

Universidad Central

Tesis de Grado

Evaluación del riesgo sísmico y vulcanológico, vulnerabilidad
del distrito de Santa Cruz, cantón de Turrialba, provincia de
Cartago

Licenciatura en Ingeniería Civil

Autor

Jarlim Gerardo Rojas Fallas

Tutor

Luis Miguel González González

Abril 2011

Universidad Central

Evaluación del riesgo sísmico y vulcanológico, vulnerabilidad del distrito de Santa Cruz, cantón de Turrialba, provincia de Cartago

Por:

Jarlim Gerardo Rojas Fallas

Tesis sometida y aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Licenciatura en Ingeniería Civil y el Comité Evaluador de la Universidad Central, como requisito para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

TRIBUNAL EXAMINADOR

Ing. Luis Miguel González González
Tutor

Ing. Allan Barboza Arguedas
Lector

Ing. Rolando Castro Steller
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Jarlim Gerardo Rojas Fallas
Candidato

DECLARACIÓN JURADA

Yo Jarlim Gerardo Rojas Fallas, mayor, con cédula de identidad 2-517-102, de profesión u oficio diplomado en construcción, vecino de La Garita de Alajuela, en mi calidad de estudiante, quien bajo la fe del juramento, rindo declaración en este acto y bajo el apercibimiento de las penas establecidas por el delito de falso testimonio manifiesto:

Que el tema elegido para presentar el proyecto de tesis para obtener la Licenciatura en Ingeniería Civil, denominado “Evaluación de Riesgo Sísmico y Vulcanológico, Vulnerabilidad del Distrito de Santa Cruz, Cantón de Turrialba, Provincia de Cartago”, es un tema elegido pensando en colaborar con la prevención y atención de catástrofes; es el producto de una investigación propia y no un plagio o copia de un estudio realizado anteriormente. Es todo.

En fe de lo anterior, firmo en San José a las 14:00 horas del día 06 de mayo del 2011.

Atentamente;

Jarlim Gerardo Rojas Fallas

Cédula: 2-0517-0102

4 de mayo 2011

Carta del Filólogo

Señores Universidad
Central

Estimados señores :

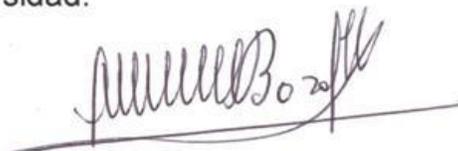
El alumno Jarlin Rojas Fallas me ha entregado el trabajo de investigación para obtener la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Mi labor consiste en revisar la ortografía, la redacción y el contenido de la investigación.

El título es " **Evaluación del riesgo sísmico y vulcanológico, vulnerabilidad del distrito de Santa Cruz, cantón de Turrialba, provincia de Cartago** " .

Por lo tanto , hago constar que este trabajo se encuentra listo para ser presentado a la Universidad.

Atentamente.



Prof. Mario Boza Chacón

Cédula 1-358-444

Afiliado al Colegio de Licenciados y Profesores

Carné 5034

Dedicatoria

A mis ángeles, Génesis, Nazaret y Emmanuel, mi inspiración y fortaleza desde donde se encuentren.

Jarlim R.

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios, porque sin sus bendiciones no podríamos alcanzar nuestros objetivos.

A los amigos y compañeros que colaboraron para que este trabajo de investigación concluyera con éxito.

Un agradecimiento especial al Lic. Franklin Saborío, por su apoyo y los conocimientos transmitidos. Al Sr. Leonardo Malavassi, al Ing. Gustavo Jimenez, al Ing. Oscar Marengo y a mi Sra. Ana Grace, por haber dedicado parte de su tiempo y conocimientos para la elaboración de este trabajo.

Al personal de instituciones como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Red Sismológica Nacional (ICE-UCR), y otras, por haber facilitado información valiosa para realizar esta investigación.

A la Universidad Central, sobre todo a la escuela de Ingeniería Civil, por la educación lograda durante este período como estudiante.

CONTENIDO

CAPÍTULO I INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	5
1.1 Identificación del problema, objeto de investigación	5
1.2 Importancia de la Investigación	6
1.3 Formulación de Hipótesis	8
1.4 Objetivos	8
1.4.1 General	8
1.4.2 Específicos	9
1.5 Alcances y Limitaciones del Tema	10
1.6 Procedimientos para recopilación de Información	10
1.7 Formulario de trabajo de campo	11
1.8 Métodos para Análisis de la Información	11
1.9 Metodología de evaluación implementada	12
CAPÍTULO II INFORMACIÓN SÍSMICA Y VULCANOLÓGICA GENERAL	13
2.1 Información sobre Placas Tectónicas y Fallas Locales	13
2.1.1 Placa Tectónica	13
2.1.1.1 Tipos de placas	13
2.1.2 Subducción	15
2.1.3 Fallas Locales	16
2.1.3.1 Partes de una falla	21
2.2 Información Vulcanológica	22
2.2.1 Formación de los volcanes	22
2.2.2 Volcanes más comunes	26
2.2.3 Tipos de erupciones volcánicas	28
2.2.4 Medición de las erupciones volcánicas	29
2.2.5 Los peligros de un volcán	30
2.2.6 Composición de los materiales expulsados por los volcanes	33
2.2.6.1 Lluvia ácida	33
2.2.6.2 Lavas	34
2.2.6.3 Materiales piroclásticos	34
2.2.6.4 Flujos piroclásticos	35

2.2.6.5 Flujos de lodo Volcánico/Lahares.....	35
2.3 Vulcanismo asociado a placas tectónicas.....	36
2.4 Sismos, su origen y consecuencias	37
2.4.1 Tipos de sismos.....	37
2.4.2 Amenazas de los sismos.....	38
2.4.2.1 Principal amenaza de los sismos	38
2.4.2.2 Amenazas secundarias asociadas con sismos	39
2.4.2.3 Actividad sísmica en volcanes	39
2.4.2.4 Significado de las señales sísmicas de los volcanes.....	40
2.5 Escalas utilizadas para la medición de eventos sísmicos	41
2.5.1 Escala Richter	41
2.5.2 Escala Mercalli.....	44
2.5.2.1 Escala de Mercalli Modificada	44
2.5.2.2 Otras escalas de intensidad	46
2.6 Terminología asociada a los sismos.....	47
2.7 Tipos y características de ondas sísmicas	51
2.7.1 Tipos de ondas sísmicas.....	51
2.7.2 Características de las ondas sísmicas	53
2.7.2.1 Amplitud, longitud y dirección de las ondas.....	53
2.7.2.2 Frecuencia y período.....	54
2.7.2.3 Transporte de energía y amplitud.....	54
2.7.2.4 Velocidad de la onda.....	55
2.7.2.5 Secuencia del movimiento de las ondas sísmicas	55
2.7.2.6 Radiación producto de los sismos	56
2.7.2.7 Registros más comunes de ondas sísmicas	57
2.7.2.8 Interacción de las ondas sísmicas con el suelo y su afectación a las estructuras	58
2.8 Conceptos de amenaza, vulnerabilidad, riesgo y desastre	62
CAPÍTULO III. GEODINÁMICA DE LA ZONA Y ANTECEDENTES.....	65
3.1 Régimen Sísmico	66
3.1.1 Sismos Destructivos (1800- 1999).....	71
3.1.2 Fallas Importantes para la zona de estudio	73
3.1.2.1 Fallas de la región y sus características.....	73

3.1.2.2 Fallas con longitud mayor que 5 km	75
3.1.2.3 Fallas próximas a la zona de estudio.....	76
3.1.2.4 Sismicidad histórica asociada a estas fallas	83
3.2 Régimen Vulcanológico.....	85
3.2.1 Modelo Neotectónico.....	85
3.2.2 Análisis de las cenizas y lluvia ácida expulsadas por el Volcán Turrialba	88
3.2.3 Interpretación de la actividad actual del Volcán Turrialba	89
CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	92
4.1 Ubicación	92
4.2 Distribución de los poblados aledaños al Volcán Turrialba.....	93
4.3 Determinación de la zona de estudio	94
4.4 Geomorfología y Suelo	95
4.5 Demografía de Santa Cruz de Turrialba.....	98
4.5.1 Distribución de vivienda y ocupantes	101
4.5.2 Distribución de habitantes por edad.....	103
4.5.3 Indicadores sociales	105
4.5.4 Población y actividad económica.....	106
4.6 Actividad económica de la zona	109
4.6.1 Actividad económica láctea	110
CAPÍTULO V. ANÁLISIS HISTÓRICO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO	112
5.1 Amenazas naturales	112
5.2 Amenaza Sísmica.....	112
5.2.1 Temblor de Turrialba del 19 de noviembre de 1948 (7.0 ML)	114
5.2.2 Distribución Geográfica.....	114
5.2.3 Macrozonificación Sísmica.....	115
5.2.3.1 Definición de zonas fuente.....	115
5.2.3.2 Caracterización de las zonas fuente	115
5.2.3.4 Aceleración máxima del suelo en Costa Rica para un período de retorno de 500 años.....	115
5.2.3.5 Atenuación de la vibración del suelo	120
5.2.4 Microzonificación Sísmica	122
5.2.4.1 Determinar respuesta local.....	122
5.2.4.2 Amplificación debida a condiciones locales (Suelo/topografía).....	123

5.2.4.3 Amenazas Secundarias.....	123
5.2.4.4 Relación con edificios.....	125
5.3 Amenaza Volcánica	125
5.3.1 Amenaza volcánica en la zona del Volcán Turrialba.....	128
5.3.2 Amenaza volcánica asociada a sismos en el graben del Volcán Turrialba	131
5.3.3 Amenaza volcánica por deslizamientos	132
5.3.4 Amenaza volcánica por lava	133
5.3.5 Amenaza por Flujos Piroclásticos.....	134
5.3.6 Amenaza por lahares.....	135
5.3.7 Amenaza volcánica por ceniza y lluvia ácida	135
5.4 Efectos en la salud	136
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS ACTUAL DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO	138
6.1 Evaluación de Fenómenos Sísmicos	142
6.2 Fotointerpretación y definición de cuadrantes	144
6.2.1 Poblado de Santa Cruz	146
6.2.2 Poblado de El Carmen.....	149
6.2.3 Poblado de San Antonio.....	150
6.2.4 Poblado de La Pastora.....	152
6.3 Evaluación de la infraestructura por medio del formulario ATC-20	154
6.3.1 Poblado de Santa Cruz	155
6.3.2 Poblado de El Carmen.....	158
6.3.3 Poblado de San Antonio.....	160
6.3.4 Poblado de La Pastora.....	163
6.4 Vulnerabilidad de la infraestructura ante fenómenos sísmicos.....	166
6.4.1 Amenaza por sismos	166
6.4.2 Vulnerabilidad sísmica de la zona.....	169
6.5 Curvas de fragilidad y estimación de daños.....	175
6.5.1 Tanques de concreto.....	177
6.5.2 Tuberías.....	178
6.5.3 Líneas eléctricas y telefónicas.....	179
6.5.4 Sistemas de comunicación	180
6.5.5 Vías terrestres.....	181

6.5.6 Puentes	182
6.5.7 Viviendas de bahareque	183
6.5.8 Viviendas de ferrocemento	184
6.5.9 Determinación del índice de daño esperado.....	185
6.5.10 Factor de colapso	186
CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE RIESGO VULCANOLÓGICO	189
7.1 Análisis del Índice de Erupciones Volcánicas (VEI).....	189
7.2 Análisis del comportamiento del Volcán Turrialba	192
7.3 Pronóstico del comportamiento del Volcán Turrialba	196
CAPÍTULO VIII. ESTIMACIÓN DE RIESGOS, DAÑOS Y PÉRDIDAS	198
8.1 Efectos en los cultivos, la vegetación, los animales y metales	198
8.2 Mapas de Riesgo	205
8.3 Estimación de posibles pérdidas económicas	240
8.4 Estimación de posible afectación a la población.....	245
8.5 Confiabilidad de los datos.....	250
CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	251
9.1 Conclusiones.....	251
9.2 Recomendaciones	254
CAPÍTULO X REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	257
ANEXOS.....	267

Índice de Figuras

Figura 1: Localización geográfica de Costa Rica (Fuente: Villalón, 2003).....	2
Figura 2: Conformación geológica de Centroamérica y El Caribe	3
Figura 3: Detalle de Placas Tectónicas y su ubicación (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)	14
Figura 4: Placas Tectónicas ubicadas en América Central (Fuente: Centro para la Prevención de los desastres Naturales en América Central, CEPREDENAC)	14
Figura 5: Comportamiento de las Fronteras de Placas Tectónicas (Fuente: http://www.flodeo.com/agro-geología)	15
Figura 6: Detalle del proceso de subducción de placas (Fuente: http://defensacivilmaimon.wordpress.com/2009/03/09/los-desastres-naturales/)	15
Figura 7: Fallas de desplazamiento vertical (Fuente: www.geovirtual.cl/.../gestr04a.htm).....	17
Figura 8: Falla Inversa (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)	17
Figura 9: Falla Normal (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php).....	18
Figura 10: Fallas antitéticas y homotéticas (Fuente: www.geovirtual.cl/.../gestr04a.htm).....	18
Figura 11: Falla Transcurrente (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php).....	19
Figura 12: Fallas de rumbo, desplazamiento horizontal (Fuente: www.geovirtual.cl/.../gestr04a.htm)	19
Figura 13: Fallas locales de Costa Rica (Fuente: Denyer, Montero & Alvarado, 2003)	21
Figura 14: Partes de una falla (Fuente: http://enciclopedia.us.es/index.php/Falla_(geolog%C3%ADa)) ...	22
Figura 15: Diagrama de margen de placa destructivo, causa la formación de volcanes (Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Vulcanolog%C3%ADa).....	23
Figura 16: Comportamientos más comunes en la formación de volcanes (Fuente: http://defensacivilmaimon.wordpress.com/2009/03/09/los-desastres-naturales/)	23
Figura 17: Composición volcánica (Fuente: Soto & Alvarado, 2010).....	24
Figura 18: Esquema de erupción volcánica (Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Vulcanismo)	25
Figura 19: Tipos más comunes de volcanes 1 (Fuente: http://misterios1.tripod.com/los_volcanes.htm)...	27
Figura 20: Tipos más comunes de volcanes 2 (Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/54/hm/sec_8.html)	27
Figura 21: Tipos más comunes de erupciones volcánicas (Fuente: http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/programa.htm)	29
Figura 22: Comportamientos peligrosos de un volcán (Fuente: http://www.alertatierra.com/volErup.htm)	32
Figura 23: Diagrama de lluvia ácida (Fuente: MAG, INTA, UCR, FITOSANITARIO, SENASA, 2010) 33	
Figura 24: Composición promedio de los principales tipos de lava y sus contrapartes intrusivas (Fuente: Voskuil,n.d).....	34
Figura 25: Patrones globales de vulcanismo (Fuente: Voskuil, n.d).....	37
Figura 26: Intensidades máximas para Costa Rica en el siglo XX, mapa generado con los epicentros de los sismos del período de 1980 -1999 (Fuente: Denyer, 2003)	46
Figura 27: Otras escalas de intensidad utilizadas a través de la historia (Fuente: Voskuil, n.d).....	47
Figura 28: Epicentro y Foco de un sismo (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)	49

Figura 29: Diagrama de ubicación del punto de observación (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php).....	49
Figura 30: Diagrama de ondas sísmicas L (Love) (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php) ...	51
Figura 31: Diagrama de ondas sísmicas tipo P(Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)	52
Figura 32: Diagrama de ondas sísmicas tipo R (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php).....	52
Figura 33: Diagrama de ondas sísmicas tipo S (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)	53
Figura 34: Amplitud (A), longitud (λ) y dirección (X) de la onda (Fuente: Voskuil, n.d)	54
Figura 35: Diagrama de relación Amplitud – Energía de la onda (Fuente: Voskuil, n.d)	55
Figura 36: Diagrama de secuencia del movimiento de ondas sísmicas (Fuente: Voskuil, n.d)	56
Figura 37: Radiación proveniente de un sismo (ondas P) (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php).....	57
Figura 38: Radiación proveniente de un sismo (ondas S) (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php).....	57
Figura 39: Diagrama comparativo de ondas sísmicas, distintos eventos (Fuente: Voskuil, n.d).....	58
Figura 40: Diagrama de desplazamiento del suelo y la estructura (Fuente: Voskuil, n.d).....	59
Figura 41: Diagrama comparativo de rigidez en edificios (Fuente: Voskuil, n.d).....	60
Figura 42: Diagrama función de transferencia (amplitud del espectro) (Fuente: Voskuil, n.d).....	61
Figura 43: Diagrama sobre tipos de estructuras y la clase de vulnerabilidad que presentan (Fuente: Voskuil, n.d).....	62
Figura 44: Mapa geológico generalizado (Fuente: Denyer, 2003).....	65
Figura 45: Límite sísmico de Costa Rica http://www.01centralamerica.com/America_central/Costa-Rica/mapa-de-Costa-Rica/	68
Figura 46: Mapa de fallas importantes de la zona de estudio (Fuente: Linkimer, 2003).....	70
Figura 47: Mapa Regional Tectónico de Centro América y el Caribe (Urban R., 2002)	73
Figura 48: Cronoestratigráfica (unidades estratigráficas de Turrialba) (Fuente: Linkimer, 2003)	74
Figura 49: Sismicidad relocalizada (calidad A) ocurrida en el período 1992-2002 (Fuente: Linkimer, 2003)	82
Figura 50: Diagrama de emanación de cenizas y lluvia ácida (Fuente: Soto, 2010)	88
Figura 51: Mapa de ceniza no magmática del 5 y 6 de enero del 2010 (Fuente: Soto, 2010)	90
Figura 52: Distribución de lluvia ácida (líneas discontinuas acidez con pH 3 y 5 medidos en setiembre del 2010, otras dos líneas marcan la lluvia ácida frecuente y ocasional medidas de abril del 2007 a setiembre del 2010) (Fuente: Soto, 2010)	91
Figura 53: Ubicación de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica (UNESCO, 2000).....	93
Figura 54: Mapa de ubicación del Volcán Turrialba y poblados aledaños (Soto, n.d)	94
Figura 55: Ubicación de Santa Cruz, Turrialba (Hoja cartográfica Tucurrique, escala 1:50.000)	95
Figura 56: Diagrama del relieve del Volcán Turrialba, desde de la parte sureste (Urban R., 2002)	97
Figura 57: Diagrama del relieve de Santa Cruz de Turrialba, parte sureste (Urban R., 2002)	97
Figura 58: Mapa de isoaceleraciones, período de retorno de 500 años (Fuente: Rojas, 2009).....	116
Figura 59 : Mapa de isoaceleraciones, período de retorno de 500 años, modelo de atenuación de Climent <i>et al.</i> (1994) (Fuente: Linkimer & Schmidt, 2002)	117
Figura 60: Mapa de isoaceleraciones, período de retorno de 500 años, modelo de atenuación de Schmidt <i>et al.</i> (1997) (Fuente: Linkimer & Schmidt, 2002)	118

Figura 61: Fórmula de conversión de PGA a MMI (Fuente: Van Westen, n.d)	120
Figura 62: Curva de relación PGA y MMI (Fuente: Van Westen, n.d)	121
Figura 63: Ecuación de relación entre PGA y MMI para Costa Rica (Fuente: Linkimer, 2008).....	121
Figura 64: Curva de relación entre PGA y MMI para Costa Rica (Fuente: Linkimer, 2008).....	122
Figura 65: Mapa de grietas en la cima del Volcán Turrialba (Fuente: Duarte, 2009)	127
Figura 66: Escenario de afectación Volcán Turrialba (Modificado de: Escuela de Geografía UCR, 2009)	130
Figura 67: Sismicidad en el graben del Volcán Turrialba (Fuente: Soto& Alvarado, 2010).....	131
Figura 68: Diagrama de metodología de obtención de datos primarios para la evaluación (Fuente: Modificado de Villalón, 2003).....	142
Figura 69: Diagrama de metodología de revisión de información secundaria para la evaluación (Fuente: Modificado de Villalón, 2003).....	143
Figura 70: Ubicación de epicentros para el año 2010 en la zona (Fuente: Barquero, 2011)	167
Figura 71: Conformación Neotectónica y tipos de suelo de la zona de estudio (Linkimer, 2003)	168
Figura 72: Detalle de composición básica de curva de fragilidad	176
Figura 73: Curvas de fragilidad para tanques de concreto sin anclajes en el terreno (Fuente: Federal Emergency Management Agency, 1999).....	177
Figura 74: Curvas de fragilidad para tuberías método japonés (Fuente: FOPAE, n.d.).....	178
Figura 75: Curvas de fragilidad para circuitos de distribución antisísmicos (Fuente: Federal Emergency Management Agency, 1999).....	179
Figura 76: Curvas de fragilidad para sistemas de comunicación con componentes anclados (Fuente: Federal Emergency Management Agency, 1999).....	180
Figura 77: Curvas de fragilidad para vías terrestres (Fuente: FOPAE, n.d.)	181
Figura 78: Curvas de fragilidad para puentes método Risk Management Solutions (R.M.S.) (Fuente: FOPAE, n.d.).....	182
Figura 79: Curvas de fragilidad para viviendas de bahareque encementado de un piso (Fuente: Bedoya, 2005)	183
Figura 80: Curvas de fragilidad experimentales para viviendas de ferrocemento (Fuente: Bedoya, 2005)	184
Figura 81: Curvas de fragilidad para afectación a la población y pérdidas económicas directas (Fuente: FOPAE, n.d.).....	187
Figura 82: Diagrama de flujo para mitigación y evaluación del riesgo asociado a la amenaza.....	191
Figura 83: Estructuras y geofomas definidas en la zona de estudio (Fuente: UNESCO, 2000).....	192
Figura 84: Diagrama de ubicación de cerros en el cráter del Volcán Turrialba (Fuente: Reagan, Duarte, Soto & Fernández, 2006)	193
Figura 85: Diagrama de comportamiento de la falla vertical (Fuente: Reagan et al., 2006)	194
Figura 86: Mapa de los posibles peligros del Volcán Turrialba (Fuente: Alvarado et al., 2010)	196
Figura 87: Situaciones futuras esperables del Volcán Turrialba (Fuente: Alvarado et al., 2010).....	197
Figura 88: Perfil promedio para estimación de riesgo debido al Río Guayabito	229
Figura 89: Perfil promedio para estimación de riesgo debido al Río Aquiares	239

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación de las erupciones volcánicas (Fuente: http://www.monografias.com/trabajos/volcanes/volcanes.shtml)	28
Tabla 2: Índice de Erupciones Volcánicas (VEI) (Fuente: http://www.alertatierra.com/volErup.htm).....	30
Tabla 3: Niveles de peligrosidad de eventos volcánicos (Fuente: Soto & Alvarado, 2010)	32
Tabla 4: Magnitudes escala Richter y efectos de terremotos (Fuente: http://www.angelfire.com/ri/chterymercalli/)	42
Tabla 5: Magnitudes de la escala Richter y su equivalente en energía liberada (Modificado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Escala_sismo1%C3%B3gica_de_Richter)	43
Tabla 6: Escala de Mercalli Modificada (Fuente: http://www.angelfire.com/ri/chterymercalli/).....	45
Tabla 7: Frecuencias naturales para edificios (Fuente: Voskuil, n.d)	61
Tabla 8: Tiempo geológico de Costa Rica (Fuente: Denyer, 2003).....	66
Tabla 9: Detalle de algunas de las principales fallas con longitud mayor que 5 km en la región de Turrialba (Fuente: Linkimer, 2003)	76
Tabla 10: Relación esquemática entre el grado de actividad del fallamiento y otras características de las fallas de Turrialba (Fuente: Linkimer, 2003).....	84
Tabla 11: Población anual real y proyectada de Santa Cruz de Turrialba, período 2000 – 2020	98
Tabla 12: Ficha resumen de la ASOPROA-SC	109
Tabla 13: Producción semanal de leche distrito Santa Cruz	110
Tabla 14: Insumos necesarios para la producción semanal de leche	111
Tabla 15: Estimación del PGA (g) promedio para Santa Cruz de Turrialba.....	119
Tabla 16: Aceleración pico efectiva de diseño (a_{ef}), para un período de retorno de 500 años.	119
Tabla 17: Estimación de la aceleración pico efectiva de diseño (a_{ef}), para distintos escenarios según el Código Sísmico de Costa Rica 2002.....	119
Tabla 18: Efectos de los fenómenos naturales de gran magnitud sobre los medios físico, biótico y perceptual (Fuente: CEPAL, 2003).....	138
Tabla 19: Evaluación de la infraestructura de Santa Cruz	157
Tabla 20: Evaluación de la infraestructura de El Carmen.....	159
Tabla 21: Evaluación de la infraestructura de San Antonio.....	162
Tabla 22: Evaluación de la infraestructura de La Pastora.....	165
Tabla 23: Sismos para el período 2010 en la zona (Fuente: Barquero, 2011)	166
Tabla 24: Sismos para el período 2001-2009 en la zona (Fuente: Informes RSN (ICE-UCR))	167
Tabla 25: Elementos que por ubicación incrementan la vulnerabilidad en la zona	170
Tabla 26: Elementos que por su configuración incrementan la vulnerabilidad en la zona	170
Tabla 27: Incremento de vulnerabilidad para líneas vitales en la zona.....	170
Tabla 28: Parámetros para la evaluación del grado de vulnerabilidad.....	171
Tabla 29: Rangos de clasificación del grado de vulnerabilidad.....	171
Tabla 30: Definición del grado de vulnerabilidad para el distrito de Santa Cruz	172
Tabla 31: Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para tanques	173
Tabla 32: Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para tuberías	173
Tabla 33 Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para líneas eléctricas y telefónicas	173

Tabla 34: Definición del índice de vulnerabilidad (<i>IV</i>) para sistemas de comunicación.....	173
Tabla 35: Definición del índice de vulnerabilidad (<i>IV</i>) para vías terrestres.....	173
Tabla 36: Definición del índice de vulnerabilidad (<i>IV</i>) para puentes	173
Tabla 37: Definición del índice de vulnerabilidad (<i>IV</i>) para construcciones de bahareque o con características de resistencia similares	174
Tabla 38: Definición del índice de vulnerabilidad (<i>IV</i>) para construcciones de ferrocemento o con características de resistencia similares.....	174
Tabla 39: Resumen del índice de vulnerabilidad (<i>IV</i>) y aceleración pico efectiva por cada tipo de infraestructura.....	175
Tabla 40: Calculo del índice de daños esperados.....	185
Tabla 41: Animales afectados, zona de influencia Volcán Turrialba (Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería & Servicio Nacional de Salud Animal, 2010)	200
Tabla 42: Evaluación de afectación a los cultivos por lluvia ácida a enero 2010.....	201
Tabla 43: Evaluación de afectación a los cultivos por lluvia ácida a febrero 2010	202
Tabla 44: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito con período de retorno de 20 años sin aporte de material del Cerro San Enrique	220
Tabla 45: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 20 años con aporte del 25 % de material del Cerro San Enrique.....	221
Tabla 46: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 20 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique.....	222
Tabla 47: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito con período de retorno de 50 años sin aporte de material del Cerro San Enrique	223
Tabla 48: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 50 años con aporte del 25 % de material del Cerro San Enrique.....	224
Tabla 49: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 50 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique.....	225
Tabla 50: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito con período de retorno de 100 años sin aporte de material del Cerro San Enrique	226
Tabla 51: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 100 años con aporte del 25 % de material del Cerro San Enrique.....	227
Tabla 52: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 100 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique.....	228
Tabla 53: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES con período de retorno de 20 años sin aporte de material del Cerro San Enrique	230
Tabla 54: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 20 años con aporte del 25% de material del Cerro San Enrique.....	231
Tabla 55: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 20 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique.....	232
Tabla 56: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 50 años sin aporte de material del Cerro San Enrique.....	233
Tabla 57: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 50 años con aporte del 25 % de material del Cerro San Enrique.....	234

Tabla 58: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 50 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique.....	235
Tabla 59: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 100 años sin aporte de material del Cerro San Enrique.....	236
Tabla 60: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 100 años con aporte del 25 % de material del Cerro San Enrique.....	237
Tabla 61: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 100 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique.....	238
Tabla 62: Inflación para insumos de construcción período enero 2008 a febrero 2011	241
Tabla 63: Estimación del valor de las construcciones a febrero del 2011, con índice de vida útil.....	242
Tabla 64: Estimación de la actividad económica anual del distrito de Santa Cruz de Turrialba	243
Tabla 65: Estimación de pérdidas económicas	243
Tabla 66: Estimación de posible escenario debido a evento sísmico.....	244
Tabla 67: Escenario debido a actividad volcánica reciente	244
Tabla 68: Escenario posible debido a actividad volcánica proyectada	244
Tabla 69: Estimación de afectación a la población.....	245
Tabla 70: Estimación del número de víctimas (<i>NVi</i>)	247
Tabla 71: Potencial número de víctimas o heridos según porcentaje de daño estructural (Modificado de: Farfán & Díaz, 2009)	248
Tabla 72: Potencial afectación física a los habitantes de Santa Cruz de Turrialba.....	249
Tabla 73: Potencial número de muertos o heridos en Santa Cruz de Turrialba	249
Tabla 74: Confiabilidad de los datos presentados (Modificado de: Farfán, 2009)	250

