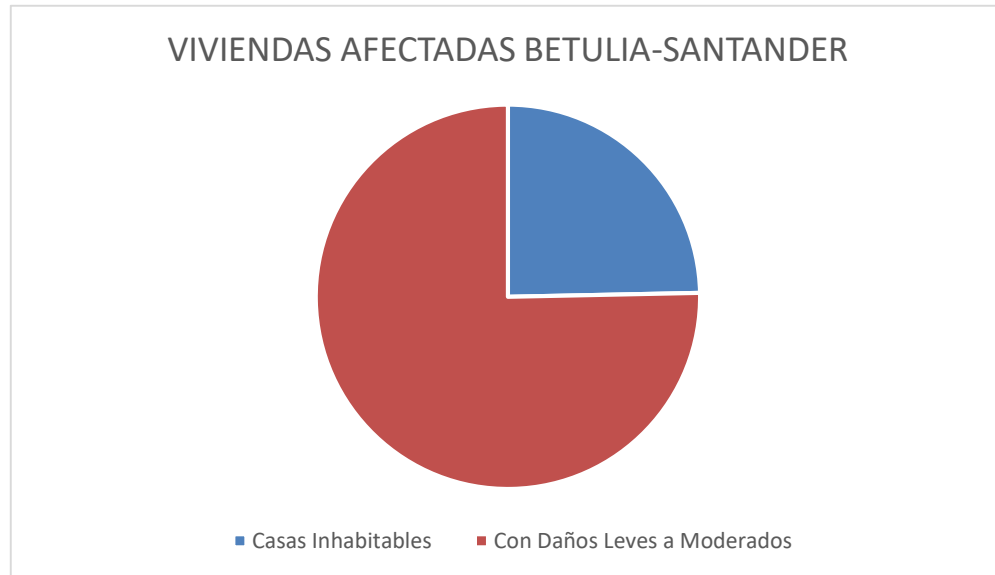


Figura 105. Viviendas afectadas en Betulia-Santander.

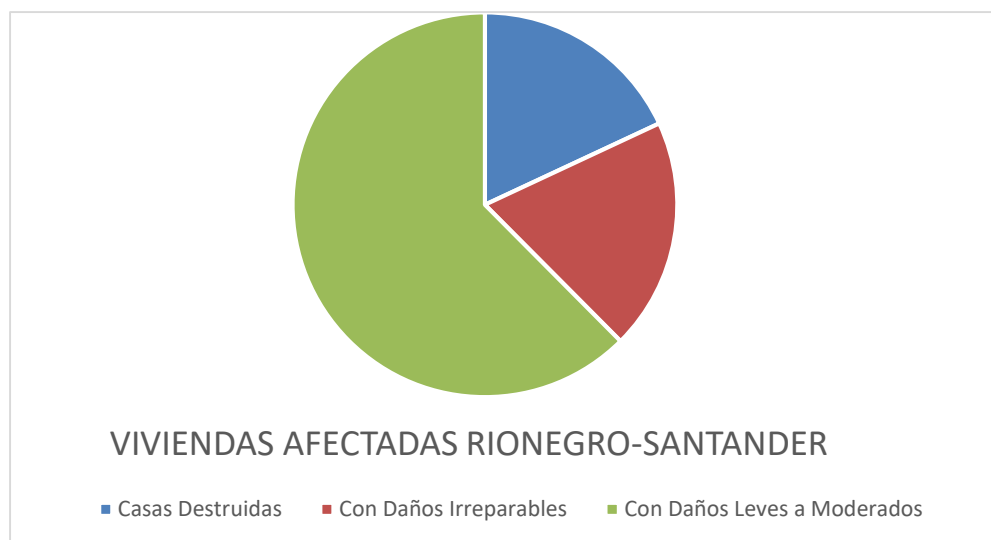


Figura 106. Viviendas afectadas en Rionegro-Santander.