Índice de Imágenes

Imagen 1: Vista aérea de Santa Cruz de Turrialba (Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG, Turrialba, Foto 09 de enero de 2010).....	6
Imagen 2: Zona de riesgo por desastre natural, Río Guayabito, San Antonio, Santa Cruz (Foto 24 de octubre de 2010)	7
Imagen 3: Falla Atirro, su trazo y afectación en el año 1960 (Fuente: Denyer, 2003)	77
Imagen 4: Imagen satelital del desplazamiento sinistral del Río Guayabito (Fuente: Google Earth, obtenida el 23 de enero del 2011)	79
Imagen 5: Deslizamiento por terremoto en Cinchona (Fuente: Barquero 2010)	124
Imagen 6: Volcán Turrialba a finales del siglo XIX (Fuente: Denyer, 2003).....	126
Imagen 7: Volcán Turrialba a inicios del siglo XXI (Fuente: Denyer, 2003).....	126
Imagen 8: Vista aérea del Volcán Turrialba a inicios del año 2010 (Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG, Turrialba 09 de enero de 2010)	126
Imagen 9: Cambios morfológicos, cima del nuevo cráter Volcán Arenal (Fuente: Duarte, 2010).....	133
Imagen 10: Imagen satelital de ubicación de poblados con respecto al Volcán Turrialba	145
Imagen 11: Ubicación de los poblados y topografía del sitio (Foto 26 de noviembre de 2010).....	145
Imagen 12: Cuadrante 1 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010)	147
Imagen 13: Cuadrante 2 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010)	148
Imagen 14: Cuadrante 3 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010)	148
Imagen 15: Cuadrante 1 de El Carmen (Imagen modificada de Google Earth 2010)	149
Imagen 16: Cuadrante 1 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	150
Imagen 17: Cuadrante 2 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	151
Imagen 18: Cuadrante 3 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	151
Imagen 19: Cuadrante 1 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	153
Imagen 20: Cuadrante 2 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	153
Imagen 21: Cuadrante 3 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	154
Imagen 22: Foto del cerro San Enrique hacia el sureste (Fuente: Reagan et al., 2006).....	194
Imagen 23: Volcán Turrialba al sur del puente Negro (Foto: 26 de noviembre del 2010)	195
Imagen 24: Pluma y emisión de gases al sureste del Volcán Turrialba (Foto: 26 de noviembre del 2010)	195
Imagen 25: Daño a cultivos y pasto, zona de influencia Volcán Turrialba (Fuente: Abarca, 2010)	198
Imagen 26: Efectos de la lluvia ácida en alrededores del Volcán Turrialba (Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG, Turrialba 07 de enero de 2010).....	204

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Población anual de Santa Cruz de Turrialba, período 2000 – 2009 (Datos INEC)	99
Gráfico 2: Población anual de Santa Cruz de Turrialba, Línea de Tendencia para el período 2000 – 2009 (Datos INEC)	100
Gráfico 3: Población anual de Santa Cruz de Turrialba, proyectada para el período 2010 – 2020	101
Gráfico 4: Distribución de vivienda en Santa Cruz de Turrialba hasta el año 2009	102
Gráfico 5: Distribución de ocupantes por vivienda en Santa Cruz de Turrialba hasta el año 2009	103
Gráfico 6 : Población de Santa Cruz por rango de edad, clasificación según requerimiento	104
Gráfico 7: Indicadores sociales para el distrito de Santa Cruz de Turrialba	105
Gráfico 8: Condición de la población con respecto de la actividad económica de Santa Cruz	107
Gráfico 9: Detalle de la población económicamente activa de Santa Cruz	108
Gráfico 10: Detalle de la población económicamente inactiva de Santa Cruz	108
Gráfico 11: Daños esperados en tanques de concreto sin anclajes en el terreno.....	177
Gráfico 12: Daños esperados en tuberías	178
Gráfico 13: Daños esperados para líneas eléctricas y telefónicas	179
Gráfico 14: Daños esperados para sistemas de comunicación anclados	180
Gráfico 15: Daños esperados para vías terrestres	181
Gráfico 16: Daños esperados para puentes clase T1D1V0	182
Gráfico 17: Daños esperados en edificaciones de bahareque	183
Gráfico 18: Daños esperados en edificaciones de ferrocemento	184
Gráfico 19: Factores de colapso según índice de daños esperados	188

Índice de Mapas

Mapa 1: Cuadrante 1 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	155
Mapa 2: Cuadrante 2 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	156
Mapa 3: Cuadrante 3 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	156
Mapa 4: Cuadrante 1 de El Carmen (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	158
Mapa 5: Cuadrante 1 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	160
Mapa 6: Cuadrante 2 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	161
Mapa 7: Cuadrante 3 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	161
Mapa 8: Cuadrante 1 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	163
Mapa 9: Cuadrante 2 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	164
Mapa 10: Cuadrante 3 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010).....	164
Mapa 11: Riesgo asociado a la topografía y ubicación de ríos (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	205
Mapa 12: Riesgo asociado a la ubicación de principales vías terrestres (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	206
Mapa 13: Riesgo asociado a las vías terrestres de los poblados (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	207
Mapa 14: Riesgo asociado al historial sísmico y su ubicación hasta el año 2008 (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	208
Mapa 15: Riesgo asociado al historial sísmico con magnitud importante cerca de la zona de estudio, período 2001-2010 (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	209
Mapa 16: Riesgo asociado a la geología de Santa Cruz de Turrialba (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	210
Mapa 17: Riesgo asociado a la ubicación de los ríos (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	211
Mapa 18: Riesgo asociado a la caída de cenizas y lluvia ácida en los poblados del distrito de Santa Cruz de Turrialba (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	212
Mapa 19: Riesgo asociado a la caída de material piroclástico (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	213
Mapa 20: Riesgo asociado infraestructura ubicada sobre las zonas de protección de los ríos (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	214
Mapa 21: Riesgo asociado a la caída de cenizas, lluvia ácida y material piroclástico, radio definido para este estudio (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE).....	215
Mapa 22: Afectación volcánica para un radio de 10 kilómetros (Modificado de: Hojas cartográficas escala 1:50.000, colaboración del Sr. Leonardo Malavassi Piedra).....	216
Mapa 23: Afectación Volcánica para un radio de 10 kilómetros (Modificado de: Imagen satelital, NASA Earth Observatory image by Robert Simmon, using EO-1 ALI data provided by the NASA EO-1 team. Caption by Robert Simmon. Instrument: EO-1 – ALI, colaboración del Sr. Leonardo Malavassi Piedra).....	217
Mapa 24: Definición de las cuencas de los Ríos Guayabito y Aquiares, material del Cerro San Enrique (Modificado de: Hojas cartográficas escala 1:50.000, colaboración del Sr. Leonardo Malavassi Piedra).....	218

Mapa 25: Definición de las cuencas de los Ríos Guayabito y Quijames, material del cerro San Enrique (Modificado de: Imagen satelital, NASA Earth Observatory image by Robert Simmon, using EO-1 ALI data provided by the NASA EO-1 team. Caption by Robert Simmon. Instrument: EO-1 – ALI, colaboración del Sr. Leonardo Malavassi Piedra)..... 219

Índice de Anexos

Anexo 1 Levantamiento fotográfico Poblado Santa Cruz (SC)	268
Anexo 2 Levantamiento fotográfico Poblado El Carmen (EC)	295
Anexo 3 Levantamiento fotográfico Poblado San Antonio (SA)	303
Anexo 4 Levantamiento fotográfico Poblado La Pastora (LP)	316
Anexo 5 Tabla de Daño Estructural según LANAME.....	330
Anexo 6 Tabla para la determinación de atrapados y fatalidad por tipo de edificación	340
Anexo 7 Tabla de cargas de ocupación de acuerdo con la utilización de las edificaciones.....	341
Anexo 8 Evaluación de la infraestructura del Distrito Santa Cruz (Formulario ATC-20).....	342

INTRODUCCIÓN

Debido a que en la actualidad el volcán Turrialba, ubicado en el distrito de Santa Cruz del cantón de Turrialba, está siendo monitoreado por el reinicio de la actividad que se generó a partir de enero del 2010, y al considerar además que según lo estudiado tal condición pueda culminar en una posible erupción o desarrollar movimientos sísmicos considerables en la zona, se determina la importancia de establecer un estudio que permita planificar y mitigar los posibles impactos, los cuales sin la debida proyección pueden llegar a estancar la economía del lugar, además de provocar la exposición de sus pobladores, a posibles riesgos derivados de la eventual ocurrencia de algunos de estos eventos.

Ante este panorama es que se considera el siguiente estudio de vital importancia, ya que al analizar los posibles efectos y conocer la vulnerabilidad tanto de tipo vulcanológica como sísmica del lugar, así como el riesgo que las afecta, es posible tener mayor conocimiento y criterio con respecto del comportamiento de un eventual acontecimiento desastroso.

Con el fin de determinar con mayor precisión el riesgo y la vulnerabilidad al cual se encuentra expuesta la zona de estudio, es relevante considerar que de acuerdo con las coordenadas geográficas, Costa Rica se localiza entre los 8° y 12° de Latitud Norte y los 82° y 86° de Longitud Oeste, ubicándola en Centroamérica, donde limita al Norte con Nicaragua y al Sureste con Panamá, al Este con el mar Caribe y hacia el Sur y el Oeste con el Océano Pacífico.



Figura 1: Localización geográfica de Costa Rica (Fuente: Villalón, 2003)

Esta delimitación permite establecer que Costa Rica cuenta aproximadamente con una extensión territorial de 51.100 km², alberga una población cercana a los 3,8 millones de habitantes. Una de sus principales características es que cuenta con un relieve irregular, con tierras bajas de 0 a 800m; medias de 800 a 1.500m, y altas que alcanzan hasta 3.819m y presenta un alto Valle Central-donde el sistema montañoso está dividido en cuatro cordilleras, de las cuales La Cordillera Volcánica Central cuenta con los volcanes Platanar, Porvenir, Poás, Congo, Barva, Cacho Negro, Irazú y Turrialba.

Debido a su ubicación geográfica y a su posición cercana a los límites de placas, específicamente la Placa de Cocos y la Placa Caribe, junto con las fallas locales, Costa Rica se ve afectada por la actividad sísmica, así como por la amenaza de erupciones volcánicas, debido a los procesos de subducción entre ambas placas.

Es importante indicar para el siguiente estudio que El Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica, corresponde a un ancho sistema de fallas Neotectónicas que atraviesa transversalmente al país, desde la fosa Mesoamericana en el Pacífico, hasta el Cinturón Deformado del Norte de Panamá en el Caribe, lo que ubica a Turrialba en el extremo oriental de esta zona de deformación. Esta zona se caracteriza por fallas Neotectónicas de diversas geometrías, principalmente de desplazamiento de rumbo, además de normales e inversas.

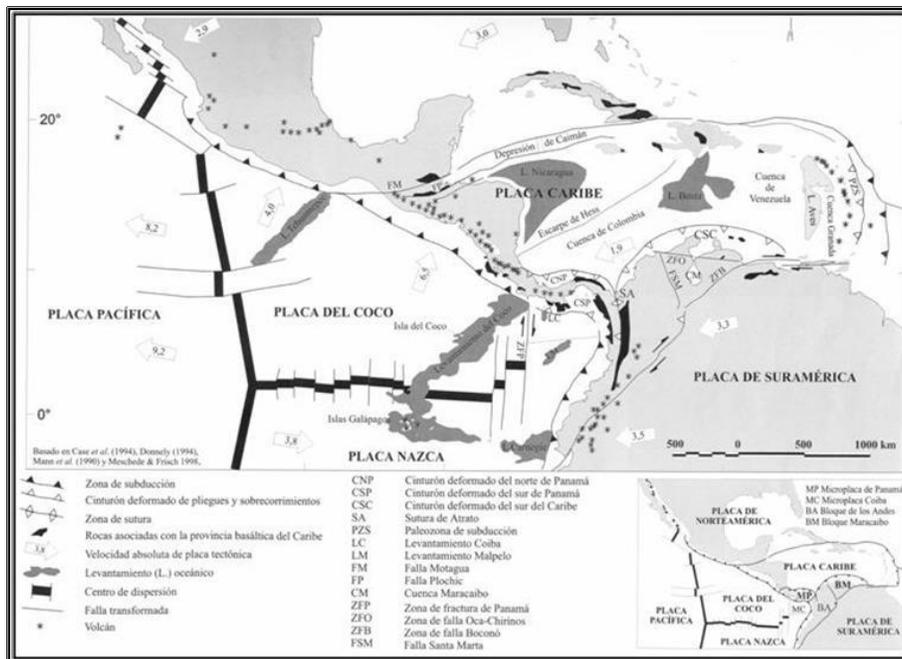


Figura 2: Conformación geológica de Centroamérica y El Caribe

(Fuente: Denyer, Montero & Alvarado, 2003)

Dicha condición no ha sido considerada para establecer los asentamientos urbanos existentes en estos sitios, ya que las investigaciones en sismología y neotectónica son más recientes que el inicio de la colonización del país. Esta constitución geológica afecta a sus pobladores, pues la ubicación de los lugares de trabajo, de vivienda y esparcimiento, en cualquier momento podrían verse afectados por un desastre de esta índole.

Por esta razón, la investigación de zonas específicas es fundamental para el aporte de información que contribuya a la planificación del crecimiento urbano y la mitigación de los efectos que puedan producir los posibles desastres.

Por lo antes indicado y por considerar que por su ubicación, Turrialba es de alta incidencia en la ocurrencia de fenómenos naturales, es que se instaló en la zona una red de sismógrafos, la cual es una coordinación realizada por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y la Sección de Sismología de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica (UCR), con el fin de dar seguimiento a la actividad sísmica presentada

El Volcán Turrialba junto con las Placas Tectónicas y las Fallas Locales de la zona de Turrialba, son los parámetros de estudio establecidos para determinar la vulnerabilidad y el riesgo por amenaza sísmica y vulcanológica presentes en la zona a evaluar, por lo que el presente trabajo contiene los resultados obtenidos luego del estudio integral de los dos tipos de amenazas naturales ya mencionadas, que afectan la región de Santa Cruz de Turrialba, el cual se realizó a través de trabajo de campo en la zona y la recopilación y análisis de información con sistemas de información geográfica, entre otros, para determinar los mapas requeridos.

Es imprescindible dar a conocer el resultado de la evaluación del riesgo y la vulnerabilidad probabilística y determinística que en un sitio establecido y durante un tiempo de exposición específico, permita definir las consecuencias económicas o sociales de los eventos sísmicos y vulcanológicos, expresadas en víctimas, cantidad y tipo de infraestructura, además de unidades monetarias.

CAPÍTULO I. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Identificación del problema, objeto de investigación

En el cantón de Turrialba, el distrito de Santa Cruz es el más poblado de los distritos ubicados en las faldas del Volcán Turrialba, adicionalmente posee una topografía irregular y una de las mayores elevaciones del cantón, alrededor de los 1.500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

El acceso a este lugar se puede realizar por tres vías terrestres, la primera que proviene del centro del cantón de Turrialba, en la cual se localizan tres puentes sobre el Río Turrialba y uno sobre el Río Claro, los mismos se encuentran en inadecuadas condiciones debido a las inundaciones provocadas en épocas lluviosas, por lo que son vulnerables en caso de emergencia. La segunda vía es la que proviene del distrito de Pacayas en el cantón de Alvarado, la misma se ubica cerca de la base del cono del Volcán Turrialba, es una vía estrecha ubicada en una zona expuesta rodeada por potreros. El tercer acceso a la zona, es el que proviene de Guayabo, que permite arribar desde Turrialba ingresar por La Calera o bien desde Siquirres, esta vía es un paso secundario, lo que lo convierte en un acceso exclusivo para vehículos de doble tracción, al igual que los caminos vecinales que comunican los poblados del distrito.

El terreno presenta una conformación de lavas y cenizas volcánicas, convirtiéndolo en un terreno inestable en caso de movimientos sísmicos o eventos vulcanológicos. Todos estos factores provocan que la zona en estudio despierte gran interés para realizar la investigación, debido a las

distintas variables que intervienen en una zona tan pequeña como lo es el distrito de Santa Cruz de Turrialba.



Imagen 1: Vista aérea de Santa Cruz de Turrialba (Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG, Turrialba, Foto 09 de enero de 2010)

1.2 Importancia de la Investigación

En un país sísmico como Costa Rica, afectado por la actividad volcánica, las fallas locales y los movimientos tectónicos, es fundamental realizar estudios que demuestren la vulnerabilidad de los sismos y eventos vulcanológicos que presentan distintas zonas del país, con la intención de crear modelos de comportamiento ante estas situaciones en los lugares más próximos al sitio de estudio, para que los pobladores estén enterados y debidamente informados, con el fin de que puedan tomar las medidas pertinentes, tanto para el diseño y construcción de sus edificaciones,

mantenimiento preventivo y detección de riesgos en la infraestructura local, como para preparar el plan estratégico por seguir en caso de sismos o erupciones volcánicas.

Los datos obtenidos en investigaciones de este tipo, son fundamentales para los objetivos que persiguen entidades como Municipalidades, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, Comisión Nacional de Emergencias, entre otros, con el fin de establecer las medidas de mitigación, elaborar mapas de riesgo y gestionar planes de acción preventiva y correctiva, como lo son el Plan Regulador de la Zona, Planes de Desarrollo local , Planes de Ordenamiento Territorial Código Sísmico de Costa Rica, Plan de Prevención del Riesgo, Plan de Evacuación, entre otros. Esto es fundamental para conocer todo cuanto sea posible acerca del tema, para acatar las disposiciones que dicten las entidades gubernamentales con el fin de actuar en forma correcta en cuanto a prevención se refiere, primordialmente para resguardar la vida de los habitantes y evitar pérdidas materiales de posibles zonas afectadas por sismos o erupciones volcánicas.



Imagen 2: Zona de riesgo por desastre natural, Río Guayabito, San Antonio, Santa Cruz (Foto 24 de octubre de 2010)

1.3 Formulación de Hipótesis

Al realizar un estudio cuidadoso y detallado de la vulnerabilidad sísmica y vulcanológica del distrito de Santa Cruz de Turrialba, se pretende determinar la información suficiente para la realización de planes estratégicos de prevención y mitigación de daños humanos, materiales y ambientales, por parte de las entidades interesadas en la evaluación de riesgo sísmico y vulcanológico, tales como Comisión Nacional de Emergencias (CNE), Cruz Roja, Cuerpo de Bomberos, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA), entre otros.

Los principales beneficiados de la publicación con este trabajo serán los pobladores de la zona en estudio, los cuales podrán utilizar la información generada para organizarse en el nivel comunitario, con el fin de preparar planes de acción que puedan atenuar el impacto que provocan generalmente los eventos antes mencionados, logrando disminuir las consecuencias de su entorno relacionadas con los campos socio económico y ambiental.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

- Evaluar el riesgo sísmico y vulcanológico de la infraestructura del distrito de Santa Cruz de Turrialba, mediante la estimación de la vulnerabilidad y determinar el daño probable,

de acuerdo con la posibilidad de que se presente un evento, teniendo en cuenta la población como una parte activa para la estrategia de gestión de riesgo.

1.4.2 Específicos

1. Realizar un estudio de los factores que intervienen en la evaluación de la amenaza, la definición del riesgo sísmico y vulcanológico, y la vulnerabilidad del distrito de Santa Cruz de Turrialba.
2. Desarrollar una metodología de evaluación del riesgo sísmico aplicable al distrito de Santa Cruz de Turrialba.
3. Establecer la vulnerabilidad sísmica y vulcanológica de la zona en estudio, para presentar las conclusiones y recomendaciones pertinentes.
4. Enumerar las vulnerabilidades sísmicas y vulcanológicas presentes en la infraestructura del lugar.
5. Implementar la creación de gráficos y mapas de riesgo de la zona en estudio, con el fin de ubicar las vulnerabilidades enumeradas.
6. Evaluar el impacto socioeconómico que podrían provocar las posibles pérdidas humanas y materiales.

1.5 Alcances y Limitaciones del Tema

El presente trabajo tendrá por alcance establecer los parámetros necesarios para determinar la vulnerabilidad por riesgo sísmico y vulcanológico en las principales poblaciones del distrito de Santa Cruz de Turrialba las cuales se identifican como la comunidad de Santa Cruz centro, San Antonio, El Carmen y la Pastora, sin embargo no discutirá o establecerá el riesgo y la vulnerabilidad que provocan los agentes climáticos de la zona o los efectos que estos produzcan. Tampoco es alcance de este trabajo el pronosticar los eventos de interés antes mencionados, el objetivo claramente definido es evaluar el riesgo del sitio en estudio por posibles eventos sísmicos y vulcanológicos, que pueda utilizarse como insumo para que entidades competentes desarrollen planes de mitigación y prevención.

1.6 Procedimientos para recopilación de Información

La información necesaria para el proceso de realización del trabajo está dividida en dos secciones: teórica y práctica.

En la parte teórica se reúne información tanto de los censos nacionales, así como documentos generados y adquiridos por las distintas Instituciones involucradas, tales como informes, estudios preliminares, reportes de monitoreo, historiales, entre otros. También se toman en cuenta diferentes normas de diseño y estudios realizados referentes a la materia, los cuales se pueden apreciar en la bibliografía de este trabajo.

La sección práctica establece una serie de procedimientos, toma de muestras, medidas de campo y foto referencias para poder obtener la información requerida. Dentro de dichas medidas se toman en cuenta muestreos aleatorios, observación, clasificación, entre otros.

1.7 Formulario de trabajo de campo

Para realizar el levantamiento de la información de campo, se utilizó el formulario ATC-20, estandarizado mundialmente y que se enfoca en la inspección, clasificación y evaluación de las estructuras. La clasificación de las estructuras de acuerdo con su uso se estableció como: residencial, educacional, comercial, industrial, centro comunal y línea vital. Las características del tipo y la condición de las estructuras se clasifican en: materiales, edad de la construcción, número de pisos, nivel de daño existente y vulnerabilidad.

1.8 Métodos para Análisis de la Información

Para el análisis de los datos teóricos y prácticos se tomó en cuenta el Manual para la Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental de los Desastres elaborado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, trabajos e informes similares de evaluación de riesgo, vulnerabilidad y desastres, así como las normas, lineamientos y procedimientos establecidos por las distintas Instituciones relacionadas con el tema y mencionadas en la bibliografía de este trabajo, tales como el Estudio Preliminar de Amenazas Naturales en la Cuenca del Río Turrialba, Cantón Turrialba, Costa Rica de la UNESCO, Estudio de resistencia y

vulnerabilidad sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento de la Universitat Politècnica de Catalunya, Código Sísmico de Costa Rica 2002, entre otros.

1.9 Metodología de evaluación implementada

Con el fin de realizar una evaluación adecuada de la vulnerabilidad existente, se utilizó el método de curvas de fragilidad para cada elemento en evaluación, para la presentación de resultados se aplicó el método gráfico, el Sistema de Información Geográfica (SIG), así como algunas técnicas de fotointerpretación, para la creación de mapas que muestren las zonas del área de estudio, vulnerables a sismos y eventos volcánicos de diversa índole, capaces de determinar la metodología por seguir en casos de emergencia y prevenir los desastres que se podrían presentar ante la posibilidad de ocurrencia de estos eventos.

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN SÍSMICA Y VULCANOLÓGICA GENERAL

2.1 Información sobre Placas Tectónicas y Fallas Locales

2.1.1 Placa Tectónica

Una placa tectónica o placa litosférica es un fragmento de litosfera, el cual se mueve como un bloque rígido sin presentar deformación interna sobre la astenósfera terrestre.

2.1.1.1 Tipos de placas

Además indica que las placas litosféricas son de dos tipos de acuerdo con la clase de corteza que forma su superficie. Hay dos clases de corteza: la oceánica y la mixta (continental).

Placas oceánicas. Cubiertas íntegramente por corteza oceánica, delgada y con una composición básica. Sumergidas en toda su extensión, salvo por la presencia de edificios volcánicos intraplaca, de los cuales los más altos aparecen emergidos, o por islas en alguno de sus bordes.

Placas mixtas. Compuestas en parte por corteza continental y en parte por corteza oceánica. La mayoría de las placas tectónicas son de este tipo.

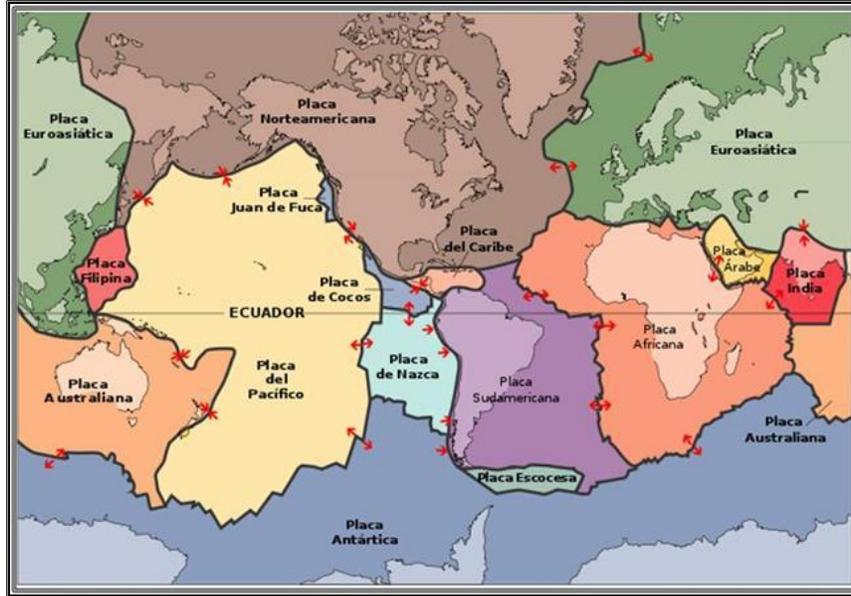


Figura 3: Detalle de Placas Tectónicas y su ubicación (Fuente: [http://www.funvisis.gob.ve/glosario .php](http://www.funvisis.gob.ve/glosario.php))

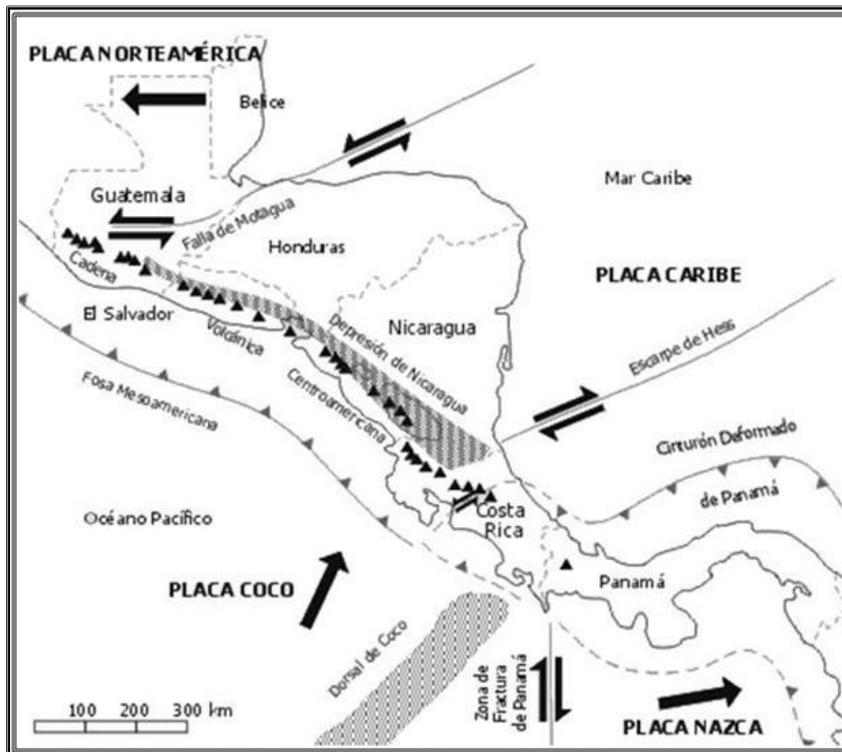


Figura 4: Placas Tectónicas ubicadas en América Central (Fuente: Centro para la Prevención de los desastres Naturales en América Central, CEPREDENAC)

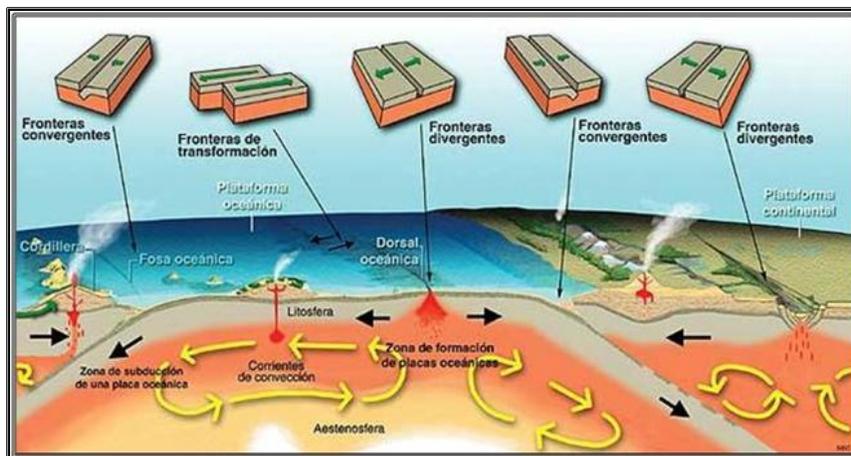


Figura 5: Comportamiento de las Fronteras de Placas Tectónicas (Fuente: <http://www.flodeo.com/agro-geología>)

2.1.2 Subducción

Tal y como se describe en la figura 6, el proceso de subducción de placas provoca un hundimiento de una placa litosférica bajo alguna otra en un límite convergente.

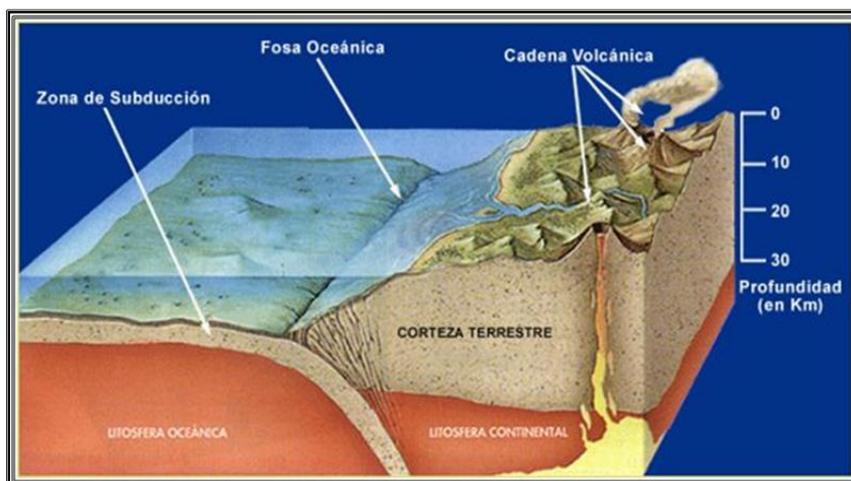


Figura 6: Detalle del proceso de subducción de placas (Fuente: <http://defensacivilmaimon.wordpress.com/2009/03/09/los-desastres-naturales/>)

2.1.3 Fallas Locales

Las fallas locales se pueden definir como uno de los accidentes del terreno, son observables fácilmente y se mencionan fallas o rupturas de un plegamiento, en especial si el terreno es sedimentario. Son un tipo de deformación de la corteza terrestre que finaliza en ruptura, que dan lugar a variedades de estructuras geológicas.

Los tipos y componentes de las fallas locales se identifican de la siguiente manera:

Plano de falla. Plano de mayor coincidencia con la ruptura en superficie de la falla.

Traza de una falla. Intercepción del plano de falla con la topografía.

Falla activa. Falla geológica que con base en información histórica, sismológica o evidencias geológicas, se asocia a probabilidades de generar un sismo.

Falla geológica. Fractura o zona de fractura en rocas a lo largo de la cual los dos lados se han desplazado, paralelamente a la fractura. El desplazamiento total puede variar desde centímetros hasta kilómetros.

Además las fallas tectónicas se pueden clasificar por su orientación y simetría. La gran mayoría de las fallas son verticales, es decir tienen manteos entre 90° y 45° .

El desplazamiento puede ser vertical, horizontal u oblicuo. Normalmente se trata de desplazamientos verticales u horizontales.

Fallas con desplazamiento vertical.

En el grupo de las fallas verticales se pueden distinguir fallas normales y fallas inversas. Fallas normales son un producto de fuerzas extensionales, fallas inversas son un producto de fuerzas de compresión.

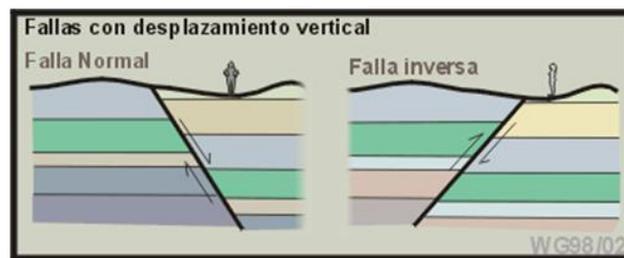


Figura 7: Fallas de desplazamiento vertical (Fuente: www.geovirtual.cl/.../gestr04a.htm)

La falla inversa es en la que el bloque techo se mueve hacia arriba en relación con el bloque piso.

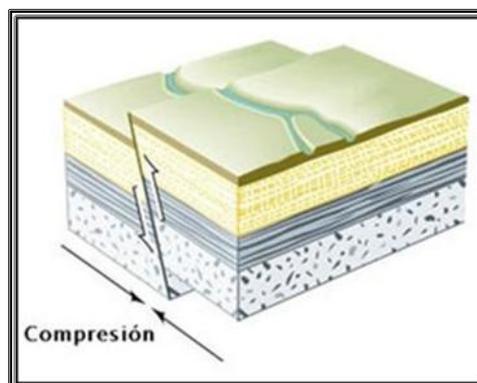


Figura 8: Falla Inversa (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)

La falla normal es en la que el bloque techo ha descendido en relación con el bloque piso.

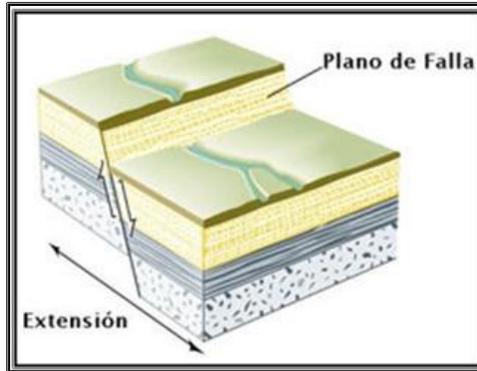


Figura 9: Falla Normal (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)

También las fallas se clasifican en dos grupos: Antitéticas y Homotéticas, junto con falla normal, Antitética indica que la falla y los estratos se inclinan hacia las direcciones opuestas. Homotética significa, que los estratos y la falla presentan la misma dirección de inclinación.

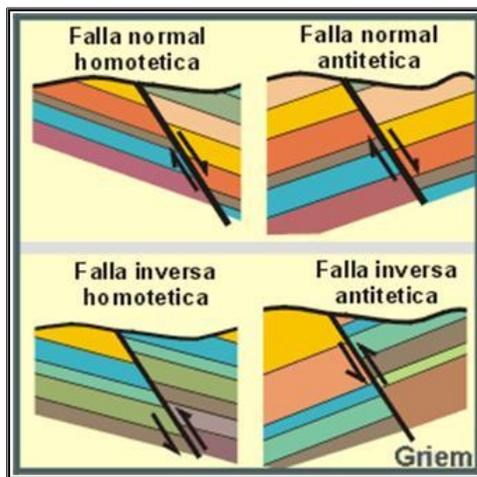


Figura 10: Fallas antitéticas y homotéticas (Fuente: www.geovirtual.cl/.../gestr04a.htm)

Las fallas transcurrentes o de desplazamientos de rumbo son aquellas en las que los bloques se movieron lateralmente uno respecto del otro, donde el movimiento dominante es horizontal, y se originan por compresiones tangenciales a la superficie terrestre. Se dividen en dos tipos: sinistral y dextral, depende de la dirección del movimiento que presente cada bloque.



Figura 11: Falla Transcurrente (Fuente: [http://www.funvisis.gob.ve/glosario .php](http://www.funvisis.gob.ve/glosario.php))

Las fallas con desplazamiento horizontal se clasifican según lo siguiente:

Fallas con un sentido del movimiento sinistral (en contra de las manecillas del reloj) y fallas con un sentido del desplazamiento dextral (en sentido de las manecillas del reloj).



Figura 12: Fallas de rumbo, desplazamiento horizontal (Fuente: www.geovirtual.cl/.../gestr04a.htm)

Adicionalmente se establecen los siguientes términos relacionados con las fallas:

Falla transformante. Es la falla de rumbo de orden litosférico, se ubica en el límite de placas tectónicas.

Fosa tectónica. Definida como la depresión de la corteza terrestre limitada lateralmente por fallas.

¹Relacionado con la actividad de las fallas determina la siguiente clasificación:

Falla activa. Es la que ha tenido actividad durante el holoceno, o sea, durante los últimos 10 000 años. Presenta un lineamiento geomorfológico prominente y puede tener asociada actividad sísmica histórica.

Falla neotectónica o potencialmente activa. La misma ha tenido actividad durante el Cuaternario, cercana a los últimos 1,6 millones de años. Puede presentar un lineamiento geomorfológico prominente o moderado.

Falla posiblemente neotectónica. Aquella que tuvo actividad durante el período Terciario, es decir, hace más de 1,6 millones de años; sin embargo no se debe descartar su posible actividad durante el período Cuaternario. Muestra un lineamiento moderado o débil.

¹ Linkimer 2003

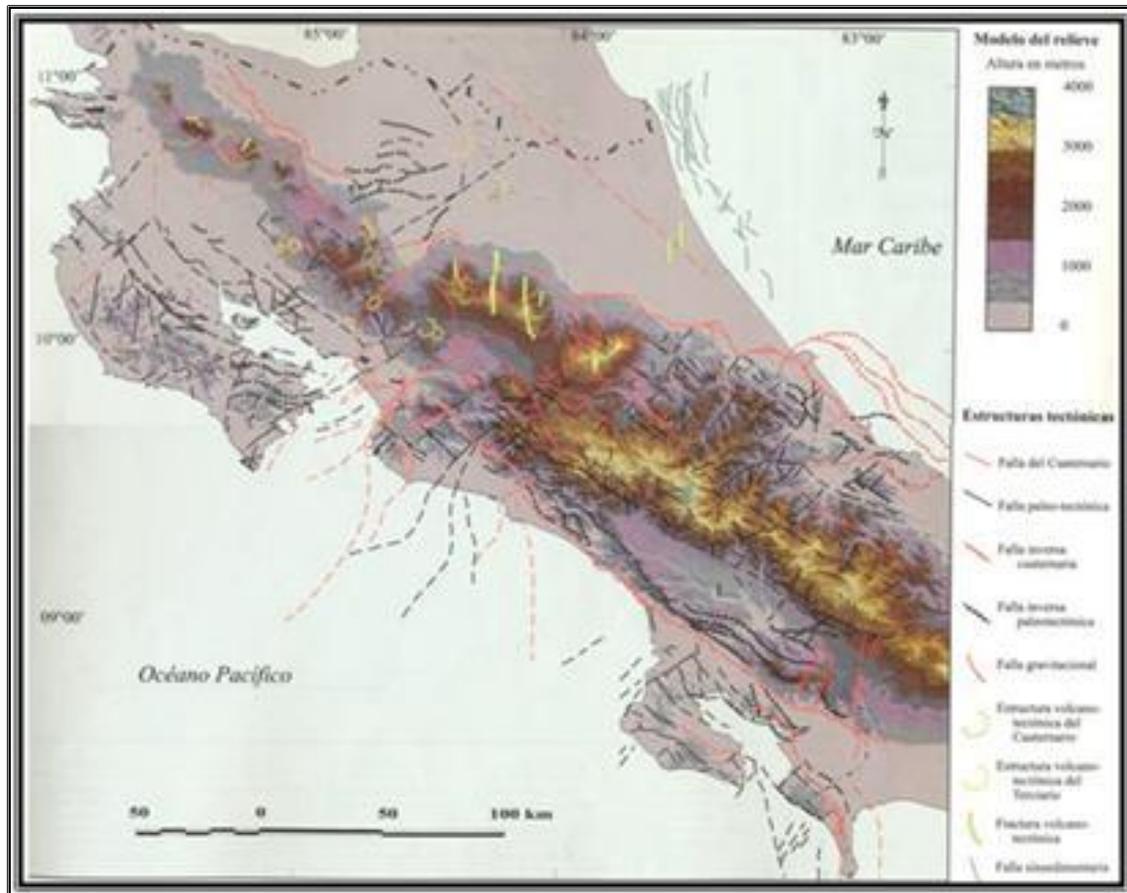


Figura 13: Fallas locales de Costa Rica (Fuente: Denyer, Montero & Alvarado, 2003)

2.1.3.1 Partes de una falla

Plano de falla. Se define como la superficie sobre la que se ha producido el movimiento, horizontal, vertical u oblicuo.

Asimismo se describe los labios de falla como los dos bordes o bloques que se han desplazado. En el desplazamiento vertical, los bordes reciben los nombres de labio hundido (o interior) y labio elevado (o superior), depende de la ubicación de cada uno de ellos con respecto de la horizontal relativa. Para el desplazamiento inclinado, uno de los bloques se desliza sobre el otro,

de esta forma el bloque que queda por encima del plano de falla se llama techo y el que queda por debajo se define como muro.

El salto de falla por su parte lo establece como la distancia vertical entre dos estratos que originalmente formaban una unidad, desde los bordes del bloque elevado hasta los del bloque hundido. Dicha distancia puede ser de tan sólo unos pocos milímetros (cuando se produce la ruptura), hasta varios kilómetros debido a que suele ser el resultado de un largo proceso geológico en el tiempo.

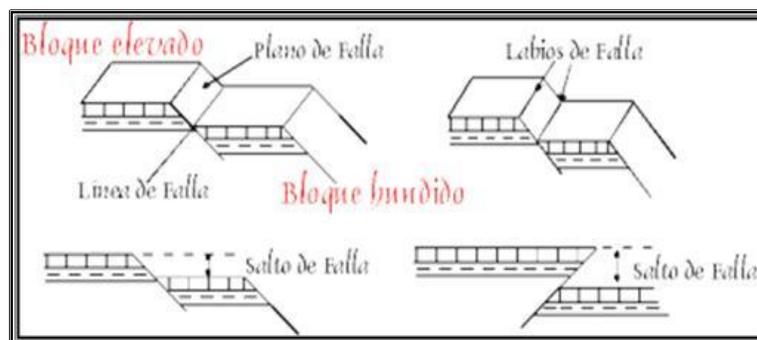


Figura 14: Partes de una falla
(Fuente:[http://enciclopedia.us.es/index.php/Falla_\(geolog%C3%ADa\)](http://enciclopedia.us.es/index.php/Falla_(geolog%C3%ADa)))

2.2 Información Vulcanológica

2.2.1 Formación de los volcanes

La mayoría de los volcanes están distribuidos en los límites de subducción, además en las dorsales oceánicas o en los arcos de islas.

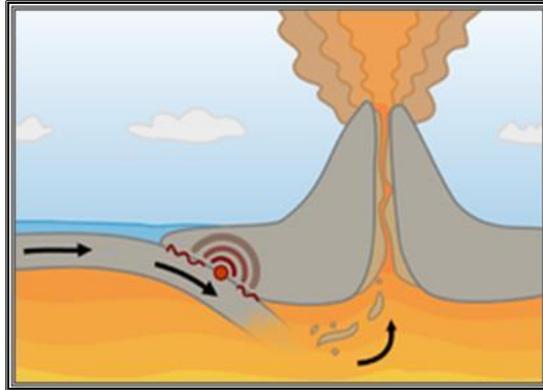


Figura 15: Diagrama de margen de placa destructivo, causa la formación de volcanes (Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Vulcanolog%C3%ADa>)

Los volcanes se ubican generalmente sobre estos límites, sin embargo en ocasiones existen anomalías de calor de forma localizada que pueden generar un vulcanismo. Ejemplo de ello es el vulcanismo de las Canarias o el de Yellowstone.

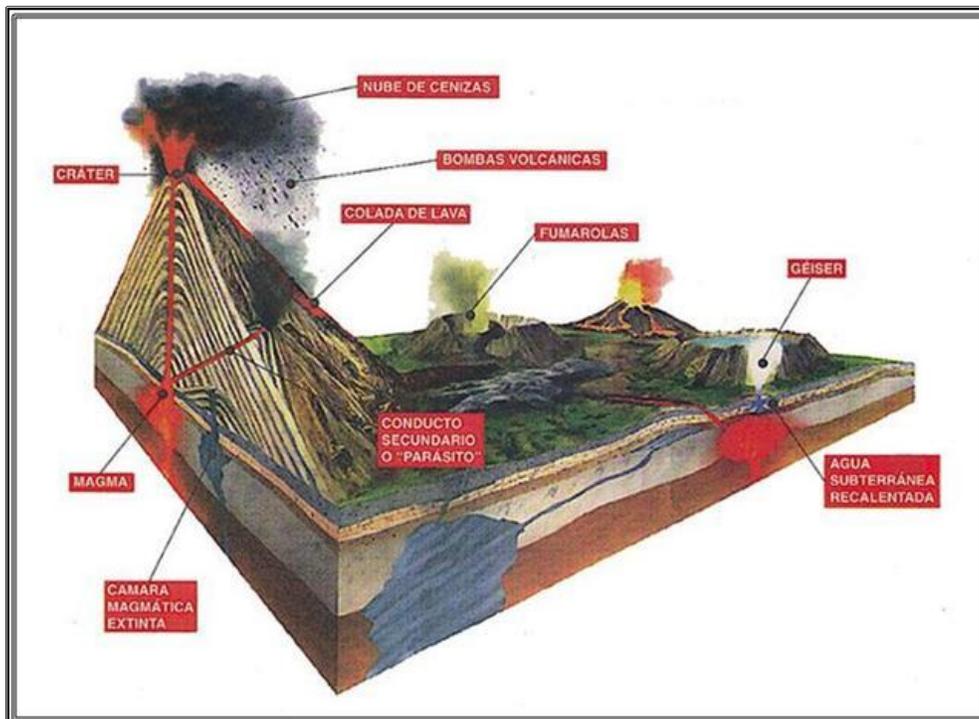


Figura 16: Comportamientos más comunes en la formación de volcanes (Fuente: <http://defensacivilmaimon.wordpress.com/2009/03/09/los-desastres-naturales/>)

Como descripción de los fenómenos se determina que a una erupción le puede seguir el movimiento de magma hacia la capa sólida (la corteza de la tierra) bajo un volcán y creando una cámara. Consecuentemente, el magma del depósito puede ser expulsado hacia arriba y acaba fluyendo sobre la superficie de la tierra en forma de lava, en otros casos el magma expulsado puede calentar el agua de los alrededores, transformándola en vapor, lo que aumentaría considerablemente la presión.

Debido a ello, existe la posibilidad de que se produzcan erupciones explosivas, las cuales pueden expulsar gran cantidad de restos volcánicos, como ceniza volcánica (también llamada tephra) e inclusive bombas volcánicas, las que pueden llegar a ser lo suficientemente grandes como para matar a personas y animales. Estas erupciones pueden catalogarse entre efusivas y extremadamente explosivas.

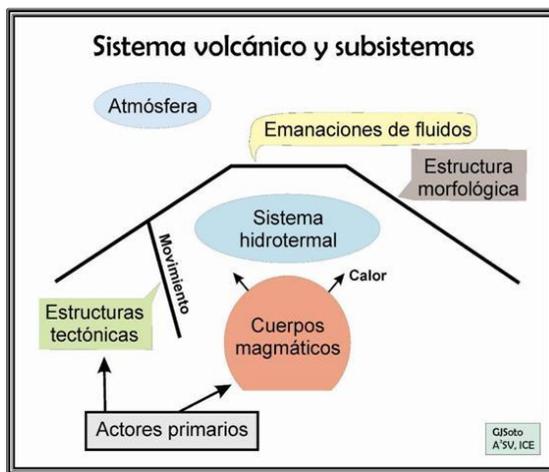


Figura 17: Composición volcánica (Fuente: Soto & Alvarado, 2010)

Para efectos de conocer y enumerar los elementos que conforman una erupción volcánica, se ubican dichos elementos en la figura adjunta para lograr una mejor comprensión de los mismos.

1.Pluma volcánica

2. Lapilli

3. Fuente de lava

4.Lluvia de ceniza volcánica

5. Bomba volcánica

6.Colada de lava

7.Estratos de lava y de ceniza

8.Estrato geológico

9.Sill

10.Chimenea volcánica

11.Cámara magmática

12.Pico volcánico

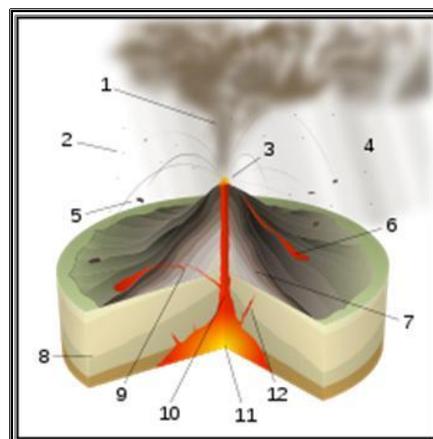


Figura 18: Esquema de erupción volcánica (Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Vulcanismo>)

2.2.2 Volcanes más comunes

Según sus características se definen los volcanes más comunes de la siguiente manera:

Volcanes en Escudo. Típicos de las islas de Hawái. Se muestran a través de fisuras o por el cráter. Presentan fases de actividad intensa, en las que se emiten fuentes de lava y fases tranquilas en las que se derraman coladas.

Volcanes compuestos o estratovolcanes. Caracterizados por presentar un edificio volcánico con pendientes fuertes, suelen ser simétricos y de grandes dimensiones.

Conos de ceniza. Constituidos por partículas y lava mezclada con gases. En este tipo de volcanes, la lava es expulsada violentamente rompiéndose en pequeños fragmentos que se solidifican y caen alrededor del centro emisor. Este es el tipo de volcán más simple de todos.

Domos de lava. Conformados por masas de lavas bulbosas y relativamente pequeñas. La lava es viscosa por lo que no es posible que fluya a grandes distancias, por lo que se apila sobre y alrededor de su centro emisor.

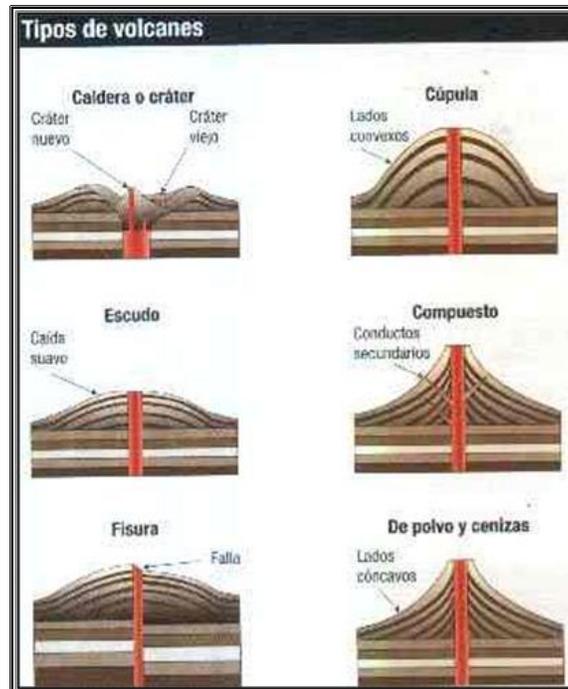


Figura 19: Tipos más comunes de volcanes 1 (Fuente: http://misterios1.tripod.com/los_volcanes.htm)

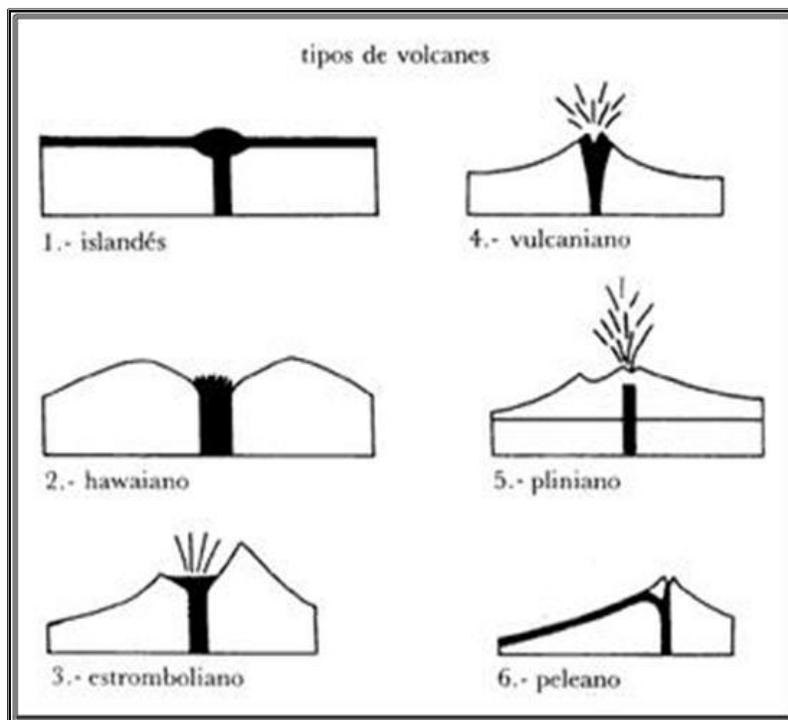


Figura 20: Tipos más comunes de volcanes 2 (Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/54/htm/sec_8.html)

2.2.3 Tipos de erupciones volcánicas

Todos los volcanes muestran un patrón de comportamiento diferente en su erupción, de esta forma unos pueden emitir vapor y gases volcánicos, otros pueden provocar erupciones en forma explosiva con grandes cantidades de lava. Las explosiones más violentas se dan cuando el volcán emite enormes columnas de gas, ceniza y escombros a la atmósfera; lo que se conoce también como flujos piroclásticos.

El tipo de erupción volcánica suele denominarse según el nombre de un conocido volcán cuyas características de comportamiento han sido similares. Algunos volcanes pueden mostrar sólo una de las características de los tipos de erupciones, en cambio otros ofrecen una variedad de tipos de erupciones.

TIPO	NATURALEZA DEL MAGMA	CARACTERISTICAS
Islandiana	Fluido (basáltico)	Erupción de fisura, emisiones no explosivas de medianos a grandes volúmenes de lava basáltica. Producen extensos campos planos de lava algunos pequeños conos de salpicaduras de escoria.
Hawaiana	Fluido (basáltico)	Similar a la Islandiana, pero con actividad central más pronunciada. Frecuente aparición de grandes fuentes de lava.
Stromboliana	Moderadamente fluido, dominan los basaltos	Erupciones más explosivas que las Hawaianas, con una mayor proporción de fragmentos y piroclastos. La actividad puede ser rítmica o continua. Producen conos de escoria de tamaño pequeño a regular. Ejemplo: Parícutín, 1943.
Vulcaniana	Viscoso	Explosividad moderada a violenta con emisiones de fragmentos sólidos o semisólidos de lava juvenil, bloques líticos, cenizas y pómez. Producen conos de ceniza, de bloques o combinaciones. Ejemplos: El Chichón, marzo 28 de 1982.
Peleana	Viscoso	Similar a la vulcaniana, pero más explosiva, con emisiones de violentos flujos piroclásticos. Produce domos, espinas y conos de ceniza y pómez.
Pliniana	Viscoso	Emisión paroxísmica de grandes columnas eruptivas y flujos piroclásticos. Intensas explosiones producen extensas lluvias de ceniza y lapilli. Pueden producir colapso del edificio volcánico y formación de calderas. Ejemplo: El Chichón, abril 4 de 1982.
Ultrapliniana	Viscoso	Erupción paroxísmica pliniana, extremadamente grande y destructiva.
Flujos riolíticos	Viscoso	Enormes flujos de ceniza que con volúmenes de varias decenas o centenas de kilómetros cúbicos, pueden cubrir grandes extensiones con cenizas o pómez semifundidas.

Tabla 1: Clasificación de las erupciones volcánicas (Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos/volcanes/volcanes.shtml>)

Las erupciones freatomagmáticas se definen como aquellas que se producen en cualquiera de los tipos de erupciones explicadas anteriormente, que ocurren cuando el magma entra en contacto con aguas frías subterráneas o de lagos, genera violentas explosiones provocadas por la mezcla del magma con el agua.

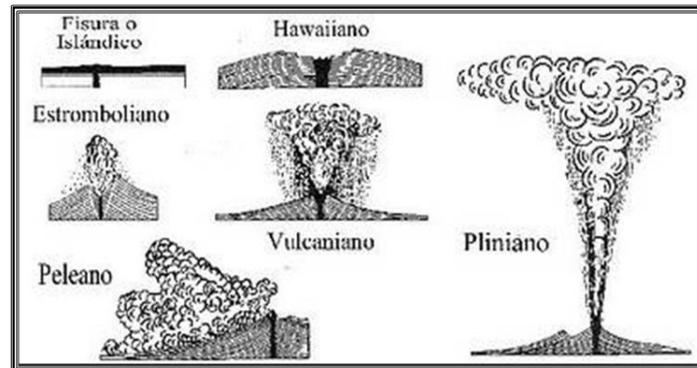


Figura 21: Tipos más comunes de erupciones volcánicas (Fuente: <http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/programa.htm>)

2.2.4 Medición de las erupciones volcánicas

Con el fin de medir e interpretar las explosiones eruptivas de los volcanes fue establecido el Índice de Erupciones Volcánicas (VEI), el mismo fue elaborado por Chris Newhall del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y Steve Self, en la Universidad de Hawái en 1982.

El valor de una explosión volcánica se basa en el volumen de los productos, la altura de la nube emitida y la calidad de las observaciones realizadas. La escala del VEI, de 0 a 8, donde el índice 0 es para las erupciones no explosivas, el 8 aplica para las erupciones explosivas mega colosales

que pueden emitir hasta 10^{12} metros cúbicos de tefra y contienen una columna que alcanza una altura de hasta 25 kilómetros. Se pueden aplicar valores superiores a 8, si fuese necesario.

El VEI no contempla la densidad del material expulsado por el volcán; la ceniza, las bombas volcánicas, otros. Adicionalmente no tiene en cuenta la magnitud del poder de la erupción.

VEI	Descripción	Altura Pluma	Volumen	Clasificación	Periodicidad	Ejemplo
0	No explosiva	<100 m	1000s m ³	Hawaiana	Diaria	Kilauea
1	Leve	100-1000 m	10.000s m ³	Hawaiana/ Stromboliana	Diaria	Stromboli
2	Explosiva	1-5 km	1.000.000s m ³	Stromboliana/ Vulcaniana	Semanal	Galeras en 1992
3	Severa	3-15 km	10.000.000s m ³	Vulcaniana	Anual	Ruiz en 1985
4	Cataclismo	10-25 km	100.000.000s m ³	Vulcaniana/ Pliniana	10's de años	Galunggung 1982
5	Paroxismal	>25 km	1 km ³	Pliniana	100's de años	St. Helens 1981
6	Colosal	>25 km	10 km ³	Pliniana / Ultra-Pliniana	100's de años	Krakatau 1883
7	Supercolosal	>25 km	100 km ³	Ultra-Pliniana	1000's de años	Tambora 1815
8	Megacolosal	> 25 km	1000 km ³	Ultra-Pliniana	10.000's de años	Yellowstone 2 Ma

Tabla 2: Índice de Erupciones Volcánicas (VEI) (Fuente: <http://www.alertatierra.com/volErup.htm>)

2.2.5 Los peligros de un volcán

Desde el punto de vista de amenazas volcánicas se enumeran las siguientes:

- Flujos de lava.
- Caída de cenizas.
- Nubes ardientes.

- Impactos directos.
- Lahares.
- Gases volcánicos.
- Sismos volcánicos.
- Tsunamis.
- Nubes de ceniza que afectan la navegación aérea.

A continuación se definen los peligros más comunes de un volcán como se muestra a continuación:

Lahares (coladas de barro) y avalanchas de derrubios. Los lahares pueden ser fríos o calientes, se generan cuando el agua de lluvia, el hielo glaciario o la nieve de una cumbre se funden debido al calor del volcán, por lo que el agua resultante en su descenso arrastra grandes cantidades de cenizas, suelos volcánicos, grandes bloques y árboles. Estas coladas de barro pueden moverse a más de 50 km/h logrando triturar, enterrar y arrastrar todo a su paso.