El sismo que se sintió en gran parte del territorio nacional el 10 de marzo del 2015, genero mayor afectación en Santander y Norte de Santander. Desde el mismo día de la emergencia, el sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, en cabeza de la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres, llegó a Betulia para hacer las inspecciones iniciales.

Una de las primeras medidas adoptadas fue la declaración de calamidad pública para actuar de manera inmediata y brindarles ayuda necesaria a los afectados.

Para la asistencia Humanitaria de emergencia (AME) se destinaron 46.287 millones de pesos, para 3,419 familias de los municipios afectados. Las viviendas sufrieron daños considerables en sus estructuras a su vez no contaban con las normas sismo resistentes, por lo que se les brindó apoyo a las familias damnificadas, brindando subsidios de arriendo y viviendas nuevas.

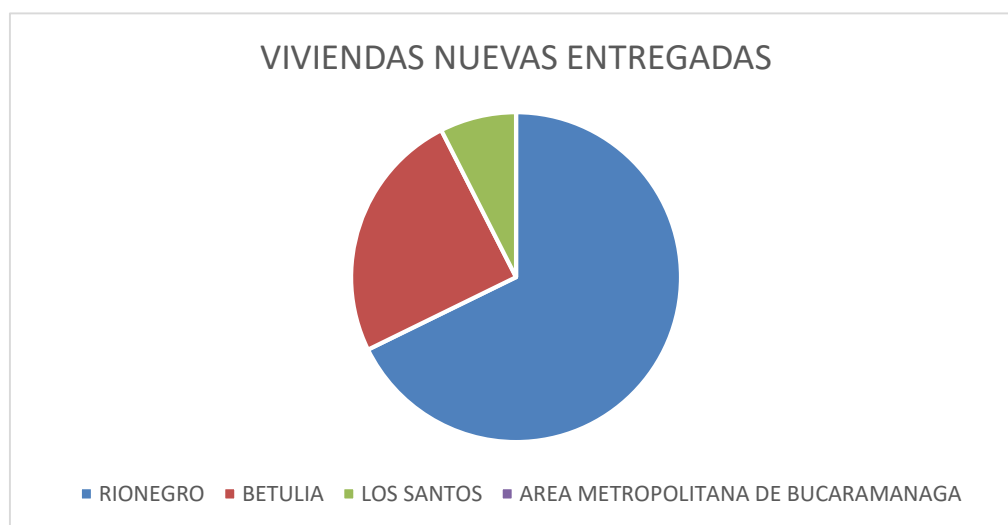


Figura 107. Viviendas nuevas entregadas tras el sismo del 10 de marzo del 2015.

3.3.2 Clasificación del estado de las estructuras afectadas según la NSR-10 Título A.

Se realizó una calificación del estado de las estructuras de las edificaciones, gracias al registro fotográfico y la base de datos suministrada por la UNGR (Unidad Nacional de Gestión de Riesgos

de Desastres), y nos basamos en aspectos que pudo afectar el sismo tales como: fisuraciones, asentamientos diferenciales, deflexiones excesivas, estados de elementos de unión y otros elementos que permitan determinar su estado. El estado de la estructura debe clasificarse como Bueno, regular o malo.

La clasificación se le realizó a las estructuras que se lograron evidenciar en la información obtenida para su respectivo estudio.

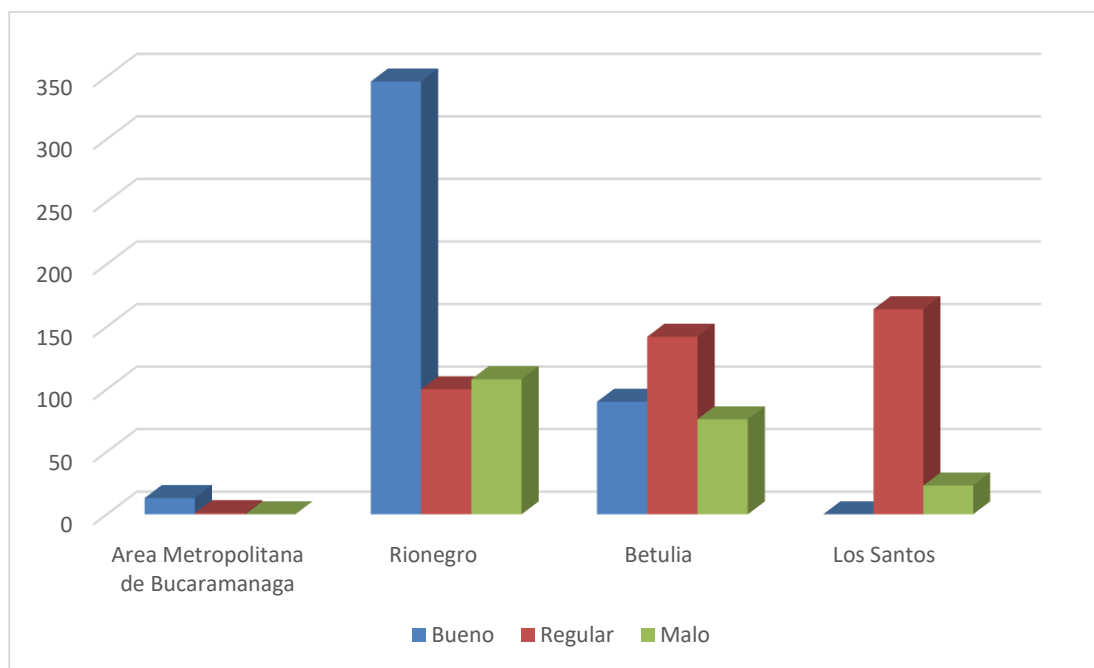


Figura 108. Clasificación del estado de las viviendas según el NSR-10 título A.

4. Conclusiones

El territorio del área Metropolitana de Bucaramanga se encuentra en un racimo de sismos que se denomina “Nido Sísmico de Bucaramanga” que según muchos estudios se encuentra aproximadamente a 150 kilómetros de profundidad y a 50 kilómetros al sur de la capital de Santander, por esta razón, la actividad sísmica que se produce no ha tenido grandes consecuencias en su área de influencia. Sin embargo, el nido sísmico de Bucaramanga no ha sido explorado y estudiado lo suficiente lo que crea aún mantiene muchas incógnitas abiertas.

Se evidencio que al comparar el total de viviendas afectadas entre los municipios los lugares más afectados fueron Rionegro y Betulia, al realizar el análisis de la evidencia fotográfica y los registro, podemos notar que la mayoría de las edificaciones de estos municipios son estructuras antiguas y construidas en adobe o tapia pisada, eran estructuras que se encontraban en un nivel de deterioro provocado por su antigüedad, lo cual aumento su vulnerabilidad.

En la Mesa de los Santos gracias al registro fotográfico se observó que las viviendas más afectadas estaban construidas en Tapia pisada, adobe o barro, lo cual nos confirma una vez más la vulnerabilidad sísmica de las construcciones en tapia pisada, adicionalmente, este tipo de edificaciones posee un sistema estructural inadecuado, sin conexiones entre muros, luces muy largas y entrepisos y cubiertas pesados, para su capacidad de soporte.

En el área Metropolitana de Bucaramanga, una de las zonas que menos sufrió daños, se reportaron aproximadamente 14 edificaciones afectadas, entre las que se encuentran edificaciones antiguas y que no cumplían con los requisitos que exige la NSR-10 y la mayoría de las viviendas afectadas puede ser rehabilitadas ya que sufrieron daños leves, en las viviendas de muros no confinados es necesario en algunos casos realizar reforzamiento estructural.