Coladas piroclásticas. Son avalanchas incandescentes y emisiones de gas caliente, las cuales se producen cuando en erupciones explosivas, los gases volcánicos se mezclan con agua. Estas nubes piroclásticas podrían alcanzar más de 300 km/h y cubrir áreas muy grandes.

Depósitos de tefra. Fragmentos piroclásticos que son expulsados hacia la atmósfera, si es muy pequeño se le llama ceniza. En erupciones violentas el tefra puede ser llevado a altas capas de la atmósfera, es transportado por el viento y depositándose a miles de kilómetros; aunado a que los depósitos de ceniza representan un serio problema económico, ya que contiene vidrio volcánico, que puede desgastar prematuramente motores, maquinaria, otros.

Coladas de lava. Término que se utiliza cuando el magma del interior de la Tierra se emita por fisuras o conos volcánicos, representan escaso peligro ya que estas siguen los cursos descendentes impuestos por la topografía.

Además se puede clasificar la peligrosidad de los eventos volcánicos en cuatro niveles, los cuales se detallan en la tabla adjunta:

Peligrosidad	Evento volcánico
Baja	Salida de gases, lluvia ácida
	Ondas de choque
Media	Sismos
	Domos y flujos de lava
	Deslizamientos
Alta	Caída de tefra
	Caída de proyectiles balísticos
	Oleadas piroclásticas
	Explosiones dirigidas
Muy alta	Flujos piroclásticos
	Lahares
	Avalanchas volcánicas
	Tsunamis

Tabla 3: Niveles de peligrosidad de eventos volcánicos (Fuente: Soto & Alvarado, 2010)

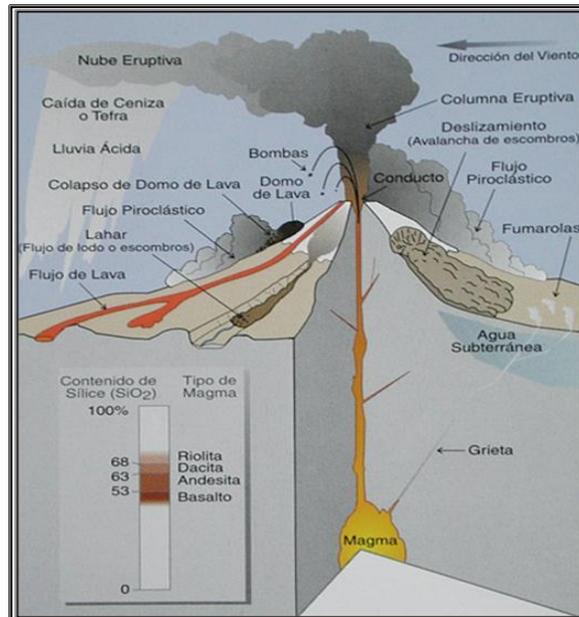
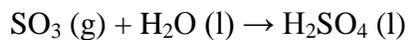


Figura 22: Comportamientos peligrosos de un volcán (Fuente: <http://www.alertatierra.com/volErup.htm>)

2. 2.6 Composición de los materiales expulsados por los volcanes

2.2.6 1 Lluvia ácida

Una parte del SO₂ (dióxido de azufre) emitido a la atmósfera procede de la emisión natural que se produce por las erupciones volcánicas, el SO₂ se oxida para transformarse en SO₃ (trióxido de azufre), el cual puede quedar disuelto en las gotas de lluvia. En presencia del agua atmosférica o sobre superficies húmedas, el trióxido de azufre (SO₃) se puede convertir en ácido sulfúrico (H₂SO₄).



Adicionalmente otros gases producto de erupciones volcánicas que pueden contribuir con la lluvia ácida son los cloruros y los nitratos, los cuales se pueden transformar en ácidos como ácido clorhídrico y ácido nítrico.

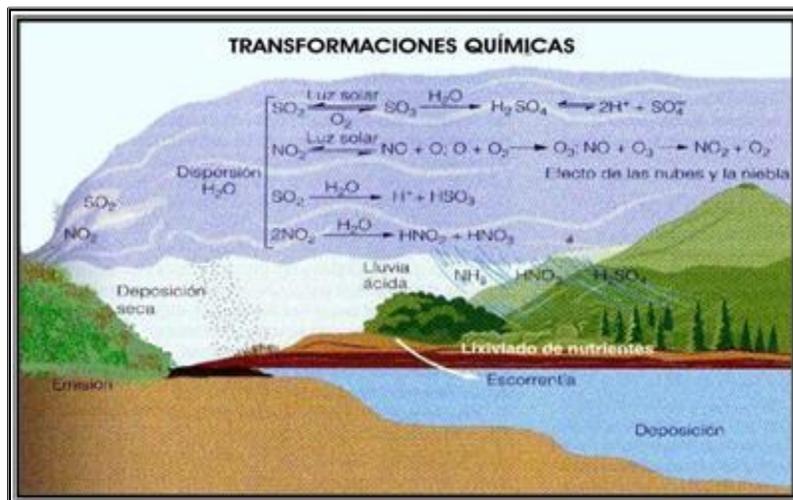


Figura 23: Diagrama de lluvia ácida (Fuente: MAG, INTA, UCR, FITOSANITARIO, SENASA, 2010)

2.2.6 2 Lavas

Se conforman de óxidos diversos y su composición y granulometría varían de acuerdo con el tipo de lava, ya sea basáltica, andesítica o riolítica como se muestra en el diagrama adjunto.

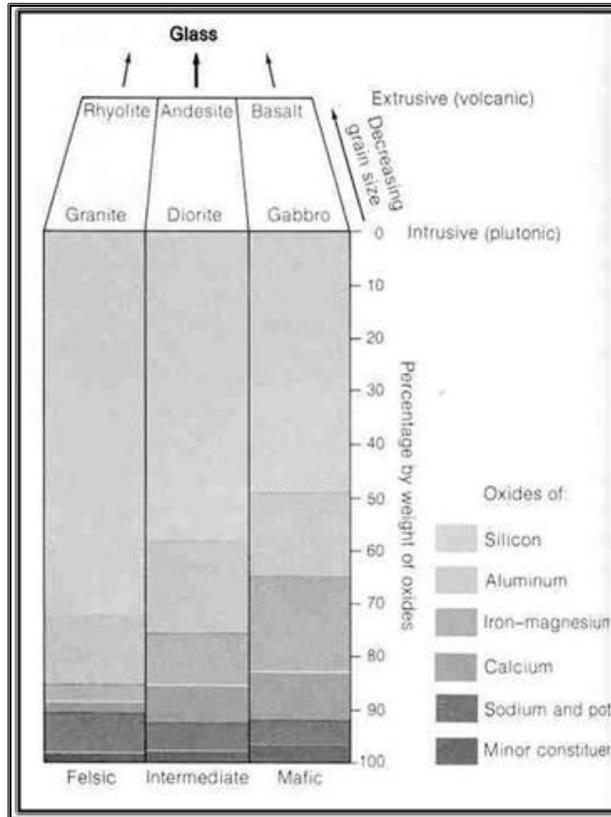


Figura 24: Composición promedio de los principales tipos de lava y sus contrapartes intrusivas (Fuente: Voskuil, n.d.)

2.2.6 .3 Materiales piroclásticos

La liberación explosiva de gases desde el magma/lava genera 'piroclastos' ('piro' = fuego y 'clastos' = fragmentos), los cuales generalmente son de origen ácido/intermedio y sus tamaños

varían desde cenizas menores que 4 mm, lapilli que oscila entre 4 y 32 mm, bombas y bloques que corresponden a fragmentos mayores que 32 mm.

2.2.6.4 Flujos piroclásticos

Los flujos piroclásticos son la mezcla de materiales piroclásticos y gases, nubes ardientes/avalanchas ardientes, representados por flujos calientes y venenosos que destruyen todo lo que encuentran a su paso.

2.2.6.5 Flujos de lodo Volcánico/Lahares

Corresponden a la mezcla de detritos volcánicos de todos los tamaños y agua. El contenido de agua afecta la movilidad del flujo.

Las posibles fuentes de agua para los lahares son:

- Agua en el cráter, lago volcánico.
- Lluvia.
- Glaciar, hielo o nieve.

Las fuentes de detritos son:

- Depósitos de caída piroclástica.
- Depósitos de flujo piroclástico.
- Materiales del fondo de valles.

Se presentan dos tipos de lahares, los de erupción que corresponden a flujos calientes y los provocados por lluvia.

Los lahares presentan amenaza de ‘desbordamiento’ de estos materiales que provocan los flujos de lodo.

2.3 Vulcanismo asociado a placas tectónicas

Los patrones globales de vulcanismo están relacionados con los límites de las placas tectónicas, al determinar las regiones sísmicamente activas. El tipo de actividad volcánica depende principalmente del tipo de límite de placa al que se encuentre asociada. Cada tipo de erupción se caracteriza por una combinación específica de amenazas volcánicas.

De esta manera se establece el tipo de límite de placa y el tipo de erupción asociada según lo siguiente:

- Placas Divergentes: generan erupciones “calmadas” de magma basáltico.
- Placas Convergentes (subducción): provocan erupciones explosivas de magmas andesíticos.
- Intraplaca (puntos calientes, hot spots): erupciones de magma basáltico.

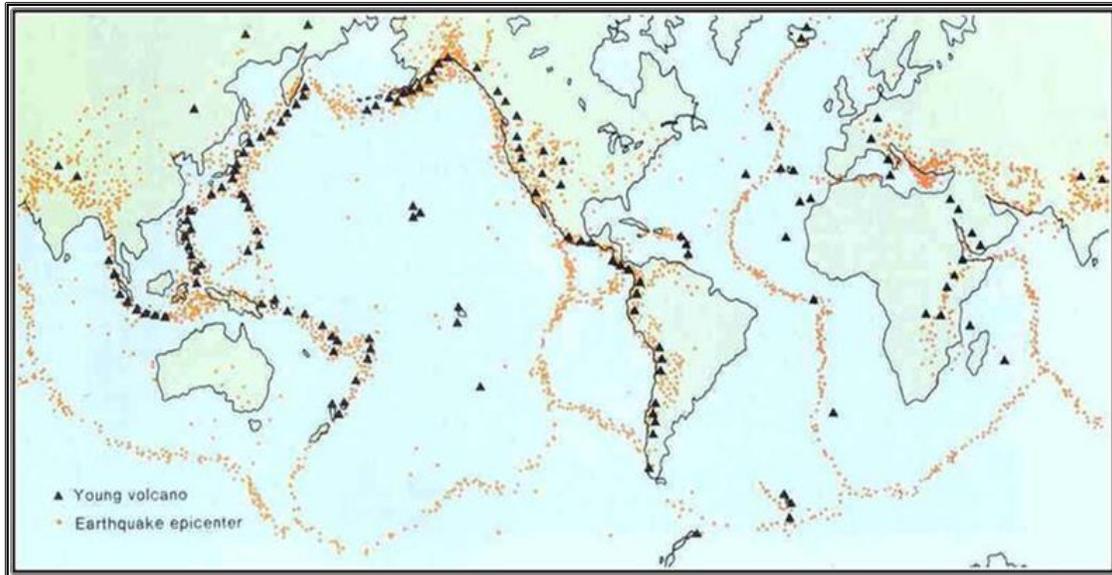


Figura 25: Patrones globales de vulcanismo (Fuente: Voskuil, n.d.)

2.4 Sismos, su origen y consecuencias

2.4.1 Tipos de sismos

Los sismos pueden agruparse de acuerdo con su origen, en tectónicos, volcánicos y de colapso según lo siguiente:

-Los sismos tectónicos son los producidos por rupturas de grandes dimensiones en la zona de contacto entre placas tectónicas (sismos interplaca), o en zonas internas de éstas (sismos intraplaca).

-Los sismos volcánicos son el resultado del movimiento de fluidos y gases, así como de la generación de fracturas para permitirlo o bien del colapso de cavidades ocasionadas por salidas de magma.

-Los sismos de colapso son producidos principalmente por el derrumbamiento de techos de cavernas o minas, suelen ser percibidos en áreas reducidas.

2.4.2 Amenazas de los sismos

2.4.2.1 Principal amenaza de los sismos

En etapas previas a episodios de actividad volcánica mayor, los eventos sísmicos se presentan poco (algunos sismos por día o por mes). Sin embargo, poco antes y durante una erupción volcánica, la actividad sísmica aumenta y presenta en ocasiones hasta cientos de sismos en pocas horas.

Según indican las estadísticas mundiales, los sismos volcánicos en pocas ocasiones han superado los 6 grados de magnitud (escala Richter), debido a ello la probabilidad de que un volcán pueda ocasionar daños por la actividad sísmica asociada es menor que la que puedan ocasionar sismos de origen tectónico.

2.4.2.2 Amenazas secundarias asociadas con sismos

Entre las amenazas secundarias asociadas a eventos sísmicos, se pueden enumerar las siguientes:

- Avalanchas.
- Flujos de tierra y lodo.
- Asentamiento diferencial del suelo.
- Licuefacción.
- Deslizamientos.
- Inundaciones debido a rompimiento de presas y diques naturales.
- Incendios, etc.

2.4.2.3 Actividad sísmica en volcanes

Para el estudio de la sismología volcánica es fundamental obtener los patrones de actividad sísmica que permitan establecer en forma oportuna la probabilidad de una erupción volcánica, en consecuencia determinante para la protección de las poblaciones cercanas. La actividad sísmica en volcanes suele presentarse meses o años en forma previa a otras manifestaciones observables desde el exterior. Como ejemplos de otras manifestaciones se pueden citar la emisión de vapor, gases o cenizas, el calentamiento del agua de la laguna que puede formarse en el cráter, entre otras.

2.4.2.4 Significado de las señales sísmicas de los volcanes

En el nivel mundial se han establecido según su comportamiento, cuatro categorías de sismos volcánicos según lo siguiente:

- Los llamados tipo "A": similares a los tectónicos, por lo general se presentan en profundidades hasta de 20 Km, con carácter impulsivo en sus fases iniciales. La localización de su hipocentro determina su agrupamiento en un volumen definido y de forma numerosa, además se considera que estos eventos se deben a fracturas de materiales corticales.
- Los de tipo "B": corresponden a sismos de poca profundidad y muestran un aumento gradual de sus amplitudes con el tiempo. Constituidos en parte por ondas superficiales, probablemente por la resonancia debida a presiones transitorias en una fractura saturada con fluidos.
- Trémores armónicos. Su vibración es continua y puede prolongarse por varias horas con amplitudes regulares que muestran un contenido de frecuencia relativamente estable. Se estima aunque no es un hecho, que se deben a la oscilación continua de elementos del aparato volcánico, o desplazamiento de magma.
- Sismos volcánicos explosivos. Llegan a presentarse durante erupciones explosivas, tienen magnitudes generalmente pequeñas y pudiendo sentirse a poca distancia del volcán. No representan en sí riesgo para las construcciones por la vibración que producen en el suelo, esto debido a que la mayor parte de la energía de la explosión se disipa en el aire.

2.5 Escalas utilizadas para la medición de eventos sísmicos

Una es la escala de Richter, un sistema científico que mide la energía liberada por el seísmo en su epicentro. Sin embargo, debido a que los seísmos se sienten desde varios kilómetros de distancia y en esos lugares no es posible calcular la energía, por lo que se utiliza la escala de Mercalli (subjetiva), que es una escala de 1 al 12 en los que cada punto se establece a partir de los daños y efectos visibles del seísmo. De esta manera se puede determinar que Richter es magnitud y Mercalli es intensidad.

2.5.1 Escala Richter

Se define que esta es una escala logarítmica arbitraria, que asigna un número para cuantificar el efecto de un terremoto, denominada así en honor del sismólogo estadounidense Charles Richter. Al inicio Richter reportó valores con una precisión de un cuarto de unidad, posteriormente utilizó números decimales.

$$M = \log A + 3 \log(8\Delta t) - 2.92$$

Donde:

A = amplitud de ondas (en milímetros), tomada desde el sismograma.

Δt = tiempo (en segundos) al iniciar las ondas P hasta que comienzan las ondas S.

M = magnitud arbitraria y constante a terremotos que liberan la misma energía.

El logaritmo en la escala refleja la energía que se desprende en un terremoto, incorporado a la escala hace que los valores de cada nivel aumenten de forma exponencial y no lineal. Esta escala es "abierta", no existe un límite máximo teórico, a excepción del dado por la energía total acumulada en cada placa tectónica.

Magnitud en Escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total en comunidades cercanas

Tabla 4: Magnitudes escala Richter y efectos de terremotos (Fuente: <http://www.angelfire.com/ri/chterymercalli/>)

Adicionalmente a la fecha, la mayor liberación de energía que ha podido ser medida en esta escala se dio en el terremoto ocurrido en la ciudad de Valdivia (Chile), el 22 de mayo de 1960, que alcanzó una magnitud de momento (MW) de 9,5.

Con el fin de contar con parámetro de medición de la escala con respecto de los eventos, a continuación se muestra una tabla con magnitudes y el equivalente en energía liberada.

Magnitud Richter	Equivalencia de la energía TNT	Referencias
-1,5	1 g	Rotura de una roca en una mesa de laboratorio
1,0	170 g	Pequeña explosión en un sitio de construcción
1,5	910 g	Bomba convencional de la Segunda Guerra Mundial
2,0	6 kg	Explosión de un tanque de gas
2,5	29 kg	Bombardeo a la ciudad de Londres
3,0	181 kg	Explosión de una planta de gas
3,5	455 kg	Explosión de una mina
4,0	6 t	Bomba atómica de baja potencia.
5,0	199 t	Terremoto en Albolote de 1956 (Granada, España)
5,5	500 t	Terremoto de El Calvario (Colombia) de 2008
6,0	1.270 t	Terremoto de Double Spring Flat 1994 (Nevada, Estados Unidos)
6,1	300 t	Terremoto en Terremoto de Managua (Nicaragua de 1972)
6,2		Terremoto del Estado Carabobo (Venezuela) de 2009
6,5	31.550 t	Terremoto de Northridge de 1994 (California, Estados Unidos)
7,0	199.000 t	Terremoto de Puerto Príncipe de 2010 (Haití)
7,2	250.000 t	Terremoto de Baja California de 2010 (Mexicali, Baja California)
7,5	750.000 t	Terremoto de Cauce de 1977 (Argentina)
7,8	1.250.000 t	Terremoto de Sichuan de 2008 (China)
7,9	5.850.000 t	Terremoto del Perú de 2007 (Pisco, Perú)
8,1	6.450.000 t	Terremoto de México de 1985 (Distrito Federal, México)
8,5	31,55 millones de t	Terremoto de Sumatra de 2007
8,8	100 millones de t	Terremoto de Valdivia de 1575 (Chile)
9,0	150 millones de t	Terremoto de La Ligua de 1965 (Chile)
9,2	220 millones de t	Terremoto de Chile de 2010
9,3	260 millones de t	Terremoto de Anchorage de 1964 (Alaska, Estados Unidos)
9,5	280 millones de t	Terremoto de Valdivia de 1960 (Chile)
10,0	6.300 millones de t	Choque meteorito rocoso, 2 km de diámetro que impacte a 25 km/s
12,0	1 billón de t	Fractura de la Tierra por el centro Cantidad de energía solar recibida diariamente en la Tierra
13,0	108 megatonnes = 100 teratonnes	Impacto en la península de Yucatán que causó el cráter de Chicxulub hace 65 Ma
~25.0	¿?	Impacto planetario tamaño de Marte hace 4.000 millones de años. No hay lugar preciso del impacto debido al tamaño del planetario.

Tabla 5: Magnitudes de la escala Richter y su equivalente en energía liberada (Modificado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Escala_sismol%C3%B3gica_de_Richter)

2.5.2 Escala Mercalli

Esta escala debe su nombre al físico italiano Giuseppe Mercalli y consta de 12 puntos identificados en números romanos. Está desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a las estructuras.

Con referencia a su aplicación se establece que el grado I señala que el seísmo es casi imperceptible, sin embargo para el grado XII establece que la destrucción es total con pocos sobrevivientes. Actualmente la escala se conoce como la Escala de Mercalli Modificada y es abreviada como MM.

2.5.2.1 Escala de Mercalli Modificada

Se establece que los niveles bajos de la escala se asocian con la forma en que las personas sienten el temblor, por otra parte los grados altos están relacionados con el daño estructural observado. La tabla siguiente es una guía para interpretar la Escala de Mercalli Modificada (MM).

Grado I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
Grado II	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
Grado III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable
Grado IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
Grado V	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
Grado VI	Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
Grado VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos motorizados.
Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
Grado X	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
Grado XI	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
Grado XII	Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

Tabla 6: Escala de Mercalli Modificada (Fuente: <http://www.angelfire.com/ri/chterymercalli/>)

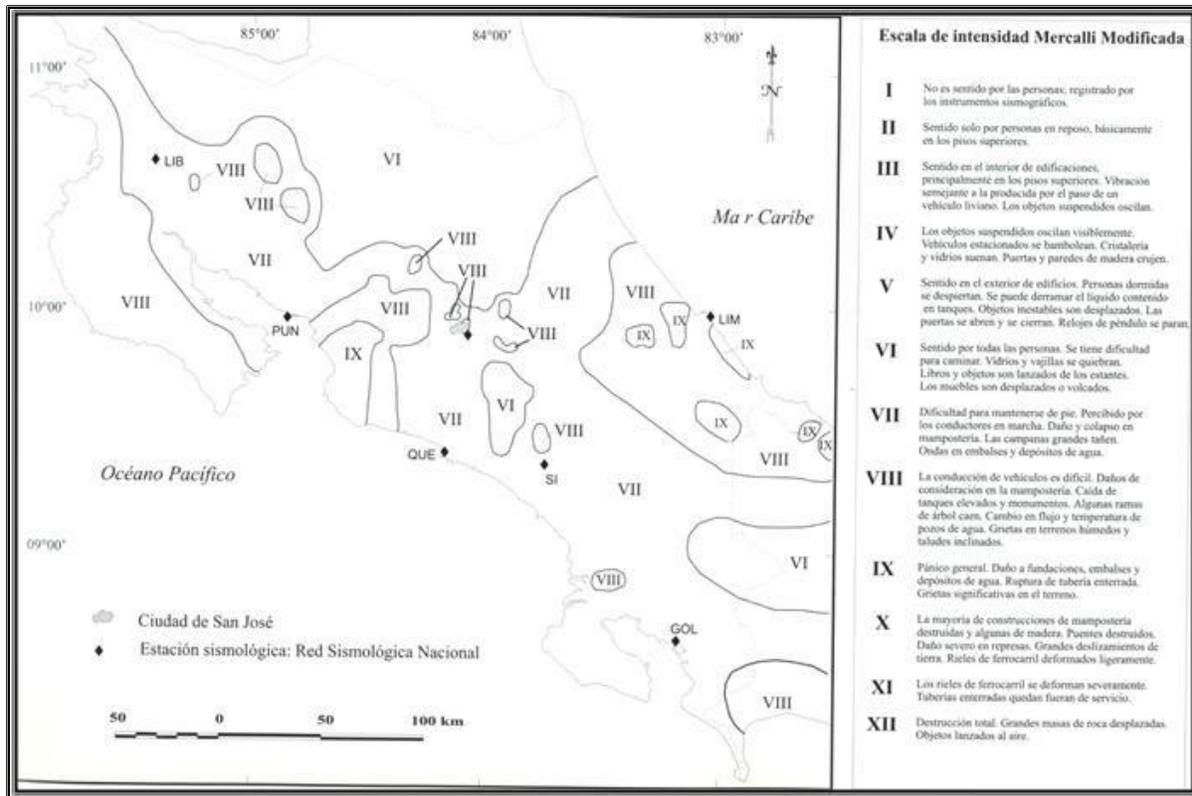


Figura 26: Intensidades máximas para Costa Rica en el siglo XX, mapa generado con los epicentros de los sismos del período de 1980 -1999 (Fuente: Denyer, 2003)

2.5.2.2 Otras escalas de intensidad

Las escalas de intensidad han sido modificadas a través de la historia, y se pretende con esto ajustarlas a la realidad de cada época y lugar, de esta forma se han implementado escalas de intensidad en Europa (EMS), en Japón (JMA), en Italia la de Rossi-Forel (RF) y en la actualidad la utilizada mundialmente que se conoce como Mercalli Modificada (MM).

La figura adjunta muestra una comparación de estas escalas, partiendo de un evento de intensidad VII medido con la escala Europea (EMS), y resulta que la medición para la escala

Mercalli Modificada (MM) se establezca entre VII y VIII, para Rossi-Forel (RF) sea VIII y para la Escala Japonesa (JMA) sea de V.

En referencia con los resultados del evento se define como dañino, con una aceleración de entre 10 – 20 % gal, lo que provoca efectos en los objetos y en la naturaleza. Al evaluar la estructura seleccionada de bloques sin refuerzo (la clase más vulnerable comúnmente), se logra determinar que gran cantidad de edificaciones presentan agrietamientos (daño de grado 2), mientras que pocas edificaciones sufren resquebrajamiento y la posible caída de fragmentos de las paredes (daño de grado 3).

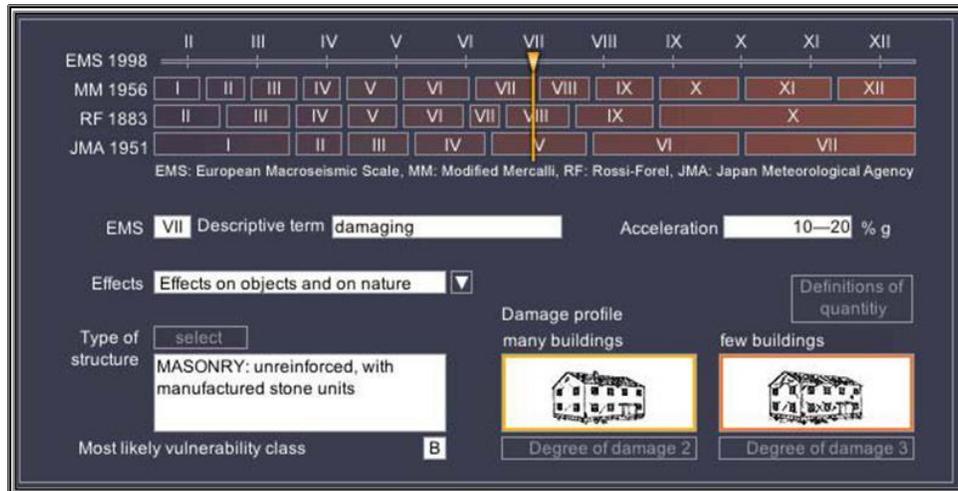


Figura 27: Otras escalas de intensidad utilizadas a través de la historia (Fuente: Voskuil, n.d.)

2.6 Terminología asociada a los sismos

Los términos sísmicos más utilizados se describen de la siguiente forma:

Terremoto. Vibraciones de la Tierra que son causadas por el paso de ondas sísmicas, irradiadas por una fuente de energía elástica.

Sismo. Es un movimiento brusco de la corteza terrestre que es capaz de cambiar por completo el paisaje de una región.

Sismo secundario. Terremoto posterior a la sacudida principal resultante de ajustes a lo largo de una falla tectónica. Son comunes después de un gran terremoto, sin embargo en su mayoría son más leves que la sacudida principal.

Enjambre (swarms). En algunas regiones se producen una serie de temblores que no tienen relación con ningún terremoto mayor, se les llama "enjambres sísmicos" y son comunes en regiones volcánicas.

Sismicidad. Término utilizado para describir la actividad sísmica en cierta área geográfica.

Epicentro. Proyección vertical del foco o hipocentro sobre la superficie terrestre, corresponde a la normal sobre el hipocentro y une en línea recta al epicentro, hipocentro y el centro de la tierra.

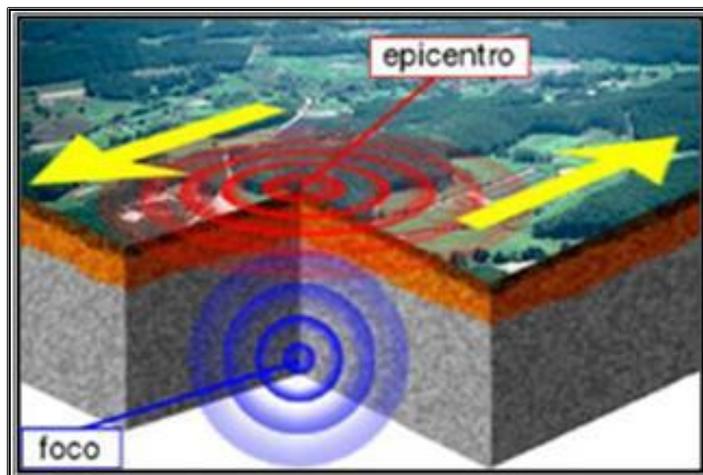


Figura 28: Epicentro y Foco de un sismo (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)

Foco o hipocentro. Lugar puntual en el interior de la tierra donde se da la ruptura que genera un terremoto.

Profundidad focal. Profundidad del foco ubicada por debajo de la superficie de la Tierra.

Distancia epicentral. Distancia existente entre el epicentro de un sismo y un punto de observación.

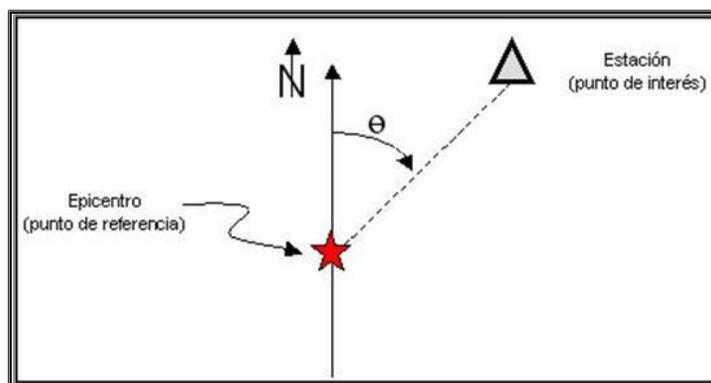


Figura 29: Diagrama de ubicación del punto de observación (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)

Zona de Benioff. Zona estrecha definida por los focos de terremotos, con espesor de unas decenas de Km., desciende desde la superficie bajo la corteza terrestre.