La inversión de recursos en la construcción y diseño de las viviendas, por parte de los propietarios, al no contar con el solvento económico adecuado influyo en la falta de diseños y mala calidad de los materiales al momento de construir dichas viviendas y por esto no cumplen con los requisitos mínimos exigidos por la NSR-10 la norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, vigente.

Teniendo en cuenta la alta actividad sísmica del nudo de la Mesa de los Santos y la vulnerabilidad evidenciada en las viviendas de los municipios de su área de influencia, especialmente Betulia, Rionegro y la Mesa de los santos, es importante establecer un plan de monitoreo que permita identificar los daños asociados a cada evento sísmico futuro, al menos en el casco urbano de cada municipio.

5. Recomendaciones

Al realizar la recopilación de datos se observa que en los municipios de Betulia y Rionegro son los más afectados así como el municipio de Los Santos, y gracias al registro fotográfico podemos determinar que la mayoría de viviendas afectadas por los sismos en Santander son aquellas construidas en material de tierra, tapia pisada o adobe, y en mampostería no confinada, ya que en estos municipios estas viviendas ocupan un gran porcentaje y estas así como las construcciones históricas pertenecen al grupo más vulnerable ante los sismos, debido a estas circunstancias es necesario ejecutar estudios de riesgo sísmico en estos municipios y evaluar la vulnerabilidad sísmica de sus viviendas y de sus edificios históricos, se recomienda realizar un monitoreo para partir de un punto base y obtener indicadores del daño esperado que permitan a las autoridades respectivas tomar las medidas necesarias para la prevención de desastres.

Como en estos municipios la alternativa más común es la construcción con tierra, pues el material es abundante y barato. La construcción tradicional de viviendas de tierra se realiza sin supervisión ni asesoría técnica, la calidad de estas construcciones generalmente es muy baja y como esta es zona de amenaza sísmica, se pueden observar pérdidas significativas debido a esto.

Es factible convertir o reforzar una construcción existente de mampostería de tierra simple (adobe o tapia), en una de tierra armada, mediante mallas exteriores compatibles con el material, con esto se reducirá el inaceptable riesgo sísmico de los cientos de personas de estos municipios cuya única alternativa es vivir en estas casas de tierra.

Para la construcción de nuevas casas en tierra es óptimo la integración entre la tierra y los refuerzos ya que permite un comportamiento adecuado de los muros en su fase inelástica. Entonces, los muros trabajan fisurados y las mallas de refuerzo controlan la expansión de las

fisuras y el desprendimiento de pedazos de muro. La falla de los muros de tierra armada entonces no es frágil y se produce sin colapso sísmico. El diseño de edificaciones en tierra armada debe realizarse en muros anchos, poco esbeltos, plantas con habitaciones de preferencia cuadradas, distribución simétrica, y ventanas centradas y pequeñas. (Blondet, Vargas, Tarque & Iwaki, 2011)

Con el objetivo de identificar potenciales colapsos es necesario realizar el monitoreo de estas viviendas de alta vulnerabilidad, tanto por su diseño, calidad de materiales como por su ubicación en una zona de amenaza sísmica alta.

Referencias Bibliográficas

- Abreo, G.J. y Arguello, S.A. (2003). Caracterización dinámica de las edificaciones ubicadas en el sector de Ciudadela Real de Minas (Bucaramanga). (Tesis de pregrado), Escuela de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- Alcaldía de Bucaramanga (1999). Plan de ordenamiento territorial, Municipio de Bucaramanga. Bucaramanga
- Alcaldía de Betulia (2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.
- Alcaldía de Floridablanca (Floridablanca. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Floridablanca-Santander.
- Alcaldía de Los Santos (2015). Acta Diligencia de Demolición Sobre Vivienda No Habitable y en Estado de Ruina. Los Santos-Santander.
- Alcaldía de Los Santos (Los Santos. 2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Los Santos-Santander.
- Alcaldía de Rionegro (Rionegro,.2015). Galería Fotográfica del reporte de daños provocados por el sismo del 10 de marzo del 2015. Rionegro-Santander.
- Alfonso, C., Sácks, E, Secor, D., Rine, J., Pérez, y., 1994. A tertiary fold and thrust belt in the Valle del Cauca basin, Colombian Andes. *Jaur. So. Am Ea. Sé.*, 7(4), págs. 387-402.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Normas colombianas de Diseño y Construcciones Sismo-Resistentes, NSR-10, Bogotá.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica -- AIS (2003). Manual de Campo Para La inspección de Edificaciones Después de un sismo. Manizales: Oficina Municipal para la prevención y atención de Desastres.

Astorga, A. and Rivero, P. (2019). Patologías En Las Edificaciones. In: Centro de Investigación en gestión integral de Riesgos.

Baez, A. (2015). . Analisis de estructuras II. Recuperado de: http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/civil/analisisestructuralII/GuiaDeEstudio/PDF/Unidas_1_P1.pdf].

Bembibre, C. (2010). Definición de Sismo. Definición ABC. Recuperado de: <https://www.definicionabc.com/geografia/sismo.php>

Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaki, C. (2011). Construcción sismo resistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Informes De La Construcción, 63(523), 41-50.

BLU radio (2015). Entregan primeras casas a damnificados por sismo en Santander. p.una patina. Recuperado de: <https://www.bluradio.com/119381/entregan-primeras-casas-damnificados-por-sismo-en-santander>

Bolívar Garcia, W. (2015). Inversiones para reparar daños causados por sismo en Santander ascienden a \$23.000 millones. 15 UNAB, [online] p.una patina. Recuperado de: <http://periodico15unab.blogspot.com/2015/04/inversiones-para-reparar-danos-causados.html>

- Cano Castro, G. and Martínez Cruz, E. (n.d.). Estudio de daños estructurales y no estructurales de las viviendas ubicadas sobre el eje vial de la Avenida Los Patriotas. In: Daños Estructurales.
- Chiarabba, C., De Gori, P., Faccenna, C., Speranza, F., Seccia, D., Dionicio, V., & Prieto, G. (2016). Subduction system and flat slab beneath the Eastern Cordillera of Colombia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17(1), 16-27. doi: 10.1002/2015
- Cortes, M. and Angelier, J. (2005). Paleostress evolution of the northern Andes (Eastern Cordillera of Colombia): Implications on plate kinematics of the South Caribbean region. In: *TECTONICS*, 24th ed.
- Cruz H, R. and Cortes, W. (2002). Evaluación Sismo Resistente De Edificaciones Ántiguas De Tapia Pisada De Adobe. In: *Uis Ingenierias*, 1st Ed. Pp.51-57.
- Duarte, G. (2010). Definición de Sismicidad. Definición ABC. Recuperado de: <https://www.definicionabc.com/ciencia/sismicidad.php> [Accessed 15 Feb. 2019].
- El Tiempo (2015). En Santander hay 17 municipios afectados por el fuerte sismo. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15375178>
- El Tiempo (2015). En Rionegro (Santander) el temblor destruyó 100 viviendas. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15377975>
- El Universal (2015). Temblor de ayer fue el más fuerte en 50 años. Recuperado de: <https://www.eluniversal.com.co/colombia/temblor-de-ayer-fue-el-mas-fuerte-en-50-anos-187221-HBEU285772>