Magnitud. Valor dimensional que determina la energía liberada en el foco del sismo.

Magnitud local (ML). Obtenida de la máxima amplitud registrada por un sismógrafo de torsión (Wood Anderson) con constantes específicas (período = 0.8 segundos, amplificación estática = 2800 y factor de amortiguamiento = 0.8), se ubica a 100 kilómetros de la fuente del sismo.

Magnitud por ondas corpóreas (mb). Basada en la amplitud máxima de las ondas de cuerpo con período cercano a 1.0 segundos (entre 0.1 y 3.0 segundos).

Magnitud por ondas superficiales (Ms). Depende directamente de la amplitud máxima de las ondas Rayleigh definidas por 20 segundos de período.

Hertz. Unidad de frecuencia equivalente a un ciclo por segundo (2π radianes por segundo).

Licuación: proceso mediante el cual durante un terremoto, algunos suelos y sobre todo algunas arenas, dejan de comportarse como sólidos y lo hacen como un líquido, perdiendo su capacidad de soporte.

Onda sísmica. Onda elástica que normalmente se genera por un terremoto o una explosión.

Amplitud de una onda. Altura máxima medida de la cresta o del valle de una onda.

Período de una onda. Intervalo de tiempo entre dos crestas sucesivas en una secuencia de ondas sinusoidales, el período es el inverso de las frecuencias cuando se da un evento cíclico.

Refracción de una onda. Es la desviación de una onda transmitida y de su dirección original de recorrido en una interfase, con un material que contiene diferente velocidad de ondas.

2.7 Tipos y características de ondas sísmicas

2.7.1 Tipos de ondas sísmicas

Los tipos de ondas sísmicas así como su comportamiento se describen según lo siguiente:

Ondas L (Love). Ondas sísmicas superficiales con movimiento únicamente horizontal de cizalla, normal a la dirección de propagación.

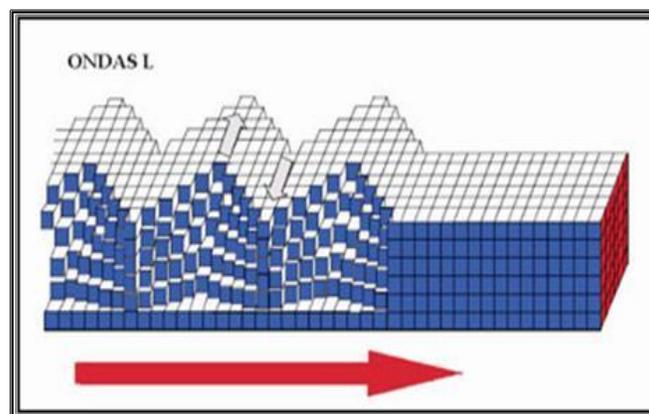


Figura 30: Diagrama de ondas sísmicas L (Love) (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)

Ondas P. Es la primera onda o la más rápida, viaja desde el lugar del evento sísmico a través de las rocas, consiste en un conjunto de compresiones y dilataciones del material. Viaja a través de los sólidos, líquidos y gases.

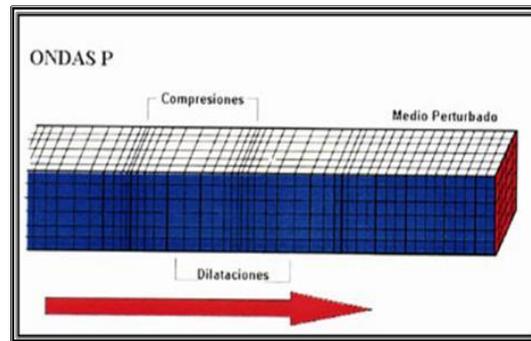


Figura 31: Diagrama de ondas sísmicas tipo P (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)

Ondas R (Rayleigh). Son ondas sísmicas superficiales de amplitud decreciente con respecto de la profundidad; el movimiento de las partículas es elíptico retrógrado, además ocurre en el plano vertical que contiene la dirección de propagación.

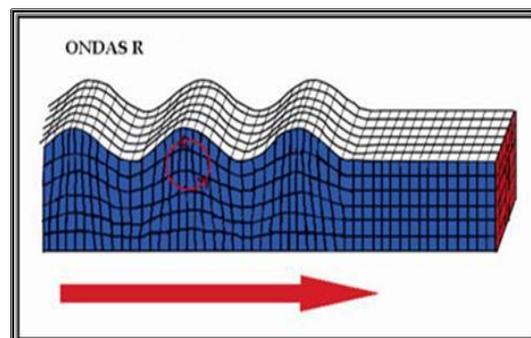


Figura 32: Diagrama de ondas sísmicas tipo R (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)

Ondas S. Ondas sísmicas secundarias, viajan más lento que las ondas P y consisten en vibraciones elásticas transversales a la dirección de recorrido. Estas ondas no pueden propagarse en los líquidos.

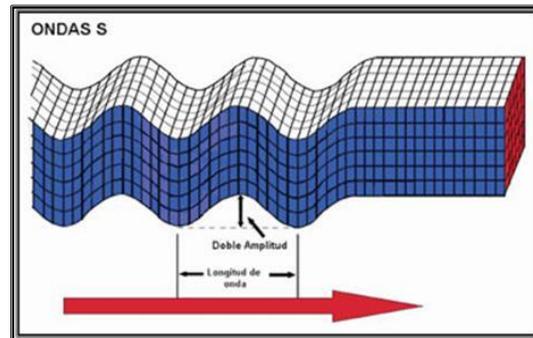


Figura 33: Diagrama de ondas sísmicas tipo S (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)

2.7.2 Características de las ondas sísmicas

Las ondas poseen propiedades, las cuales se relacionan con su amplitud, período, frecuencia, velocidad, tiempo, entre otros.

2.7.2.1 Amplitud, longitud y dirección de las ondas

La amplitud (A) es determinada por la distancia medida hasta la cresta o el valle de la onda. Por otra parte, la longitud (λ) es la distancia existente entre dos crestas consecutivas. Finalmente, la dirección (X) hace referencia al punto hacia donde se desplaza la onda.

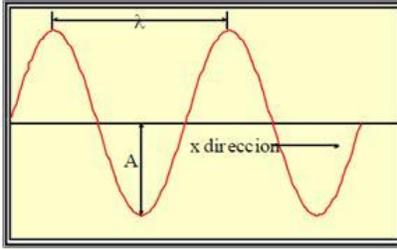


Figura 34: Amplitud (A), longitud (λ) y dirección (X) de la onda (Fuente: Voskuil, n.d.)

2.7.2.2 Frecuencia y período

La frecuencia y el período son inversamente proporcionales en los casos donde se presentan eventos cíclicos.

$$\text{Periodo} = \frac{1}{\text{Frecuencia}} \quad ; \quad T = \frac{1}{f}$$

Donde:

$$f = [s^{-1}] \text{ o } [Hz] \text{ (ciclos/segundo)}$$

$$T = [s]$$

2.7.2.3 Transporte de energía y amplitud

La amplitud de una onda está directamente relacionada con la energía que transporta, de esta forma a mayor energía, se incrementa la amplitud de onda.

$$E \propto A^2$$

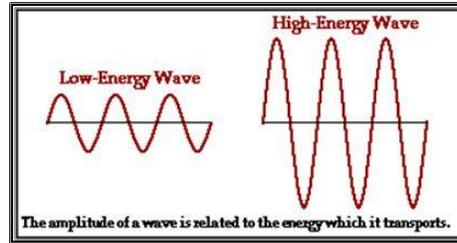


Figura 35: Diagrama de relación Amplitud – Energía de la onda (Fuente: Voskuil, n.d.)

2.7.2.4 Velocidad de la onda

La velocidad de la onda es independiente de la longitud y de la amplitud que esta presenta. Influye de sobremanera la característica del medio por el que viaja.

Velocidad (C) = Longitud de onda / período, o bien, Longitud de onda * Frecuencia:

$$c = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow$$

$$c = \lambda * f$$

2.7.2.5 Secuencia del movimiento de las ondas sísmicas

Al presentarse el evento sísmico, la primera manifestación en el terreno corresponde a un ruido, luego de esto se presenta la onda P que es la más rápida, para que luego del intervalo de tiempo P-S (período en el que acaba la onda P e inicia la onda S) se manifieste la onda S; ambas son

ondas internas del terreno. Finalmente al concluir la onda S, de forma superficial se presenta la onda L hasta que finaliza y el terreno deja de moverse.

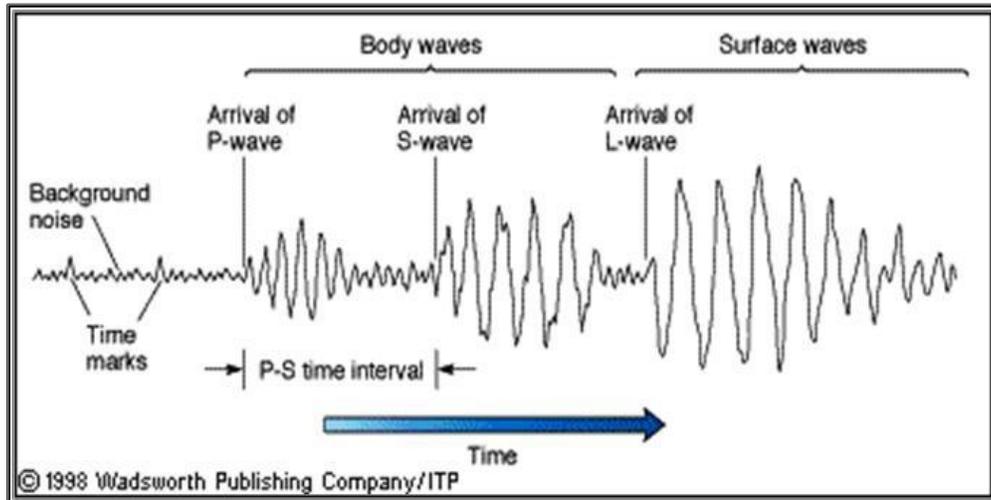


Figura 36: Diagrama de secuencia del movimiento de ondas sísmicas (Fuente: Voskuil, n.d.)

2.7.2.6 Radiación producto de los sismos

Los valores de las amplitudes de las ondas P y S aunque de formas diferentes, se distribuyen siguiendo el patrón geométrico de una hoja de trébol. Esta distribución aplica para el caso de una falla transcurrente.

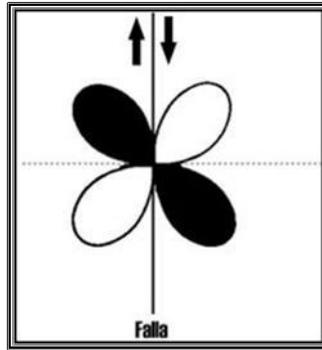


Figura 37: Radiación proveniente de un sismo (ondas P) (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)

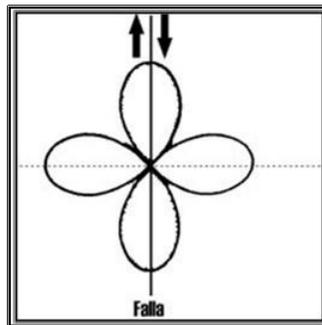


Figura 38: Radiación proveniente de un sismo (ondas S) (Fuente: http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php)

2.7.2.7 Registros más comunes de ondas sísmicas

Los registros o sismogramas más comunes de ondas sísmicas, corresponden a los sismos tectónicos y volcánicos, eventos superficiales y vibraciones armónicas del terreno. A continuación se muestra un comparativo de estos eventos con el fin de reconocer la onda que genera cada uno de ellos, como referencia se define un intervalo de tiempo de 10 segundos.

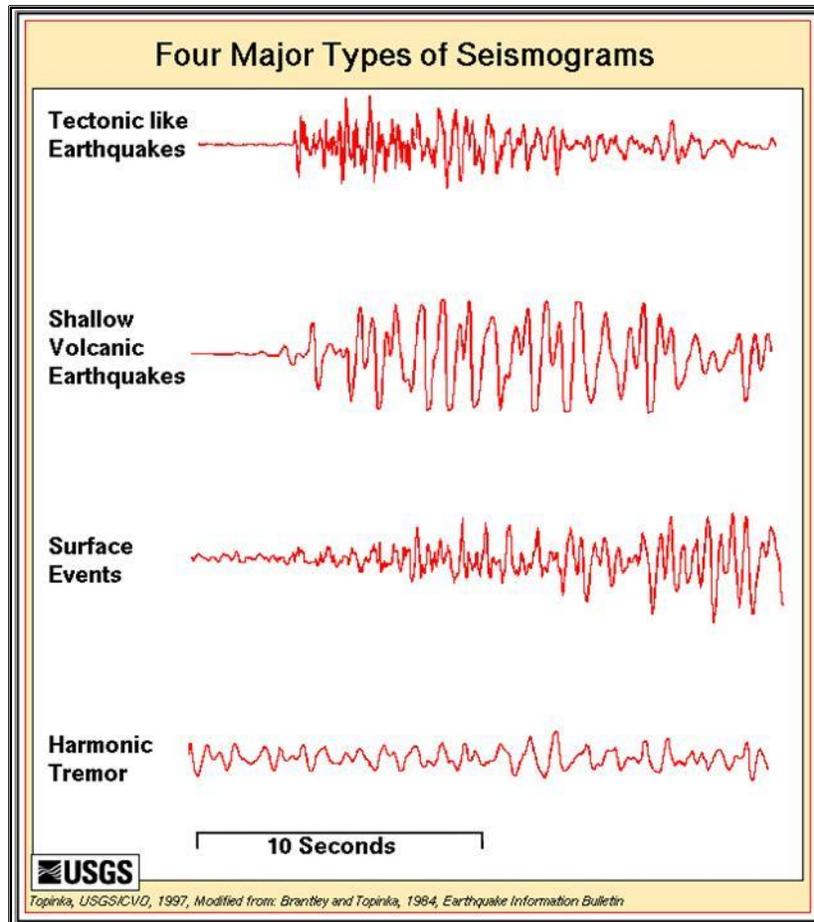


Figura 39: Diagrama comparativo de ondas sísmicas, distintos eventos (Fuente: Voskuil, n.d.)

2.7.2.8 Interacción de las ondas sísmicas con el suelo y su afectación a las estructuras

Los suelos blandos que recubren el basamento rocoso por lo general amplifican la vibración sísmica.

Los movimientos horizontales o la aceleración de la superficie del suelo son transmitidos a la estructura. La aceleración horizontal crea fuerzas que actúan sobre la edificación o estructura, esta es mayor cuando la estructura inicia la resonancia.

Estos movimientos horizontales del suelo provocan el desplazamiento de la estructura.

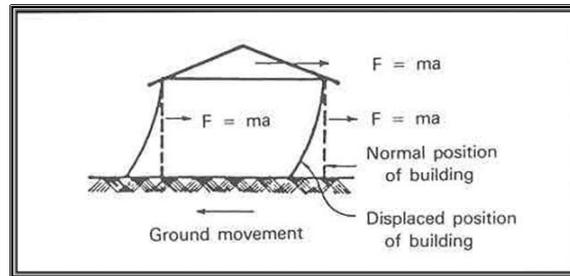


Figura 40: Diagrama de desplazamiento del suelo y la estructura (Fuente: Voskuil, n.d.)

Con respecto de la resonancia parcial, define que las estructuras presentan una gran probabilidad de alcanzarla, cuando la frecuencia natural del movimiento del suelo coincide con la frecuencia natural de la estructura. De esta manera, la resonancia trae como resultado un incremento en la oscilación de la estructura y si se produce con suficiente duración, el efecto de resonancia puede resultar en daño parcial o total.

La resonancia en realidad es una vibración, se mide con el resultado obtenido del período fundamental de la estructura. Todos los objetos o estructuras poseen una tendencia natural a vibrar, el concepto de período fundamental (frecuencia natural o fundamental) es una medida de dicha tendencia a vibrar, se obtiene a partir de:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

K= Rigidez
M = Masa

Adicionalmente se establece el período de vibración (T_s) correspondiente a la frecuencia fundamental que se denomina período característico local, y se calcula con la fórmula adjunta:

$$T_s = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{4H}{V_s}$$

El período característico local, solo depende del espesor del suelo ($4H$) y la velocidad de la onda cortante (V_s), esta es una indicación valiosa acerca del período de vibración para el cual se puede esperar el mayor nivel de amplificación.

La frecuencia natural de edificios demuestra que los edificios tienden a tener una menor frecuencia natural cuando son más pesados (mayor cantidad de masa), o en su defecto cuando son más flexibles (menos rígidos).

De los principales aspectos que afectan la rigidez de un edificio, el que se considera más importante es su altura. Edificios altos tienden a ser más flexibles, y por lo tanto presentan en general frecuencias naturales bajas, comparados con edificios de poca altura.



Figura 41: Diagrama comparativo de rigidez en edificios (Fuente: Voskuil, n.d.)

A continuación se presenta una tabla con ejemplos de frecuencias naturales para edificios.

Tipo de estructura	Frecuencia natural (Hz)
Un nivel	10
3-4 niveles	2
Edificios altos	0.5 – 1.0
Rascacielos	0.17

Tabla 7: Frecuencias naturales para edificios (Fuente: Voskuil, n.d.)

Finalmente, teniendo en cuenta las frecuencias de las estructuras, es fundamental conocer el efecto de la función de transferencia sobre la amplitud del espectro. Esta función de transferencia incrementa las ondas sísmicas que se presentan en las bases de la estructura, lo que provoca una mayor amplitud de onda hacia la superficie del terreno.

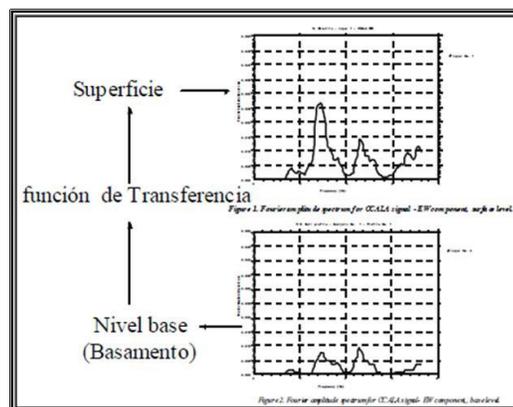


Figura 42: Diagrama función de transferencia (amplitud del espectro) (Fuente: Voskuil, n.d.)

Al aplicar la función de transferencia, es factible definir la vulnerabilidad que puede presentar cada tipo de estructura, desde las más simples como el caso de bloques de piedra o adobe, hasta estructuras de concreto reforzado o acero. El rango establecido va desde A hasta F, y determina la clase A como la más vulnerable y la F como la menos vulnerable. De esta manera los bloques de piedra por ejemplo, se clasifican como A, caso contrario las estructuras de acero se clasifican como F.

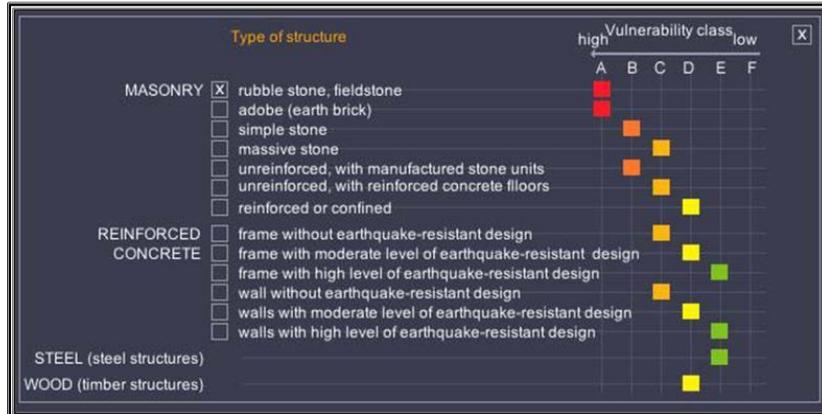


Figura 43: Diagrama sobre tipos de estructuras y la clase de vulnerabilidad que presentan (Fuente: Voskuil, n.d.)

2.8 Conceptos de amenaza, vulnerabilidad, riesgo y desastre

Para el desarrollo de este estudio se requiere identificar los conceptos indicados a continuación

Amenaza natural. Es la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso, abarca cierto período de tiempo y se establece en un sitio dado.

Desastre. Se menciona que existe un desastre cuando los peligros naturales afectan las comunidades humanas al provocar lesiones, incalculables pérdidas de vidas humanas y materiales, y por ende afecta el normal desarrollo social.

Vulnerabilidad. Ante las amenazas naturales se determina por factores sociales y aspectos físico-estructurales y no estructurales.

Vulnerabilidad física. Grado de pérdida de uno o varios elementos que se encuentran bajo riesgo, es el resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de magnitud definida, se expresa en una escala desde 0 o sino se presenta daño hasta 1 en caso de pérdida total.

Se presenta cuando una comunidad o una persona en particular, carecen de capacidad para anticipar el impacto de un fenómeno natural, de resistir sus embates o recuperarse en un período de tiempo aceptable, así se define de la vulnerabilidad social ante peligros naturales.

Vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad a padecer algún tipo de daño en las partes que soportan la estructura, llámense vigas, columnas y cimientos.

La vulnerabilidad no estructural por su parte, está referida a la susceptibilidad de sufrir daños en los componentes de la estructura, que no comprometen la integridad del sistema de soporte estructural de la edificación, tales como paredes intermedias, techos, ventanas y los elementos ubicados dentro de la edificación, ya sean equipos, mobiliario, entre otros.

Riesgo específico. Define el grado de pérdidas debido a un fenómeno natural en particular, estableciendo una función del producto de la amenaza provocada por la vulnerabilidad.

Riesgo total. Establece el número total de pérdidas de vida, personas heridas, daño a la propiedad, afectación de la actividad económica y los servicios públicos generados por el acontecimiento de un fenómeno natural en particular.

Entonces el riesgo se determina como el producto de la vulnerabilidad, por la probabilidad de ocurrencia de la amenaza, por la cantidad de elementos en riesgo, donde la cantidad puede referirse al número de edificaciones dañadas, parcialmente o totalmente colapsadas, infraestructura o su valor monetario, afectación a la población.

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} * \text{VULNERABILIDAD} * \text{CANTIDAD}$$

Donde:

Amenaza = probabilidad de ocurrencia de un evento de cierta magnitud

Vulnerabilidad = Grado de daño definido por:

- Magnitud
- Tipo de elementos bajo riesgo

Cantidad = es la cuantificación de elementos en riesgo:

- Valor de costo por re-emplazamiento de edificaciones, infraestructura, otros.
- Pérdidas por detrimento de actividades económicas
- Número de personas

CAPÍTULO III. GEODINÁMICA DE LA ZONA Y ANTECEDENTES

La geodinámica de la zona de estudio se encuentra determinada por la presencia de sistemas de fallas geológicas y la conformación del suelo con rocas volcánicas del cuaternario.

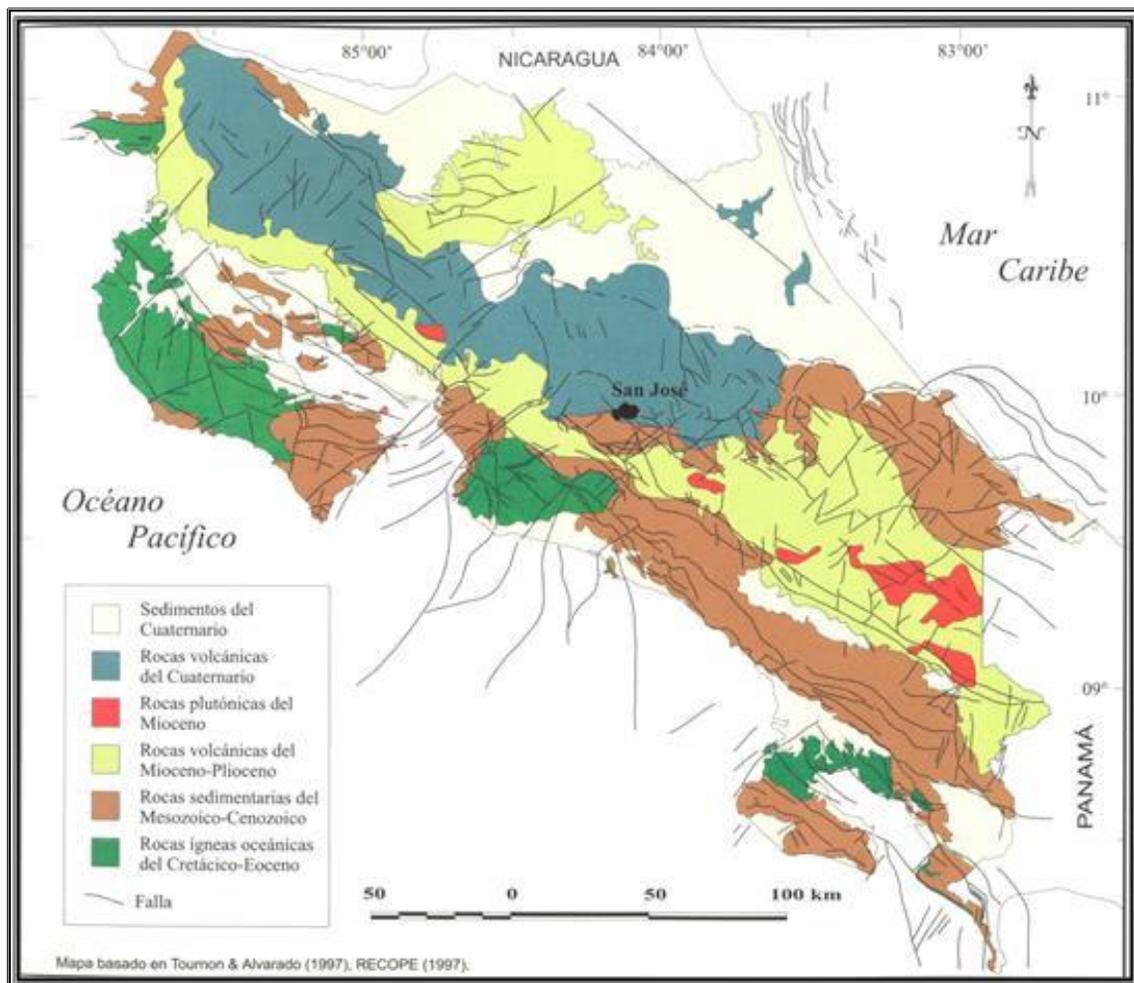


Figura 44: Mapa geológico generalizado (Fuente: Denyer, 2003)

Millones de años	Historia geológica de Costa Rica		
	ERATEMA (Era)	SISTEMA (Período)	SERIE (Época)
0.01	CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno
1.6			Pleistoceno
5.3		TERCIARIO	Plioceno
23.7			Mioceno
36.6			Oligoceno
57.8			Eoceno
66.5	Paleoceno		
144	MESOZOICO	Cretácico	
208		Jurásico	
250		Triásico	
286	PALEOZOICO	Pérmico	
360		Carbonífero	
408		Devónico	
438		Silúrico	
505		Ordovícico	
570		Cámbrico	
900	PROTEROZOICO	Superior	
1600		Medio	
2500		Inferior	
4600	ARCAICO		

Tabla 8: Tiempo geológico de Costa Rica (Fuente: Denyer, 2003)

3.1 Régimen Sísmico

²A finales del Eoceno, hace aproximadamente 40 millones de años, ocurrió el levantamiento regional como resultado de la compresión originada por el movimiento relativo entre los bloques de Norte y Suramérica, y transforma áreas relativamente profundas en cuencas con sedimentación marinas de aguas someras (menor que 200 m.), lo que generó la sedimentación de una plataforma carbonatada, la cual se extiende por casi todo el territorio Nacional, desde la fila de Cal en el Pacífico Sur, hasta las Animas en Turrialba, Parritilla y Damas en la región Pacífico

² Denyer (2003)

Central hasta el Cabo Blanco en la Península de Nicoya; este evento además implicó una interrupción considerable de la actividad volcánica.

Adicionalmente determinan que los sismos de subducción se dividen en dos subzonas, según sus características geométricas y su origen. Estos son los temblores de las zonas interplaca e intraplaca, que definen los sismos de la zona interplaca y presentan profundidades entre 10 y 40 km, se deben al movimiento relativo de la placa inferior Cocos con la placa superior Caribe.

Establecen que bajo la Cordillera Volcánica Central los temblores intraplaca alcanzan profundidades máximas de 100 km, y que aproximadamente a lo largo de los 84° de longitud oeste se observa un límite sísmico, al este del cual (ubicación de Turrialba) no ocurre sismicidad por debajo de los 70 km de profundidad.



Figura 45: Límite sísmico de Costa Rica
http://www.01centralamerica.com/America_central/Costa-Rica/mapa-de-Costa-Rica/

Buena parte de la sismicidad de Costa Rica se localiza dentro del sistema de montañas que conforman el arco interno, al provocar una amenaza sísmica significativa por su profundidad relativamente baja (temblores normalmente menores a 20 km), la frecuencia de los sismos de mayor magnitud (entre 5,0 y 6,5) y debido a que las fallas se ubican en zonas donde existen importantes núcleos de población, así como laderas inestables.

Determinan además, que entre los volcanes Irazú y Turrialba se ubica la falla Ariete de rumbo NE y que en varias fallas cercanas se han generado enjambres de sismos en los últimos veinte años. La falla Navarro es una de las más importantes ubicadas al sur de Cartago, debido a su gran extensión longitudinal, inicia en las nacientes del Río Navarro y continúa hasta el norte de Turrialba, donde se pierde su expresión morfológica

Ubicada en el flanco noreste de la cordillera de Talamanca, la falla más importante de acuerdo con su longitud es la falla Atirro, una falla de rumbo NO con una traza muy marcada en la topografía en el sector sureste, en su sector noroeste se divide en las trazas Turrialba y Tucurrique, tiene un componente dextral en toda su extensión. Varias fallas denominadas Simuri, con escarpes de rumbo cercano al EO existen al oeste de la falla Atirro, en las mismas se localizó la secuencia de temblores de Pejibaye ocurrida a mediados de junio de 1993, cuyos temblores más grandes fueron los del 10 de junio (M 5,6) y el 13 de junio (M 5,2), los cuales causaron daños en Turrialba.

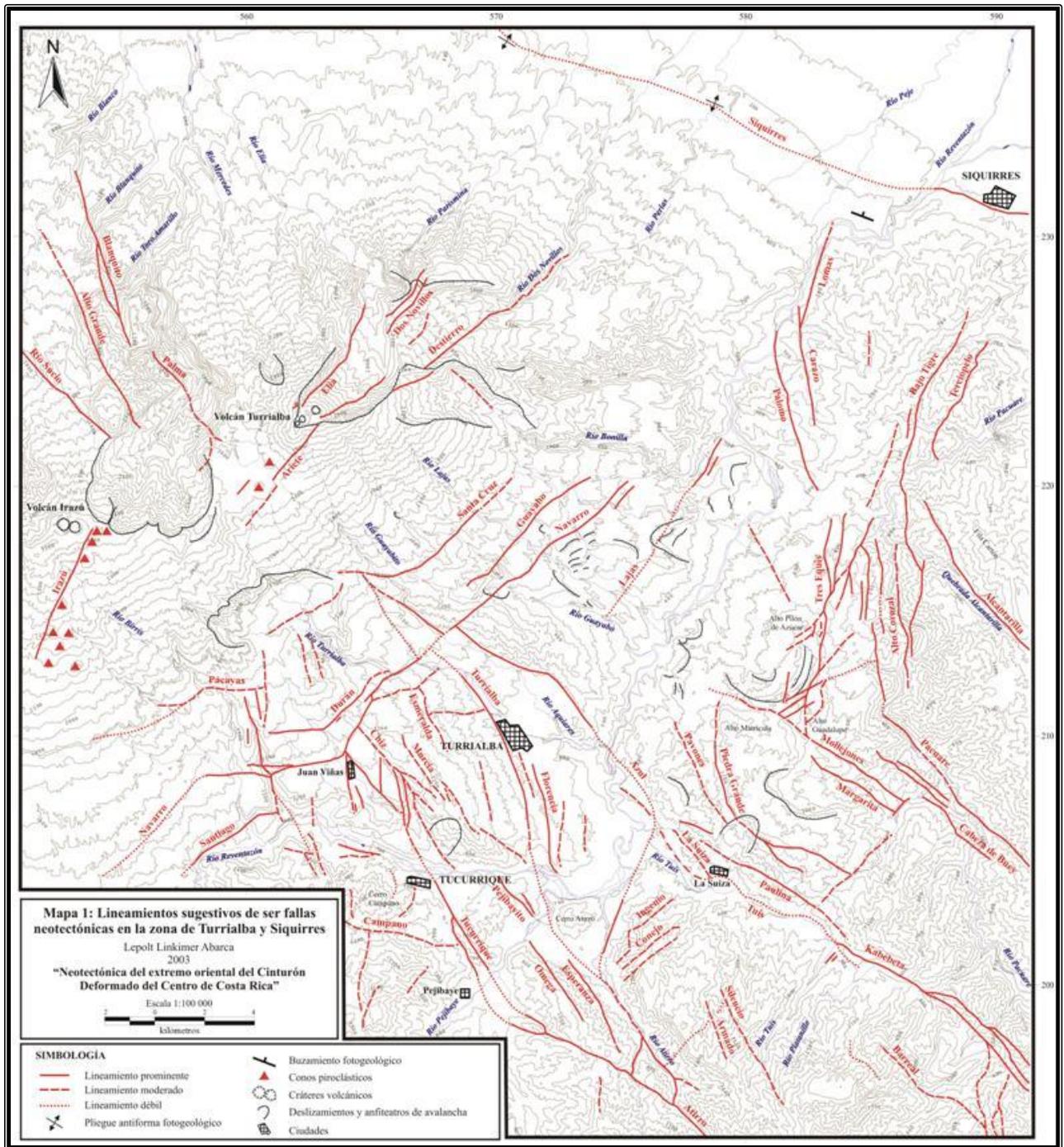


Figura 46: Mapa de fallas importantes de la zona de estudio (Fuente: Linkimer, 2003)

3.1.1 Sismos Destructivos (1800- 1999)

³Los sismos destructivos ocurridos en Costa Rica en el período 1800-1999, han sido los temblores que originaron intensidades Mercalli Modificada (MM) de VII o más, lo que provocó daños de cierta consideración y la caída parcial o total de construcciones. Aseguran que los sismos producidos por fallamiento cortical se generaron por el movimiento de fallas (generalmente a profundidades inferiores a 20 km), con magnitudes mayores que 5,0 y originando intensidades MM mayores o iguales que VII.

Históricamente estos han sido los terremotos más destructivos, aunque sus magnitudes normalmente no superan los 6,5 de la escala Richter, la energía sísmica es liberada en fallas que generalmente se ubican cerca de centros de población, con una profundidad baja. Algunos de ellos son los que destruyeron Cartago en 1841 y 1910 y los terremotos de la Costa Caribe de 1822 y de Limón de 1991 (M 7,7).

⁴Con relación a la fuente sísmica de subducción, se define que el temblor del 19 de noviembre de 1948 es el evento más importante con epicentro localizado en los alrededores de la ciudad de Turrialba, con una magnitud de grado 7, una profundidad del foco de 70 km y una intensidad de grado V (MM). Adicionalmente la actividad posterior se caracteriza por una mayor cantidad de eventos de magnitud moderada ($4 < M < 5$), mantiene el foco superficial en relación con los de foco profundo, información registrada a partir de la instalación de instrumentación sísmica en nuestro país.

³ Denyer (2003)

⁴ UNESCO (2000)

Algunos estudios realizados (Climent, 1989; Barquero y Peraldo, 1993; Barquero y Rojas, 1997; Alvarado et. al, 1998) han determinado que históricamente los sismos de subducción no son los causantes de intensidades importantes en la ciudad de Turrialba, al marcar las fuentes más cercanas como las fallas locales localizadas al sur y este de la ciudad de Turrialba, las que han producido las intensidades mayores (VII y VI), con daños en la infraestructura que se pueden considerar como moderadas dentro de la escala Mercalli Modificada.

Se indica que en un radio de 50 km del centro en Turrialba, existen registros de 9 eventos sísmicos importantes con magnitudes entre 5,0 y 7,5 en la escala Richter, presenta profundidades por lo general superficiales (menores de 15 km), genera intensidades de hasta grado VII Mercalli Modificado en la ciudad. Dentro de un radio de 25 km no existe registro de grandes terremotos ($M > 5,5$), con excepción del caso del sismo de Pejibaye de 1993 ($M=5,3$ y profundidad de 13 km).



Figura 47: Mapa Regional Tectónico de Centro América y el Caribe (Urban R., 2002)

3.1.2 Fallas Importantes para la zona de estudio

3.1.2.1 Fallas de la región y sus características

Un reconocimiento neotectónico gestionado por la UNESCO en los alrededores de Turrialba, se determinó que encontraron diferentes alineamientos fotogeológicos con claras evidencias de actividad cuaternaria, muchos de ellos particularmente activos durante el cuaternario superior (últimos 200,000 años), donde las fallas presentan orientaciones predominantes nor-oeste y nor-este, los principales alineamientos coincidentes con fallas han sido estudiados por medio de

geología superficial, sismicidad histórica y en algunos casos, por medio de mediciones geofísicas como la falla Pacuare.

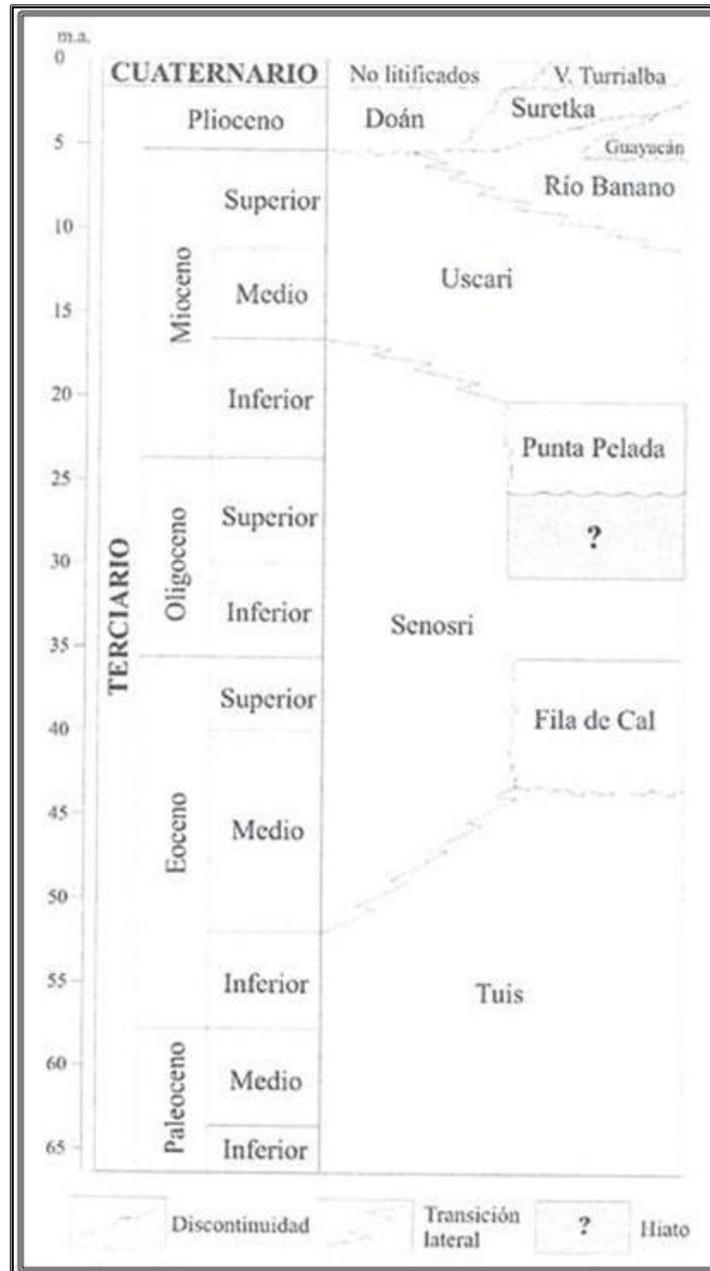


Figura 48: Cronoestratigráfica (unidades estratigráficas de Turrialba) (Fuente: Linkimer, 2003)

Las rocas volcánicas del cuaternario, que conforman las cordilleras volcánicas, representan el episodio volcánico más reciente que ha formado gran parte de las montañas de nuestro país.

El arco interno se relaciona con el sistema de cordilleras (Tilarán, Montes del Aguacate, Volcánica Central, Guanacaste y Talamanca), las cuales atraviesan Costa Rica con rumbo noroeste, donde dominan rocas de origen ígneo provenientes de magmas que se originan en la zona de subducción.

3.1.2.2 Fallas con longitud mayor que 5 km

Según estudios de la UNESCO se indica que Alvarado et al. (1988) hizo una descripción detallada de las fallas y alineamientos de mayor importancia (longitud mayor que 5 km) en la región, algunas de las cuales debido a su longitud, son consideradas de mayor amenaza para Turrialba.

- Falla Atirro. Falla regional asociada con otros alineamientos dentro de la cuenca alta del río Pacuare, la misma se extiende alrededor de 12 km desde el cerro Atirro hasta el cerro Mirador.
- Falla Pejibaye. Ubicada a lo largo del río Pejibaye, consiste en un alineamiento con una longitud mínima de 5 km pudiéndose extender hasta 11 km, aparenta ser una falla normal con el bloque sur-este hundido. No presenta evidencia neotectónica que soporte la idea de que se trate de una falla activa.

- Falla Pacuare. Presenta facetas triangulares en la margen derecha del río Pacuare. Consiste en una posible falla inversa con rumbo dextral y longitud superior a 10 km, con actividad sísmica posiblemente asociada a esa falla en 1979, 1980 y 1991.
- Falla Chirripó. Alineamiento a lo largo del río Chirripó, su geología se ha estudiado poco.
- Falla Mollejones. Esta falla afecta a brechas y conglomerados volcánicos de la formación Doan (sistema de fallas) aproximadamente en un tramo de 9 km.
- Falla Bonilla. Evidencia de eventos sísmicos pequeños que coinciden con esta posible falla.

<i>Falla</i>	<i>Lon. (km)</i>	<i>Rumbo</i>	<i>Inclinación</i>	<i>Sentido</i>	<i>Expresión Superficial</i>	<i>Grado de actividad</i>	<i>Sism. Asoc.</i>	<i>Sism. máx. (Mw)</i>
Atirro	28	N45°W	Vertical?	Dextral-Normal	Prominente	Activa	Si	6,8
Pacuare	28	N10°W	Al SW	Dextral-Normal	Prominente	Activa	Si	6,8
Mollejones	9	N55°W	Vertical	Dextral	Moderada	Posible. Neotectónica	No	5,9

Tabla 9: Detalle de algunas de las principales fallas con longitud mayor que 5 km en la región de Turrialba (Fuente: Linkimer, 2003)

3.1.2.3 Fallas próximas a la zona de estudio

El detalle de las fallas de la zona se obtuvo del estudio de la Neotectónica del extremo oriental del cinturón deformado del Centro de Costa Rica realizado por el geólogo Lepolt Linkimer Abarca, donde se incluyen las principales características de cada una de las fallas más importantes a tomar en cuenta para este estudio, tal y como se muestran en la Figura 46 Mapa de fallas importantes de la zona de estudio, de este documento.

Falla Atirro

Su traza inicia al sur del Cerro Atirro, sitio donde convergen las fallas Turrialba y Azul, continuando hacia el SE por el valle de falla del Río Atirro. Presenta un escarpe de 500 metros de altura y facetas triangulares que se localizan al NE del Río Atirro, hacia el oeste de la fila Rincón de la Esperanza converge con la falla Tucurrique.

Se destaca que algunos documentos asocian el sismo del 17 de noviembre de 1987 con esta falla, este sismo generó intensidades de V en la zona epicentral. Adicionalmente indica que el mecanismo focal determinado tiene una fuerte componente inversa, que concuerda con la transpresión existente en esta zona de la falla.

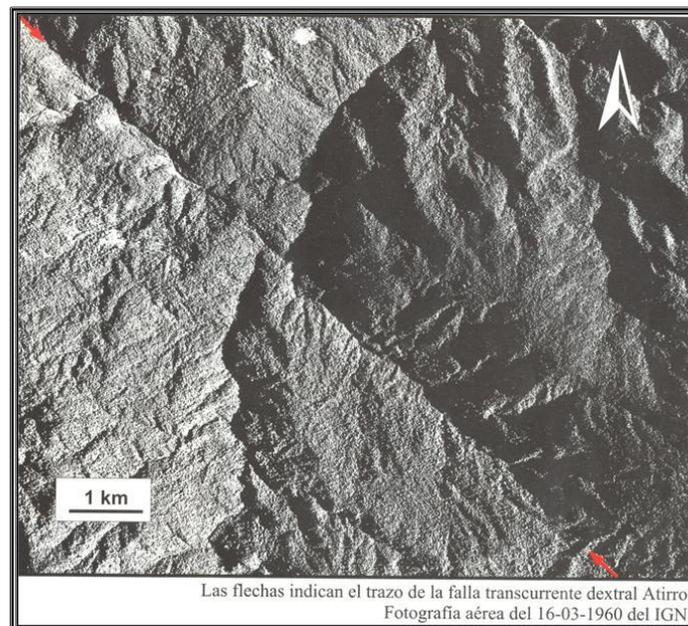


Imagen 3: Falla Atirro, su trazo y afectación en el año 1960 (Fuente: Denyer, 2003)

Falla Navarro

La falla Navarro es determinada principalmente por valles lineales, escarpes, contraescarpes y sillas de falla. Adicionalmente a lo largo de su traza se han identificado varios desplazamientos sinestrales en los causes de los Ríos Turrialba, Guayabito, Torito y Colima, y en las quebradas Pacayas y Veinticinco, y en un afluente del Río Reventazón, al Norte de Naranjo, estos desplazamientos oscilan entre 150 y 1000 metros.

Hacia el norte de Verbena, el Río Guayabito es desplazado 1000 metros en sentido sinistral. Además, cerca de la confluencia de los ríos Guayabo y Guayabito, se presentan rocas de la Formación Uscari, están sobreyacidas por lavas que podrían pertenecer a las primeras fases eruptivas del Volcán Turrialba. Por otra parte, existe un deslizamiento activo (llamado Ceibo) que se moviliza hacia el fondo del valle de los ríos Guayabo y Guayabito, es posible que la presencia de la falla Navarro favorezca la ocurrencia de este deslizamiento.

Tomando en consideración el desplazamiento máximo de 1 kilómetro en los ríos Turrialba y Guayabito, así como la suposición de que las rocas desplazadas en estos sectores corresponden con las primeras fases eruptivas del Volcán Turrialba, donde se determina una tasa de movimiento preliminar de 13 mm/año para la falla Navarro.



Imagen 4: Imagen satelital del desplazamiento sinistral del Río Guayabito (Fuente: Google Earth, obtenida el 23 de enero del 2011)

Falla Santa Cruz

Constituye una falla de expresión superficial de moderada a prominente que discurre desde el NE de Santa Teresa hasta Torito y su longitud es de 11 kilómetros con rumbo promedio $N45^{\circ}E$. Inicia su traza en el interior de un anfiteatro de avalancha, ubicado al SW del Volcán Turrialba, donde la falla se expresa en forma moderada con valles lineales y escarpes de 20 a 60 metros de altura que miran al NW, continuando en forma débil por una berma de falla y un valle lineal.

Hacia el oeste de Santa Cruz se expresa en forma prominente, distinguiéndose dos desplazamientos sinistral de 400 y 300 metros en los ríos Aquiares y Guayabito respectivamente. Esta falla continúa por la base de un escarpe lineal, que mira al SW y luego se reconoce por el desplazamiento de 300m, en sentido sinistral de unas pequeñas colinas ubicadas

al sur de Guayabo Arriba, hacia el NE se reconoce un desvío sinestral de 200 metros en el Río Lajas, luego del cual la falla pierde su expresión geomorfológica.

Falla Guayabo

Se caracteriza por un lineamiento de rumbo N45°E y 6,5 kilómetros de longitud, extendiéndose entre las poblaciones de San Antonio y Líbano. Su traza es reconocida por una silla de falla, un valle lineal y dos escarpes de 10 a 40 metros de altura, reconociéndose en el sector oriental de su traza un desplazamiento sinestral de 1 kilómetro en la Quebrada Guineo.

Fallamiento en la Cima Volcán Turrialba

Se determina que tomando en cuenta los aspectos descritos en la metodología sobre el cálculo del potencial sísmico, él estima que estas fallas pueden generar sismos de magnitud máxima que varían entre 4,8 y 5,7 Mw.

Graven cuspidal del Volcán Turrialba

Está caracterizado por paredes, sus verticales con ángulos de 50° a 70° y recubiertos con piroclastos de caída y oleadas. El graben está limitado por las fallas normales Elia y Ariete, las cuales tienen longitudes de 5 y 8 kilómetros respectivamente, sin embargo existen dos fallas denominadas Dos Novillos y Destierro que podrían ser prolongaciones hacia el NE de ambas fallas.

De esta forma el graben cuspidal del Volcán Turrialba está orientado en sentido N40°E, con una longitud de 4 kilómetros de largo y 1,2 kilómetros de ancho. En el centro del graben, existen 4 cráteres y 2 conos piroclásticos llamados Armado y Tiendilla, por lo que al considerar la existencia de los cráteres, conos piroclásticos y de la alineación de los estratovolcanes Finca Liebres al SW y Dos Novillos al NE, podría entenderse que la longitud del graben alcanza los 11 kilómetros.

La expresión del graben del Volcán Turrialba es favorecida por la existencia de un enorme anfiteatro de avalancha de 2,5 kilómetros de ancho y 3,5 kilómetros de largo que se abre hacia el NE y está limitado por las fallas Elia y Ariete. Los escarpes que limitan el anfiteatro tienen una altura de entre 300 y 600 metros, el evento de avalancha volcánica fue favorecido por las fallas que limitan el graben.

Se reportan cuatro eventos sentidos con magnitudes de entre 2,5 y 3,6 (ML), pertenecientes a un enjambre ocurrido en 1982, estos sismos se encontraron entre los cerros Tiendilla y finca Liebres, interpretados como originados en las fallas Elia y Ariete. Por lo que se considera que varios de los sismos que ocurrieron en el enjambre en 1991 y entre 1992 y 1996 estarían relacionados con la falla Elia.

Durante el período comprendido entre 1992 y 2002 siete sismos ocurrieron en la cima del Volcán Turrialba, los mismos se localizaron en forma dispersa en la cima del macizo volcánico y tuvieron magnitudes entre 1,1 y 3,2 (ML).

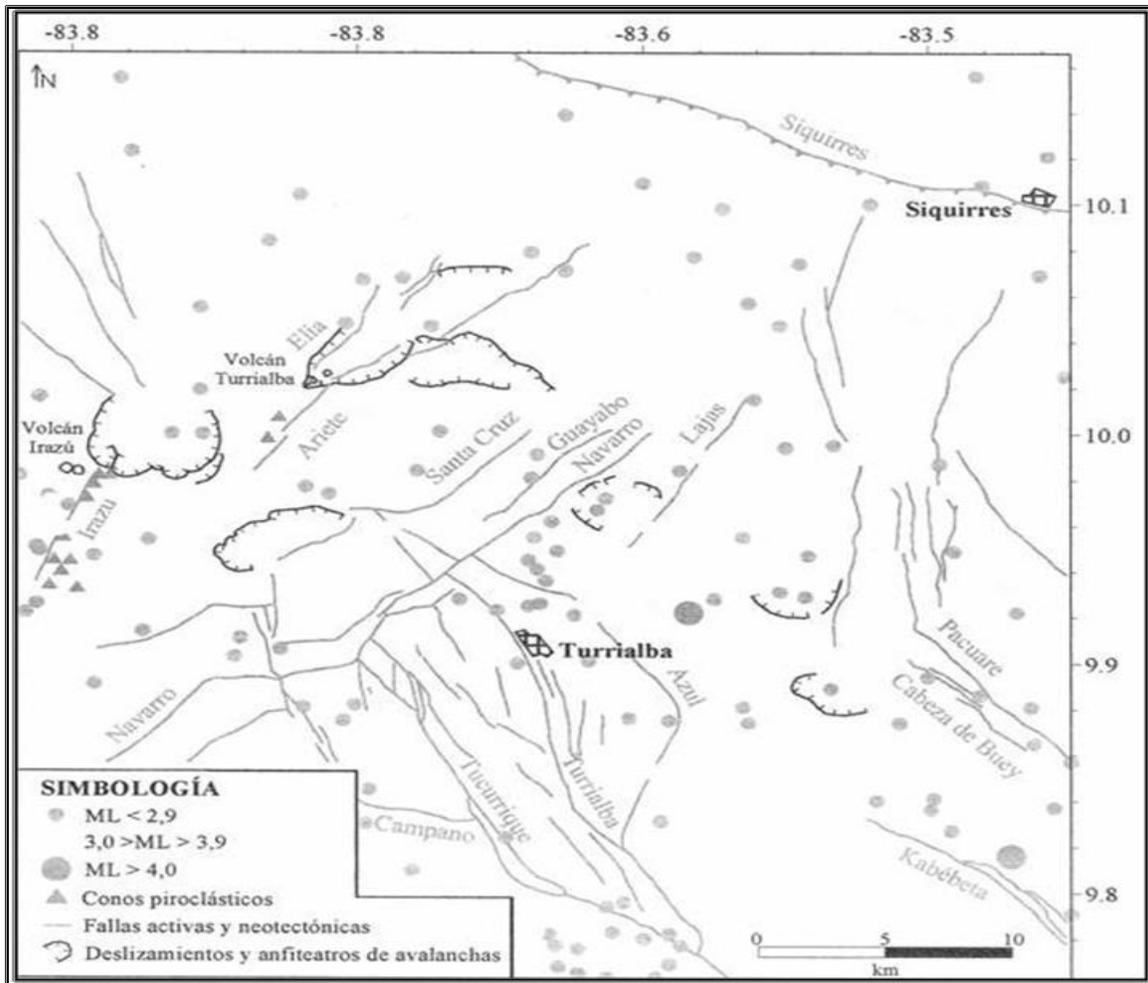


Figura 49: Sismicidad relocada (calidad A) ocurrida en el período 1992-2002 (Fuente: Linkimer, 2003)

Falla Ariete

Una falla de 8 kilómetros de longitud que atraviesa el estratovolcán Turrialba, con rumbo promedio N40°E y que consiste de tres segmentos, hacia el occidente tiene una expresión débil y se caracteriza por un cambio en la pendiente con un tramo lineal de 250 y 500 metros en el cauce de los Ríos Turrialba y Jesús María respectivamente.

El segundo (central) es de carácter prominente y se caracteriza por un contraescarpe lineal que alcanza los 20 metros de altura. Posee alineamientos tanto en la quebrada Ariete como el Río Aquiares. Se determinan fallas normales sintéticas en piroclastos de menos de 2000 años de antigüedad en la cima del volcán, que se encuentran en perfecto lineamiento con el escarpe de la falla Ariete, mostrando actividad neotectónica, ya que corta piroclastos y lava muy recientes.

3.1.2.4 Sismicidad histórica asociada a estas fallas

⁵Las fallas locales cercanas a la ciudad de Turrialba han generado intensidades máximas de grado VI (MM) y el evento más importante relacionado a ellas ha tenido una magnitud local de 5,3 (ML) ocurrido el 10 de julio de 1993, cuyo epicentro se localizó en las cercanías de las fallas Atirro y Pejibaye, aproximadamente 10 kilómetros al sur de Turrialba, causando variedad de daños en la infraestructura de la ciudad incluyendo daños estructurales en vigas, columnas y paredes especialmente en viviendas.

Es conveniente anotar que algunos períodos de actividad más importantes coinciden con algunas fallas como las de Atirro y Pacuare. Adicionalmente es fundamental indicar que luego de los terremotos de Cóbano en marzo de 1990 (M 7,0) y de Limón de 1991 (M 7,6), la actividad sísmica de carácter superficial en la región de Turrialba se incrementó, debido a que tres eventos sísmicos importantes (magnitudes entre 4,1 y 4,4) se registraron entre octubre y noviembre de 1990, localizados 15 kilómetros al sur de la población de Pejibaye y 23 kilómetros al sur de Turrialba.

⁵ UNESCO (2000)

Se determinó que con base en lo anterior se puede considerar que la amenaza sísmica en la ciudad de Turrialba está regida por la ocurrencia de eventos de magnitud moderada (menores que 6,5), y originados en las fallas locales cercanas, teniendo en cuenta que un evento en la misma fuente del sismo de Limón tendría un efecto similar o menor a un evento de magnitud 6,5 en las fallas Atirro o Pacuare.

Por ende se ha encontrado sismicidad histórica y reciente relacionada principalmente a las fallas Atirro y Pacuare, por lo que con base en su longitud se pueden catalogar como dos de las más importantes fallas relacionadas con la amenaza de la ciudad de Turrialba.

Entonces del manejo y análisis estadístico de la ocurrencia de eventos sísmicos para el período comprendido entre 1980 y 1996 se ha determinado la tasa media de ocurrencia sísmica para diferentes regiones del país. Al considerar el valor para la región sur y este de la ciudad de Turrialba con valores de $(\log(N) = 2,69 - 0,70 * M)$ y extrapolar los resultados se puede estimar que un sismo de magnitud 5,5 puede ocurrir cada 15 años y uno de magnitud 6,5 cada 70 años en esta región, con profundidades menores o iguales a veinte kilómetros

Grado de actividad	Expresión geomorfológica	Edad de las rocas afectadas	Sismicidad asociada
FALLA ACTIVA	<i>Prominente</i>	<i>Holoceno</i>	Sí
FALLA NEOTECTÓNICA		<i>Pleistoceno</i>	No
FALLA POSIBLEMENTE NEOTECTÓNICA		<i>Pre-Pleistoceno</i>	

Tabla 10: Relación esquemática entre el grado de actividad del fallamiento y otras características de las fallas de Turrialba (Fuente: Linkimer, 2003)

3.2 Régimen Vulcanológico

El Volcán Turrialba pertenece a la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica y está ubicado en jurisdicción del cantón Turrialba en la provincia de Cartago, cuenta con un cráter principal que se localiza en los 10°02´ de latitud Norte y 83° 46´ de longitud Oeste.

Fue originado por la Zona de Subducción Mesoamericana, aunque sus características tectónicas y petrológicas son establecidas principalmente por zonas de fracturas tensionales de dirección NE, ubicadas de forma perpendicular a la dirección de la Trinchera Mesoamericana y a la Cordillera Volcánica Central, ubicándolo 10 kilómetros al noreste, en una posición posterior al eje volcánico principal.

Esto provoca que la geomorfología del edificio volcánico sea manejada por estructuras volcanotectónicas de dirección NE, que en combinación con las unidades rocosas muestran un paisaje de escarpes pronunciados, conos adventicios periféricos, graben cuspidal y cráteres alineados de apariencia caldérica, lo que provoca la actividad lávica fisural y principalmente, la generación de grandes avalanchas y flujos de detritos, que son las unidades geológicas que predominan en el flanco meridional del edificio en donde se ubican los centros poblados más importantes.