- Eraso, J. (2015). Actividad Sísmica y su monitoreo, orientado a la gestión del riesgo de desastres en Santander. In: Estimación De La Amenaza Sísmica En Colombia. Servicio Geológico Colombiano.
- Fernández Castanys, M. (n.d.). Daños producidos por terremotos. Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres.
- Gil M, Z. (2015) Evaluación de daño estructural post-sismo en edificaciones. Especialización en Estructuras. Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito.
- Guzmán, J. and Vela, Y. (2015). Determinación de la amenaza sísmica en Santander mediante el análisis de valores extremos. Ingeniería catastral y geodesia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Grünthal G. (1998), “Escala Macro sísmica europea (EMS)”, Consejo Europeo, Notas del Centro Europeo de Geodinámica y Sismología.
- Jaimes Botia, S. (n.d.). El Proyecto “La Ciudadela Real De Minas De Bucaramanga”: Una Frontera Del Conocimiento De La Arquitectura Moderna En Colombia. Máster Oficial en Teoría e Historia de la Arquitectura.
- Maldonado Rondon, E. and Chio Cho, G. (2005). Identificación De Las Zonas Sísmicamente Más Vulnerables En La Ciudad De Bucaramanga. In: UIS Ingenierías, 4th ed.
- Maldonado Rondon, E., Chio Cho, G. and Gomez Araujo, I. (2007). Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos. In: Ingeniería y Universidad, 11th ed.

- Maldonado Rondón, E. and Chío Che, G. (2007). Visión estructural de las edificaciones de la ciudad de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia: Univ. Industrial de Santander, Faca. de Ingenierías Fisicomecánicas.
- Moreno González, C. (2014). Análisis De Daños Estructurales Causados Por Sismos En Escuelas Públicas De Rep. Dom. Master Tecnología De La Arquitectura Construcción Arquitectónica- Innovación Tecnológica. Universidad Politécnica De Cataluña.
- Navarro, J. (2015). Definición de Sismología. [online] Definición ABC. Recuperado de: <https://www.definicionabc.com/ciencia/sismologia.php>
- París, G., Romero, .1., (1994). Fallas activas en Colombia. Boletín Geológico n° 34(1- 3), INGEOMINAS, Bogotá, 42 págs.
- París, G., Marín, W., Romero, J., Wagner, J., (1989). Actividad geotectónica en el suroccidente de Colombia. Mem. So. Cong. Col. Geol., Bucaramanga, págs. 193- 213.
- Pennington, W. (n.d.). The subduction of the eastern Panama Basin and the seismotectonics of northwestern South America.
- Pinzón, L. (2016). Mantienen alerta amarilla por sismos en Santander. RADIO Nacional de Colombia, Recuperado de: <https://www.radionacional.co/noticia/regiones/mantienen-alerta-amarilla-sismos-santander>
- Prieto, G., Florez, M., Barrera, S., Beroza, G., Blanco, P. and Proveda, E. (2013). Seismic evidence for thermal runaway during intermediate-depth earthquake rupture. In: Geophysical Research Letters, 1st ed.

Quintero, F. and Jaramillo, M. (2019). El drama que viven en Rionegro y Betulia los afectados por el temblor. EL TIEMPO. Recuperado de:

<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15382237>

RCN Radio (2015). En Rionegro, Santander, el temblor destruyó 100 casas. Recuperado de: <https://www.rcnradio.com/colombia/en-rionegro-santander-el-temblor-destruyo-100-casas-198504>

RCN Radio (2018). Temblor de 5.8 en Santander ocasionó daños en viviendas. Recuperado de: <https://www.rcnradio.com/colombia/santanderes/temblor-de-58-en-santanderocasiono-danos-en-viviendas?fbclid=IwAR2szNHEu4zFZih2AZie6CrwRSNiFhtAiqvJq1rDWJ7Y3etW0qVDe9n5xgg>

Rivera, La., (1989). Inversión du tenseur de contraintes á partir des données de polatité pour une population de séismes. Aplication au Nid de Bucaramanga. PhD thesis, IPGS, France. 266 págs

Sarabia, (2015). Foro Actividad Sismica y su Monitoreo, orientado a la gestión del riesgo de desastres en Santander, Bucaramanga.

Schneider, J. E, Pennington, W. D., Meyer, R., (1984). Microseismicity and focal mechanisms of the intermediate-depth Bucaramanga Nest, Colombia. Journ. Geoph. Res., 92th ed.

Suarez Diaz, J. (2001). Aspectos Generales De Amenaza Sísmica De Bucaramanga.