3.2.1 Modelo Neotectónico

⁶El macizo volcánico Turrialba creció en el extremo oriental de la cuenca de tracción Turrialba-Irazú, donde existen fracturas profundas que facilitan el ascenso de magma desde fuentes

⁶ Linkimer (2003)

mantélicas tanto calcoalcalinas como de tipo intraplaca y provoca mezcla de magmas. Por ende, se puede considerar que la cuenca de tracción Turrialba- Irazú propició la construcción del macizo Turrialba a una distancia de 10 kilómetros al NE del eje volcánico Cuaternario de Costa Rica. Las fallas y fracturas tensionales de la cuenca de tracción podrían haber favorecido el aporte mantélico, que junto con el aporte de la fusión parcial de la placa subducida, permitieron la construcción del segundo aparato volcánico más voluminoso de Costa Rica (290 km³).

Además establece que durante el Pleistoceno superior y el Holoceno, el movimiento de la falla Navarro provocó el desplazamiento en sentido sinistral de las fallas Azul, Turrialba y Quebrada Honda, y en el Holoceno la ocurrencia de varios deslizamientos importantes se ha visto favorecida por la presencia de fallas activas en la zona, al establecer coronas de grandes deslizamientos localizadas justo a partir de la traza propuesta para las fallas Navarro, Elia y Ariete, entre otras. Por esta razón no se puede descartar la posibilidad de que terremotos históricos ocurridos en estas fallas hayan disparado los grandes deslizamientos.

⁷Se determinó que históricamente este volcán presentó varios eventos explosivos estrombolianos, freatomagmáticos y de fisura, que han producido depósitos piroclásticos, avalanchas, deslizamientos y coladas lávicas, se logró identificar hasta 17 unidades geológicas diferentes compuestas en su mayoría por andesitas basálticas a andesitas silíceas, tefras andesíticas y flujos piroclásticos andesíticos.

Además las sub-unidades se agrupan en 3 grandes unidades, la más antigua de ellas (C) compuesta por dacitas, andesitas y basaltos calcoalcalinos, la unidad media (B), que sobreyace

⁷ UNESCO (2000)

en ubicación similar a la anterior y está formada por andesita calcoalcalina, es sobreyacida por la unidad más joven (A) formada por basaltos y andesitas calcoalcalinas.

Durante la última década el Volcán Turrialba ha experimentado un incremento significativo en su actividad sísmica y fumarólica, al observar la aparición de numerosas fumarolas dentro del cráter oeste y en los flancos del mismo, provoca la continua desgasificación que ha enviado grandes cantidades de vapor de agua, gases magmáticos (CO_2 , SO_2 , H_2S , HCl , HF , entre otros) y material particulado a la atmósfera (azufre nativo y otros), afecta profundamente la flora y el ambiente alrededor del cráter, sobre todo en el flanco oeste-sur-oeste, hacia donde soplan predominantemente los vientos.

En el Volcán Turrialba la actividad sísmica del 2009 se caracterizó por la ocurrencia casi permanente de sismos de período largo, los cuales están relacionados con el movimiento y la exhalación de gases por los conductos internos del volcán, sobre todo vapor de agua, al mantener este comportamiento a inicios del 2010, y provocar promedios de hasta 10 sismos por hora.

A inicios del mes de enero del 2010 fue reportada en varias localidades aledañas al volcán (La Central, La Pastora, La Esperanza, otras) y en otros lugares (Parque Nacional Volcán Irazú, Aguacaliente de Cartago, Tres Ríos, Curridabat y Desamparados) la caída de cenizas provenientes del cráter oeste del Volcán Turrialba, cuya erupción es otra manifestación de la desgasificación del volcán, constituye la primera erupción de cenizas del Volcán Turrialba en muchas décadas.

3.2.2 Análisis de las cenizas y lluvia ácida expulsadas por el Volcán Turrialba

⁸En Santa Cruz de Turrialba el 6 de enero del 2010, muestras de cenizas de La Pastora y La Central, así como de agua de lluvia de La Silvia y La Central fueron recolectadas por personal del OVSICORI-UNA, y fueron analizadas en el Laboratorio de Geoquímica del OVSICORI-UNA para determinar su constitución y el pH o grado de acidez.

Se determinó que disoluciones acuosas extraídas de las cenizas recolectadas en La Central tienen un pH de 6.7 y las de La Pastora un pH de 7.1, valores de pH que indican que las cenizas expulsadas por el Turrialba entre los días 5 y 6 de enero eran casi neutras, con naturaleza entre muy ligeramente ácida (levemente corrosiva) y muy ligeramente alcalina (levemente caústica), este hecho sugiere que hasta el momento no había lava involucrada en las erupciones de ceniza.

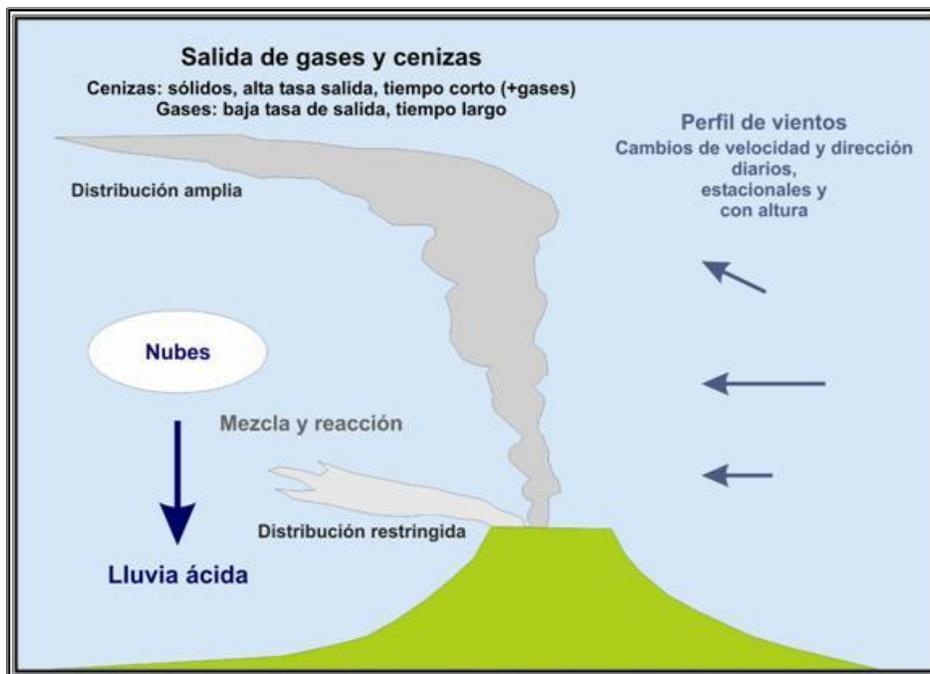


Figura 50: Diagrama de emanación de cenizas y lluvia ácida (Fuente: Soto, 2010)

⁸ Pacheco J. et al., (2010)

3.2.3 Interpretación de la actividad actual del Volcán Turrialba

⁹La actividad eruptiva que inició el 5 de enero representa un proceso superficial en el volcán, que consiste en el calentamiento y vaporización rápida de un volumen de agua subterránea, seguida por una descompresión abrupta a través del sistema de fracturas del Turrialba. Esta descarga de vapor y gases a través de las fumarolas es más vigorosa que lo presentado en años anteriores. La intrusión de un cuerpo magmático con profundidad es la fuente de calor.

Ciertos parámetros de monitoreo volcánico recopilados por el OVSICORI-UNA desde 1984 en el Volcán Turrialba, sugieren que esta intrusión magmática podría haberse iniciado hace más de una década, avanzando hacia la superficie lentamente. La ausencia de material magmático joven en las cenizas recopiladas, así como el pH de las mismas indican que esa agua subterránea no entró en contacto con el magma intruido con profundidad, más bien se calentó principalmente por conducción de calor a través de las rocas dentro del Volcán Turrialba.

⁹ Pacheco J. et al., (2010)

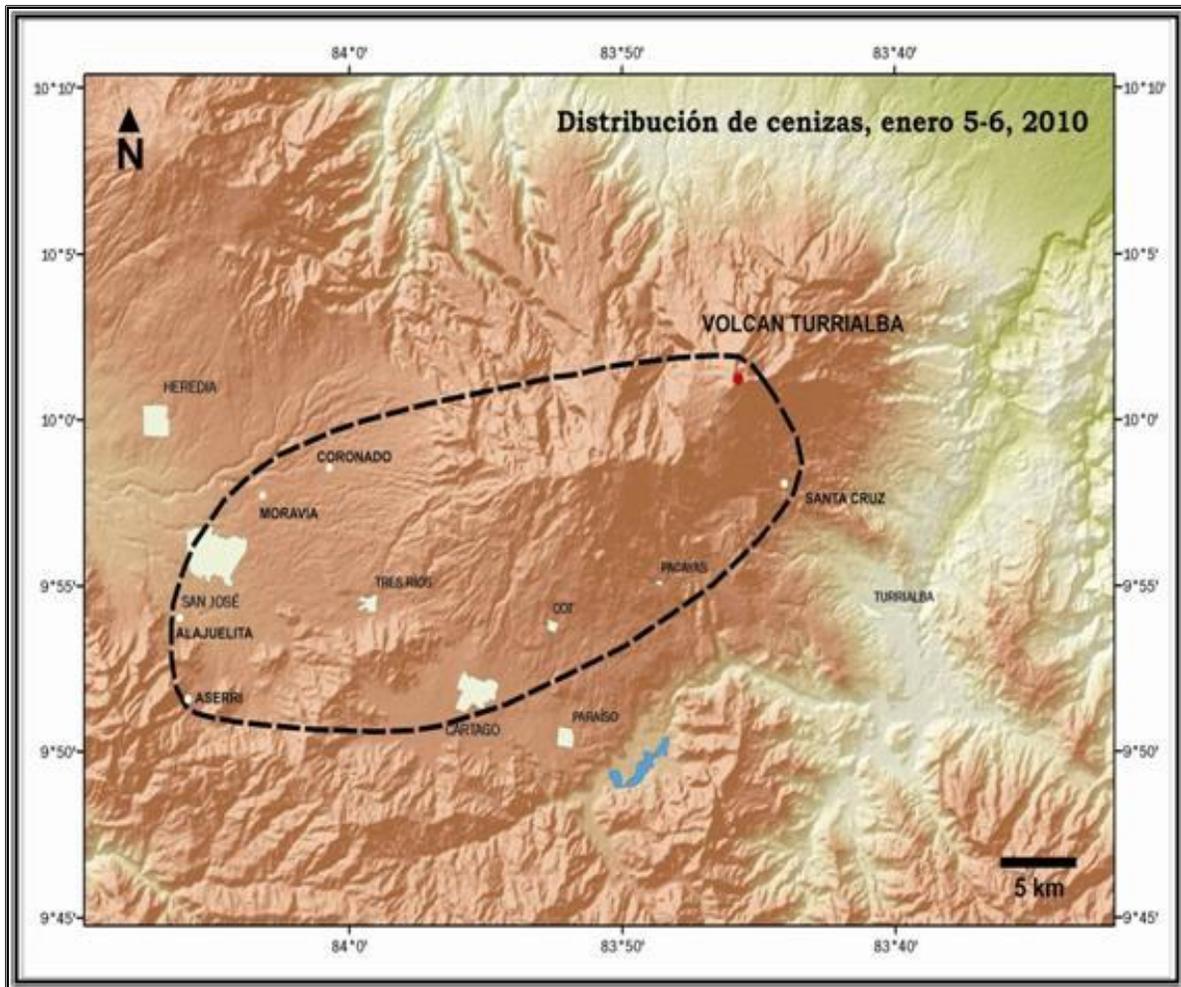


Figura 51: Mapa de ceniza no magmática del 5 y 6 de enero del 2010 (Fuente: Soto, 2010)

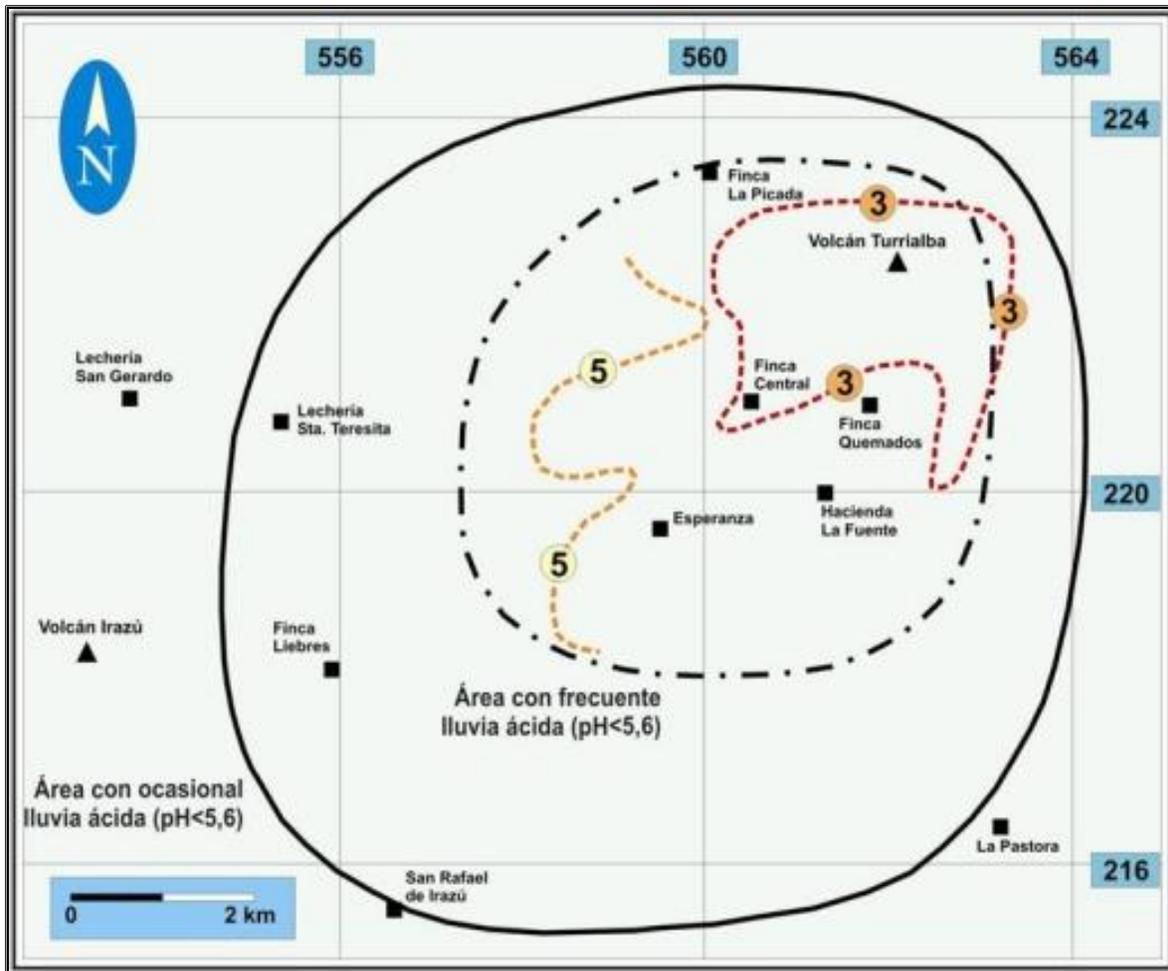


Figura 52: Distribución de lluvia ácida (líneas discontinuas acidez con pH 3 y 5 medidos en setiembre del 2010, otras dos líneas marcan la lluvia ácida frecuente y ocasional medidas de abril del 2007 a setiembre del 2010) (Fuente: Soto, 2010)

CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Ubicación

Santa Cruz de Turrialba está ubicada en la provincia de Cartago, en las faldas del Volcán Turrialba, aproximadamente entre los paralelos 9° 56` y 10° 00` de latitud norte y los meridianos 83° 41` y 83° 45` de longitud oeste, y está comprendida en la hoja cartográfica Tucurrique, escala 1:50,000 del Instituto Geográfico Nacional.

El distrito cuenta con una extensión total de 120.4 km² y se encuentra ubicado a 18 km al norte de la ciudad de Turrialba. Se caracteriza por presentar temperaturas que oscilan entre los 15 y 19°C, una humedad relativa del 85% y precipitaciones anuales de 3000 a 3200 milímetros, adicionalmente su zona de vida corresponde a la categoría de Bosque Pluvial Montano según la clasificación de Holdridge..

En la actualidad cuenta con los servicios básicos de educación, salud, electricidad y telefonía, además cuenta con la asociación ASOPROA-SC la cual representa a los productores de lácteos de la zona, que es la base de la actividad económica de la zona.

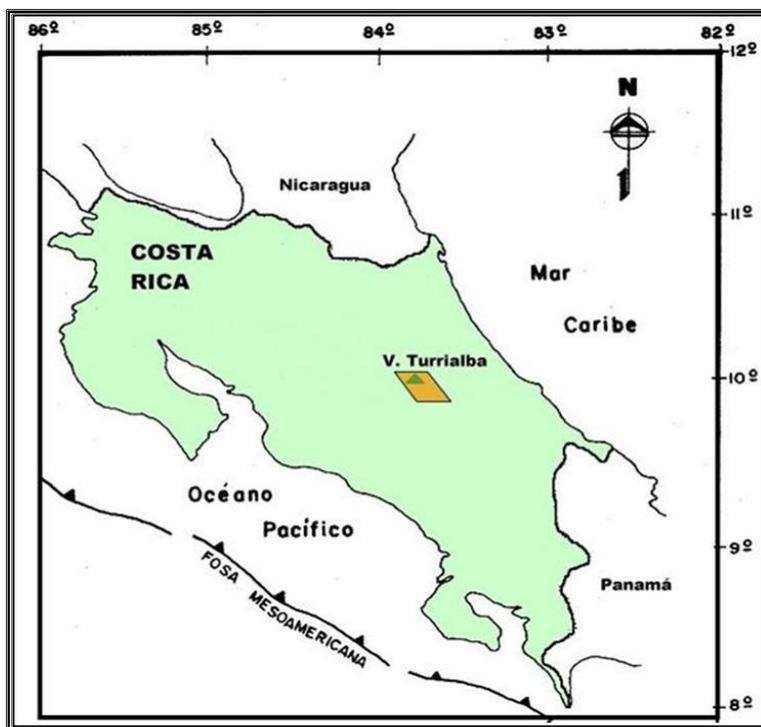


Figura 53: Ubicación de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica (UNESCO, 2000)

4.2 Distribución de los poblados aledaños al Volcán Turrialba

Dentro de los poblados aledaños al Volcán Turrialba, se encuentran comunidades de varios cantones de la provincia de Cartago como se muestra en el mapa adjunto, que además contiene los ríos más importantes de cada sector. Sin embargo, el enfoque de este trabajo contempla por sobre todo el sector sureste del Volcán Turrialba, donde se ubica el distrito de Santa Cruz de Turrialba y los poblados que contempla (La Pastora, Santa Cruz, San Antonio, entre otros), así como los ríos que delimitan el distrito (Aquiares, Guayabito, y otros).

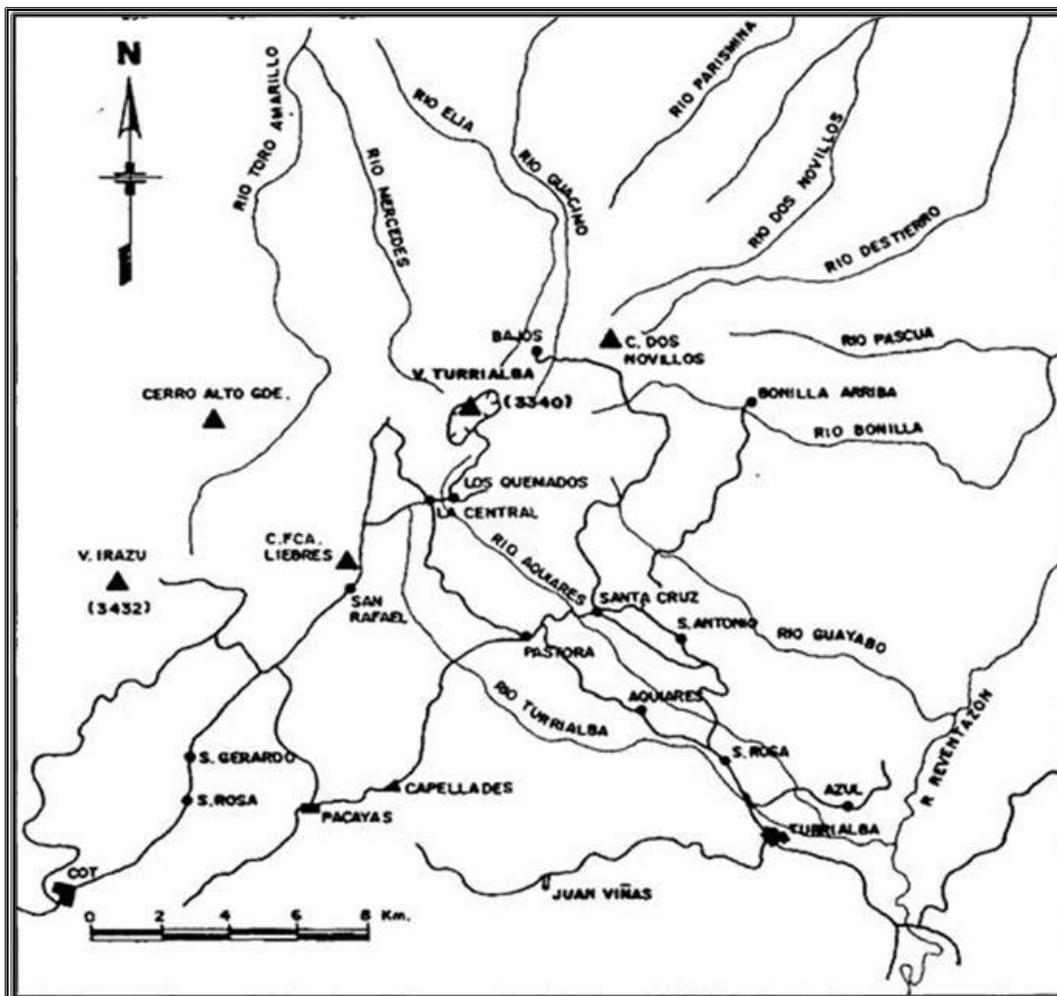


Figura 54: Mapa de ubicación del Volcán Turrialba y poblados aledaños (Soto, n.d.)

4.3 Determinación de la zona de estudio

La zona de estudio comprende el cuarto distrito del Cantón de Turrialba, Santa Cruz, así como las comunidades que lo conforman, entre los cuales se encuentran: San Antonio, Carmen, La Pastora.

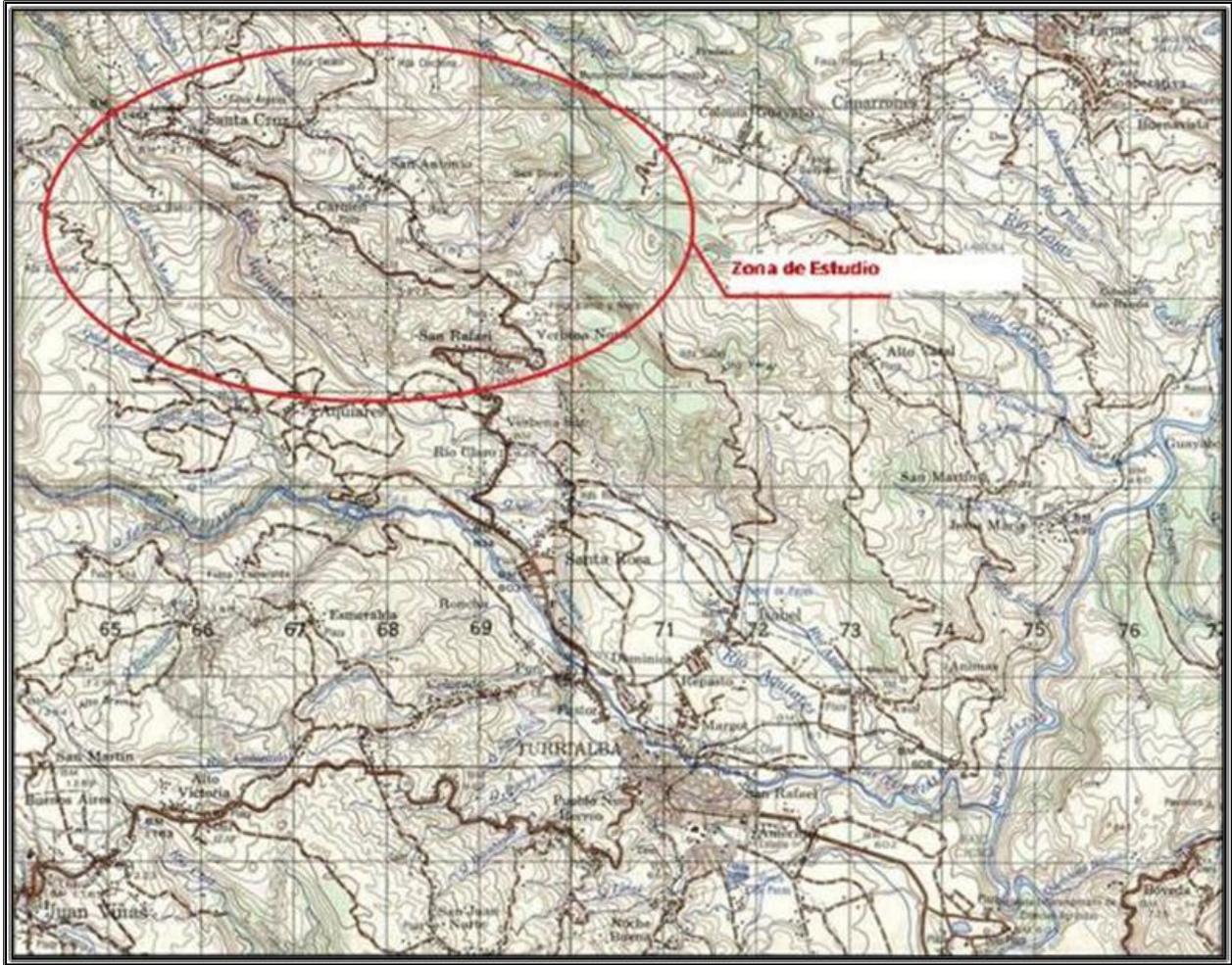


Figura 55: Ubicación de Santa Cruz, Turrialba (Hoja cartográfica Tucurrique, escala 1:50.000)

4.4 Geomorfología y Suelo

¹⁰Según lo indica la UNESCO las unidades geomorfológicas de origen volcánico definidas para el Volcán Turrialba son las siguientes:

Cono actual (VVT). Corresponde a laderas del cono activo del Volcán Turrialba, compuestas de intercalaciones de coladas de lava y depósitos piroclásticos.

¹⁰ UNESCO (2000)

Cono piroclástico (VCO). Se establece como antiguo punto de emisión de material piroclástico.

Campos de piroclastos (VCP). Representa sectores cubiertos por emisiones de piroclastos, en su mayoría cenizas.

Escarpe de cráter antiguo (VEC). Es el escarpe interno de un relicto volcánico, compuesto normalmente por coladas de lavas fracturadas.

Fondo de cráter antiguo (VFC). Corresponde a la sección interna de un cráter volcánico antiguo.

Coladas de lava (VCL). Distintas coladas de lava, algunas meteorizadas, contienen sectores cubiertos por depósitos piroclásticos.

Depósitos de lahares (VDL). Se reflejan en la topografía relativamente plana, compuesta por depósitos de lahares generados durante el estado de desarrollo inicial del edificio volcánico.

Depósitos de avalancha volcánica (VAV). Corresponden con depósitos caóticos de bloques capturados en una matriz arenosa, son producto del colapso de la ladera sur-este del cráter antiguo.