Suárez, O., Molnar, P., Bijrcfjfiel, B., 1983. Seismicity, fault plane solutions, depth of faulting, and active tectonics of Perú, Ecuador, and Southern Colombia. *Journ. Geoph. Res.*, V. 88, B12, págs. 10.403-10.428.

Suarez, J. (2017). Capítulo 2. Fallas Geológicas y Sismos. [online] Erosion.com.co. Available at: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/168-cap-2-amenaza-sismica.html> [Accessed 16 Jan. 2019].

Suarez, J. (2017). Capítulo 3. Segmentación de fallas geológicas para análisis de amenaza sísmica. Erosion.com.co. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/166-cap-3-amenaza-sismica.html>

Suarez, J. (2017). Capítulo 4. Método Determinístico. Erosion.com.co. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/165-cap-4-amenaza-sismica.html>.

Suarez, J. (2017). Capítulo 5. Método Probabilístico. Erosion.com.co. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/164-cap-5-amenaza-simica.html>.

Suarez, J. (2017). Capítulo 6. Teorías de la evolución tectónica del Nororiente de Colombia. Erosion.com.co. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/163-cap-6-amenaza-sismica.html>

Suarez, J. (2017). Capítulo 7. La situación tectónica actual de la cordillera oriental. Erosion.com.co. Recuperado de: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/162-cap-7-amenaza-sismica.html>

- Suarez, J. (2017). Capítulo 8. El nido de Bucaramanga. Erosion.com.co. Recuperado de:
<http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/161-cap-8-amenaza-sismica.html>
- Suarez, J. (2017). Capítulo 9. La formación Bucaramanga. Erosion.com.co. Recuperado de:
<http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/160-cap-9-amenaza-sismica.html>
- Suarez, J. (2017). Capítulo 10. Propiedades dinámicas de los suelos. Erosion.com.co. Recuperado de:
<http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/159-cap-10-amenaza-sismica.html>
- Suarez, J. (2017). Capítulo 14. Comportamiento sísmico de los suelos. Erosion.com.co. Recuperado de:
<http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/155-cap-14-amenaza-sismica.html>
- Suarez, J. (2017). Capítulo 16. Comportamiento sísmico de las estructuras. Erosion.com.co. Available at: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica/153-cap16-amenaza-sismica.html>
- Taboada, A., Fuenzaltda, A., Rivera, L., Pnílíp, E., Cisternas, A., Salamanca, H., EMARDo, O. (nd). Intermediate seismicity of the Bucaramanga Nest and continental subduction under the eastem Cordillera, Colombia
- Taboada, A., Rivera, L., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J. and Rivera, C. (2000). Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). In: Tectonics, 19th ed.

Unidad Nacional de Gestion de Riesgos de desastres (2019). Reporte de viviendas afectadas. Los Santos-Santander.

Unidad Nacional de Gestion de Riesgos de Desastres (2015). Reportes de Viviendas afectadas. Betulia-Santander.

Vanguardia (2015). Fuerte sismo sacudió a Bucaramanga. p.una patina. Recuperado de: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/fuerte-sismo-sacudio-a-bucaramanga-lav1302687>

Vanguardia (2015). Sismo destruyó 100 casas en el municipio de Rionegro p.una patina Recuperado de: <https://www.vanguardia.com/santander/region/sismo-destruyo-100-casas-en-el-municipio-de-rionegro-NAVL302807>

Vanguardia (2016). El temblor más fuerte en medio siglo en Santander. [online] p.una patina. Recuperado de: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/el-temblor-mas-fuerte-en-medio-siglo-en-santander-GDVL350457>

Vanguardia (2015). Daños que dejó el temblor en Santander. una página. Recuperado de: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/imagenes-de-los-danos-que-dejo-el-temblor-en-santander->.

Yamin Lacouture, L., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J. and Ruiz Valencia, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. In: APUNTES, 20th ed.