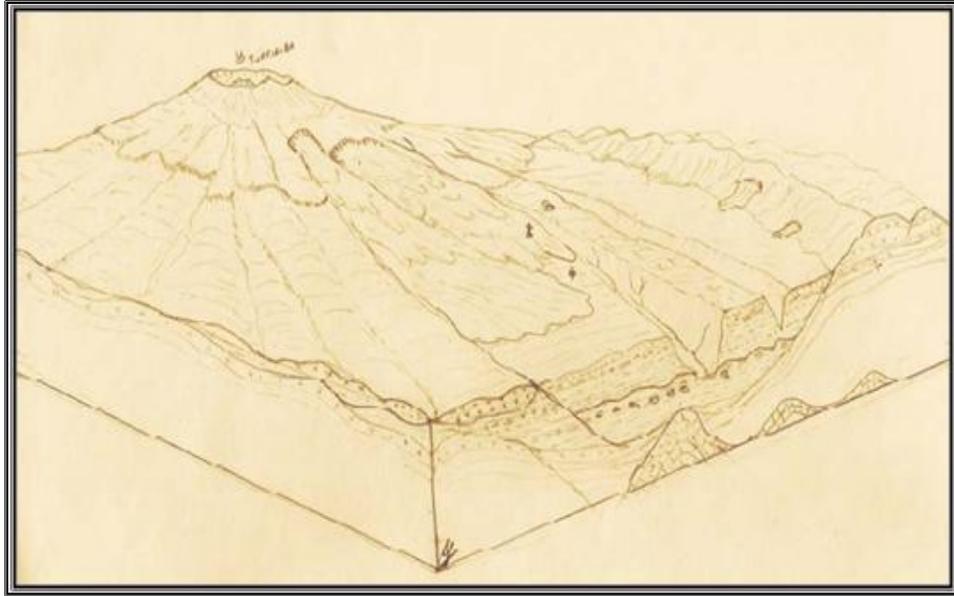


Figura 56: Diagrama del relieve del Volcán Turrialba, desde de la parte sureste (Urban R., 2002)

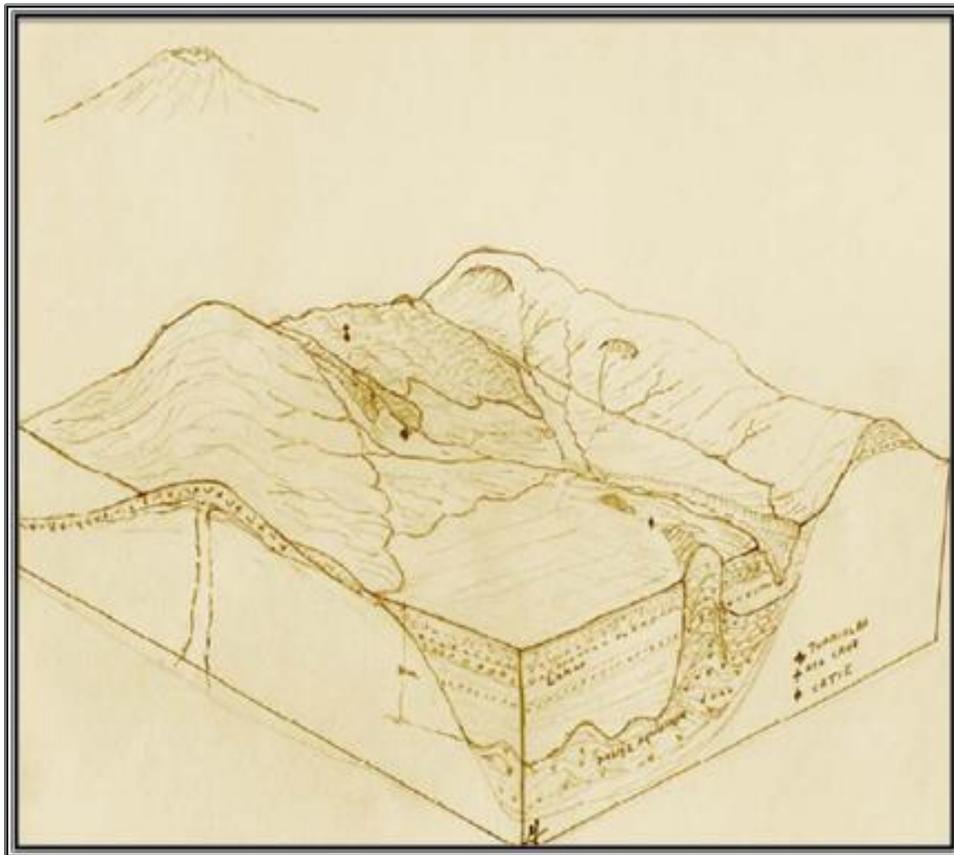


Figura 57: Diagrama del relieve de Santa Cruz de Turrialba, parte sureste (Urban R., 2002)

4.5 Demografía de Santa Cruz de Turrialba

El aspecto relacionado con manejar información demográfica de una zona a la que se le realizará una evaluación para análisis de riesgo y determinación de vulnerabilidad, es fundamental si se quiere conocer a fondo los posibles efectos de los eventos que podrían provocar desastres.

Con base en datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se toman los valores de la cantidad de habitantes de Santa Cruz de Turrialba entre los años 2000 y 2009 lográndose proyectar la cantidad de población hasta el año 2020.

Crecimiento Poblacional de Santa Cruz de Turrialba				
Año	Población	Crecimiento Anual	Indice crecimiento	Datos
2000	3 524	0	0,00%	Datos obtenidos del INEC
2001	3 553	29	0,82%	
2002	3 562	9	0,25%	
2003	3 571	9	0,25%	
2004	3 584	13	0,36%	
2005	3 580	- 4	-0,11%	
2006	3 584	4	0,11%	
2007	3 578	- 6	-0,17%	
2008	3 570	- 8	-0,22%	
2009	3 564	- 6	-0,17%	
2010	3 587	23	0,64%	Datos Proyectados con base en los datos del INEC, al utilizar la ecuación del gráfico de Tendencia
2011	3 590	4	0,10%	
2012	3 594	4	0,10%	
2013	3 598	4	0,10%	
2014	3 601	4	0,10%	
2015	3 605	4	0,10%	
2016	3 608	4	0,10%	
2017	3 612	4	0,10%	
2018	3 616	4	0,10%	
2019	3 619	4	0,10%	
2020	3 623	4	0,10%	

Tabla 11: Población anual real y proyectada de Santa Cruz de Turrialba, período 2000 – 2020

Según estos datos se consigue generar el gráfico 1, con la población anual real de Santa Cruz para el período 2000-2009.

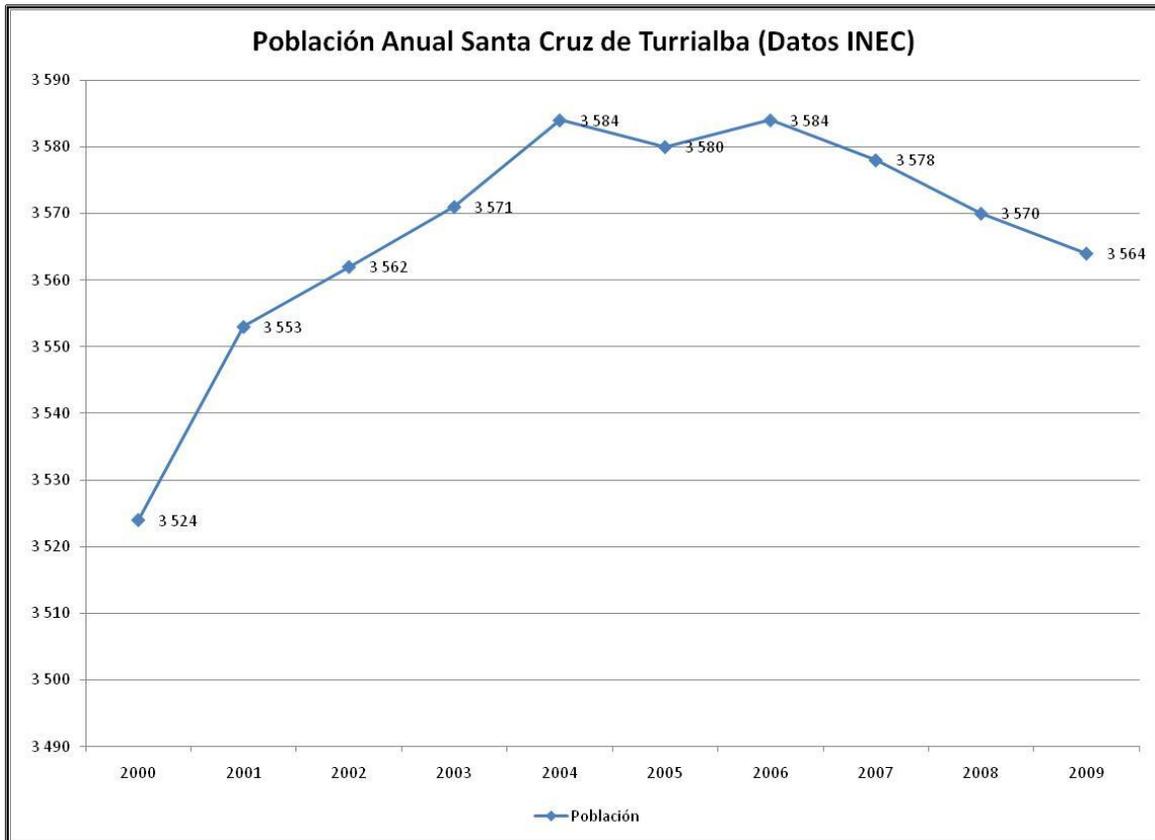


Gráfico 1: Población anual de Santa Cruz de Turrialba, período 2000 – 2009 (Datos INEC)

Este gráfico muestra que del año 2000 al 2004, existe un crecimiento leve de la población. El año 2005 presenta un decrecimiento poco perceptible y el año 2006 presenta valores similares a los del 2004, estableciéndose ambos como la cantidad máxima de población del período evaluado. A partir del año 2007, se da un decrecimiento significativo en la población del distrito, que despierta cierto interés desde el punto de vista socioeconómico.

La información del gráfico 1, es utilizada para definir la Línea de Tendencia que se obtiene a partir de curva, con el fin de calcular los datos de la ecuación de la pendiente ($y = mx + b$), cuyos valores reales se expresan en el siguiente gráfico.

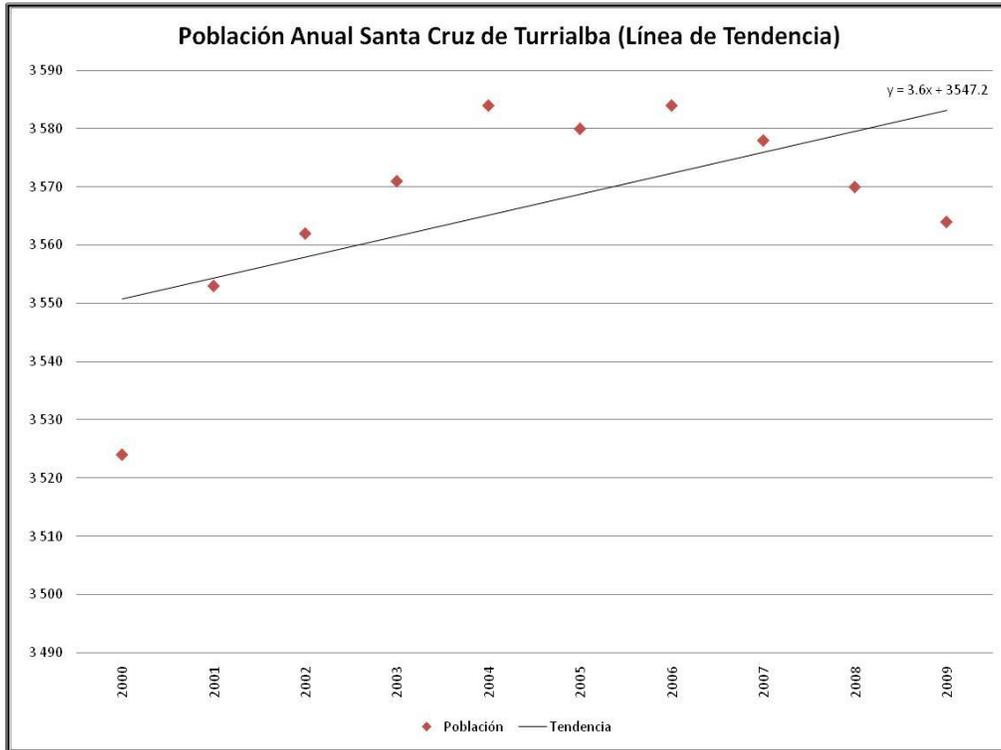


Gráfico 2: Población anual de Santa Cruz de Turrialba, Línea de Tendencia para el período 2000 – 2009 (Datos INEC)

El gráfico anterior, presenta una línea de tendencia que aumenta conforme se incrementa la cantidad de años y se calcula con la ecuación ($y = 3,6 x + 3547,2$), donde y = al valor requerido, mientras que x = a la variable que se determina de acuerdo con la cantidad de años por evaluar.

Una vez que se obtienen la Línea de Tendencia y la ecuación de la pendiente para el período 2000 – 2009 al utilizar los datos del INEC, se procede a proyectar la población que se podría esperar para el período 2010 – 2020, como se muestra a continuación

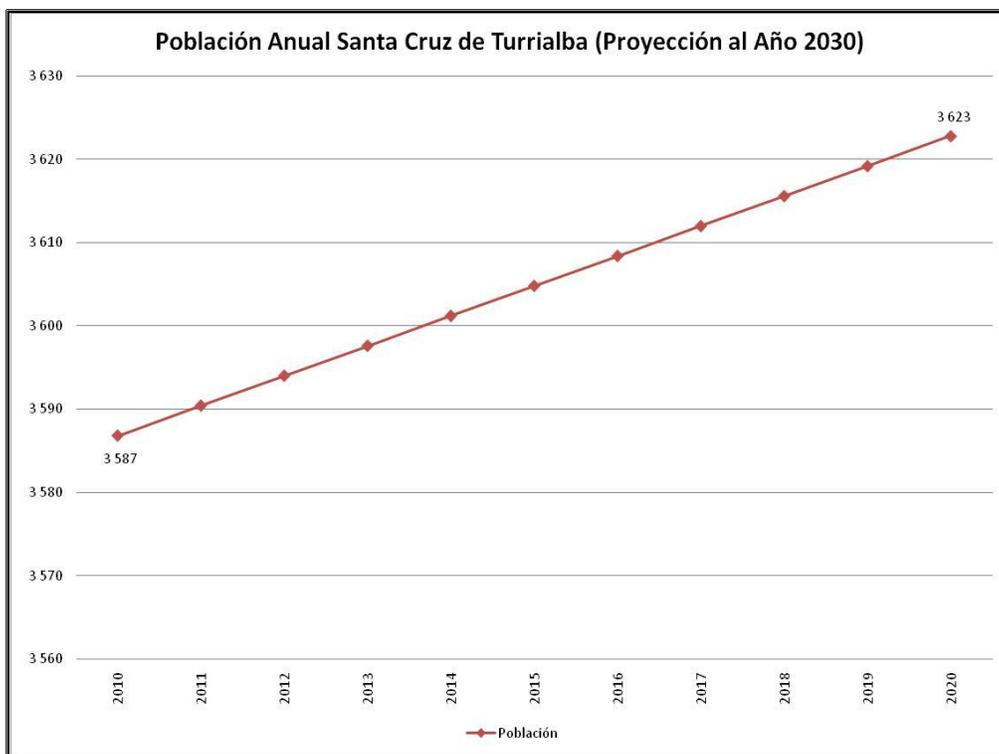


Gráfico 3: Población anual de Santa Cruz de Turrialba, proyectada para el período 2010 – 2020

Según lo muestra el gráfico y con base en la Línea de tendencia calculada, la proyección alcanzada muestra que la población del año 2020 será mayor que la existente en la actualidad.

4.5.1 Distribución de vivienda y ocupantes

Los datos que presenta el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en referencia con la distribución de vivienda en Santa Cruz de Turrialba, se muestran por tipo de vivienda hasta el año 2009 en el gráfico 4.

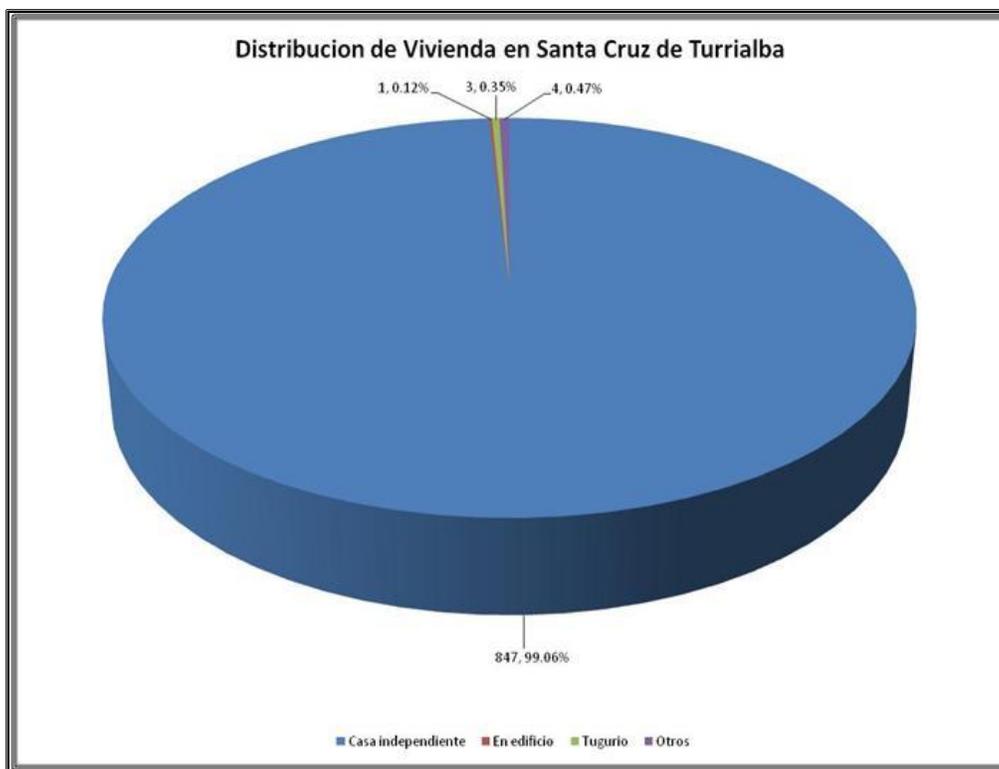


Gráfico 4: Distribución de vivienda en Santa Cruz de Turrialba hasta el año 2009

El gráfico 4, presenta la distribución de vivienda hasta el año 2009, resulta que el 99,06% (847) corresponde a vivienda independiente, mientras que 0,12% (1) representa vivienda en edificio o tipo apartamento, los porcentajes restantes 0,35% (3) y 0,47% (4) reflejan los datos obtenidos para tugurios y otros tipos de vivienda respectivamente.

De esta forma se infiere que el distrito pertenece a una zona rural, en la que por lo general el aspecto económico se basa en una actividad mayoritaria, la cual es desarrollada en casi la totalidad de la población. Estas actividades pueden ser: cafetalera, de caña de azúcar, hortícola, ganadera, entre otras.

De igual forma, se presentan los datos correspondientes a la distribución de ocupantes para las viviendas mencionadas por clase, los cuales se incluyen hasta el año 2009 en el gráfico 5.



Gráfico 5: Distribución de ocupantes por vivienda en Santa Cruz de Turrialba hasta el año 2009

Para el caso de ocupantes por tipo de vivienda, se refleja que el 99,12% (3.391) habita en casa independiente, los ocupantes de edificio representan el 0,06% (2), los tugurios contemplan el 0,38% (13) y otros tipos de vivienda obtienen el 0,44% (15), para un total de 3.421 habitantes censados.

4.5.2 Distribución de habitantes por edad

Con el propósito de establecer aspectos importantes para este estudio, se realizó una clasificación por edades de los habitantes de este distrito, al aplicar los criterios macro en el nivel social y de vulnerabilidad, para obtener los datos del gráfico 6 según se muestra:

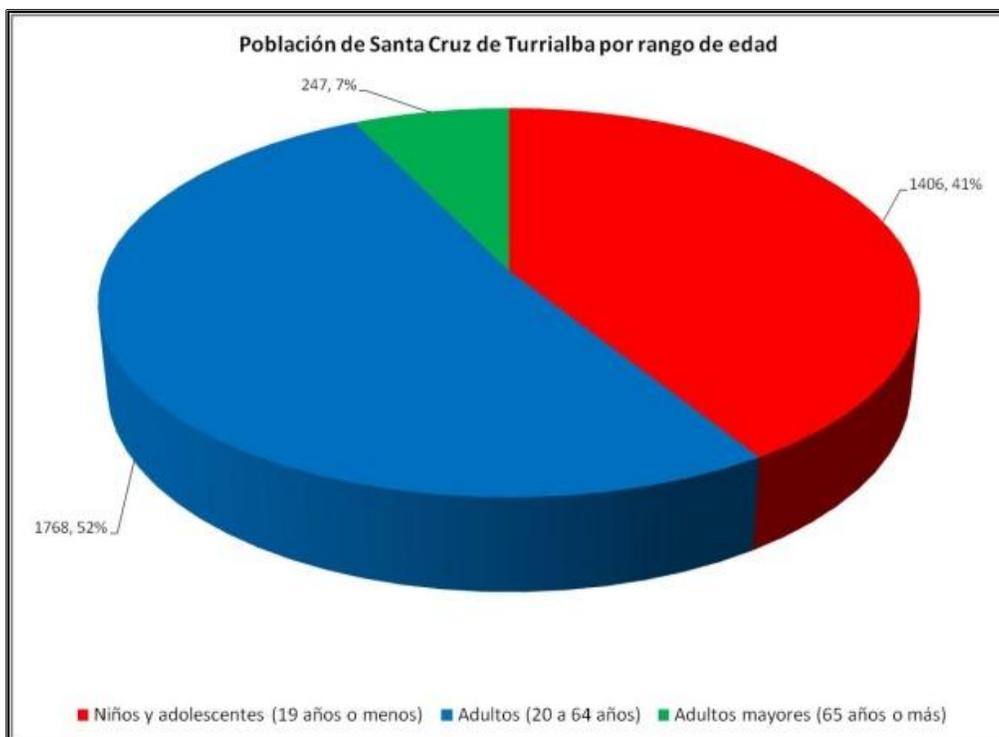


Gráfico 6 : Población de Santa Cruz por rango de edad, clasificación según requerimiento

En el gráfico anterior, se presenta el detalle de la clasificación de la población de Santa Cruz en tres rangos de edades, los cuales se han establecido para lograr medir valores de aspecto social y de vulnerabilidad tales como: dependencia de otras personas para cubrir sus necesidades básicas (alimentación, vestido, techo), además de la incapacidad que puedan tener para decidir, trasladarse, o ejecutar alguna otra labor por cuenta propia.

Los datos mostrados determinan que el 7% de la población corresponde a adultos mayores, mientras que el 41% lo representan los niños y los adolescentes, lo que genera un 48% del total de los habitantes, en otras palabras, se podría decir en términos numéricos que cada habitante adulto de Santa Cruz es responsable del bienestar de otra persona (niño, adolescente o adulto mayor).

4.5.3 Indicadores sociales

Junto con lo descrito en los gráficos anteriores, los indicadores sociales pueden reflejar un panorama más completo de la situación social real que vive la población de Santa Cruz, con el objetivo de conocer otros aspectos que reflejen algún grado de vulnerabilidad en caso de un desastre natural.

Los indicadores sociales mencionados se detallan a continuación:

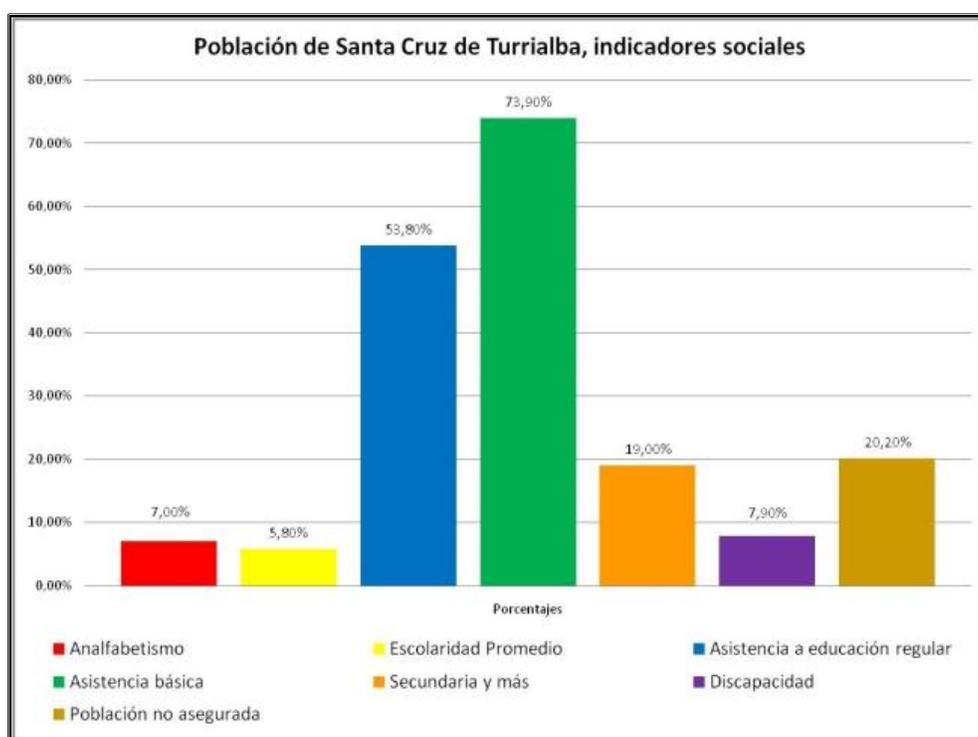


Gráfico 7: Indicadores sociales para el distrito de Santa Cruz de Turrialba

Del gráfico anterior se puede extraer información valiosa para determinar algún nivel adicional de vulnerabilidad en la población, debido a que muestra indicadores que hacen referencia a situaciones que son imprescindibles de manejar en el momento de atender una emergencia por desastre natural.

De esta forma se podría medir el caso de personas con algún tipo de discapacidad que representa un 7,9% de la población del distrito, asimismo es necesario que los ciudadanos cuenten con algún tipo de seguridad social, sin embargo el 20,20% de la población de Santa Cruz no lo posee, otro elemento importante es el analfabetismo con un 7% situación que podría agravar las condiciones posteriores a un desastre o afectar negativamente los objetivos de la prevención y mitigación, debido a la limitación del conocimiento y la capacidad de discernir qué enfrentan estas personas por esta condición.

4.5.4 Población y actividad económica

Para lograr medir el impacto de un desastre en una zona específica, es necesario conocer el movimiento de la actividad económica que realiza la población, con el fin de determinar un posible estancamiento de la economía en caso de desastres naturales. Los siguientes gráficos muestran los escenarios de la actividad económica de la población de Santa Cruz:

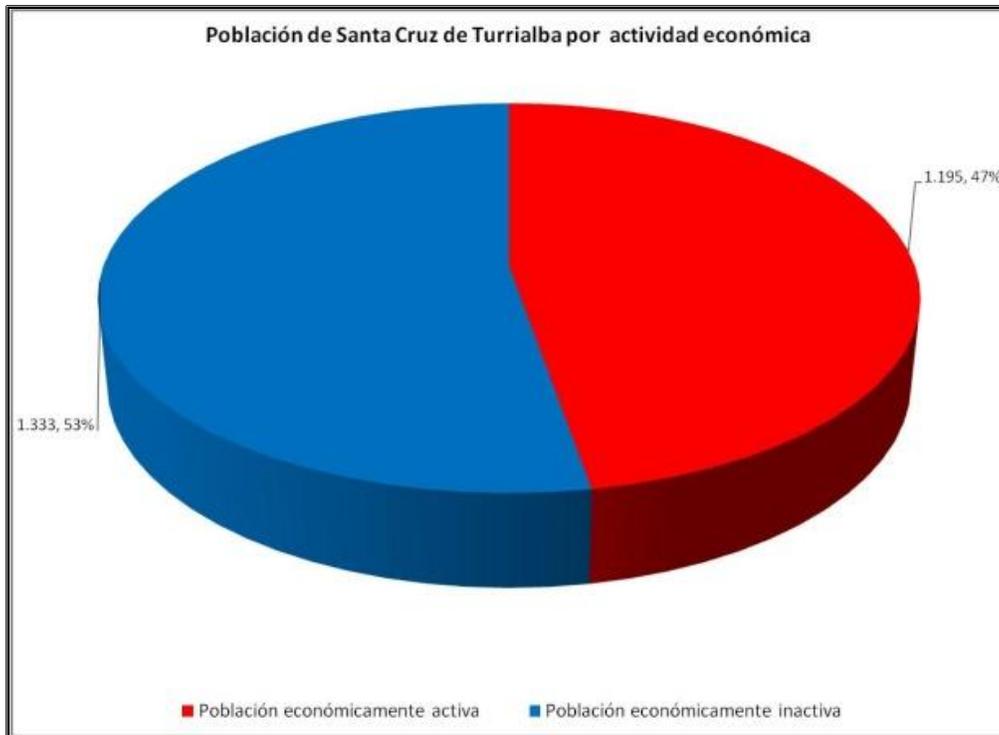


Gráfico 8: Condición de la población con respecto de la actividad económica de Santa Cruz

El gráfico 8 refleja que el 47% de la población se mantiene activa económicamente (cuenta con un sueldo o un salario), lo que demuestra desde otra perspectiva, que de nuevo aproximadamente la mitad de los habitantes es responsable por el bienestar de otros.

Los gráficos a continuación, detallan las razones por las que la población se encuentra económicamente activa o inactiva:

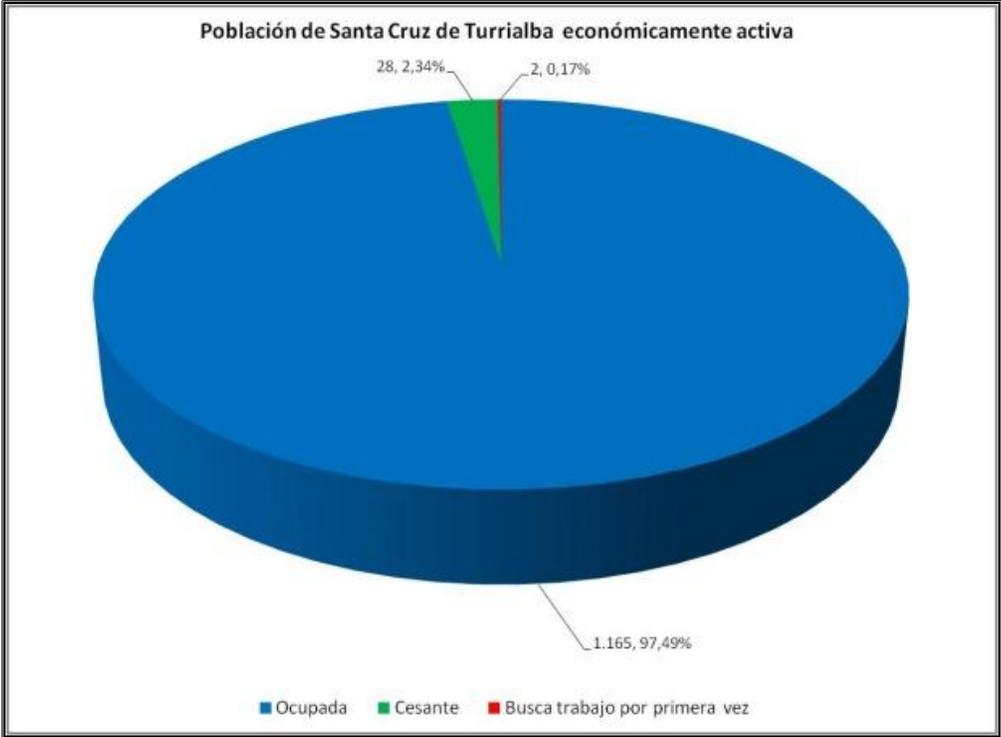


Gráfico 9: Detalle de la población económicamente activa de Santa Cruz

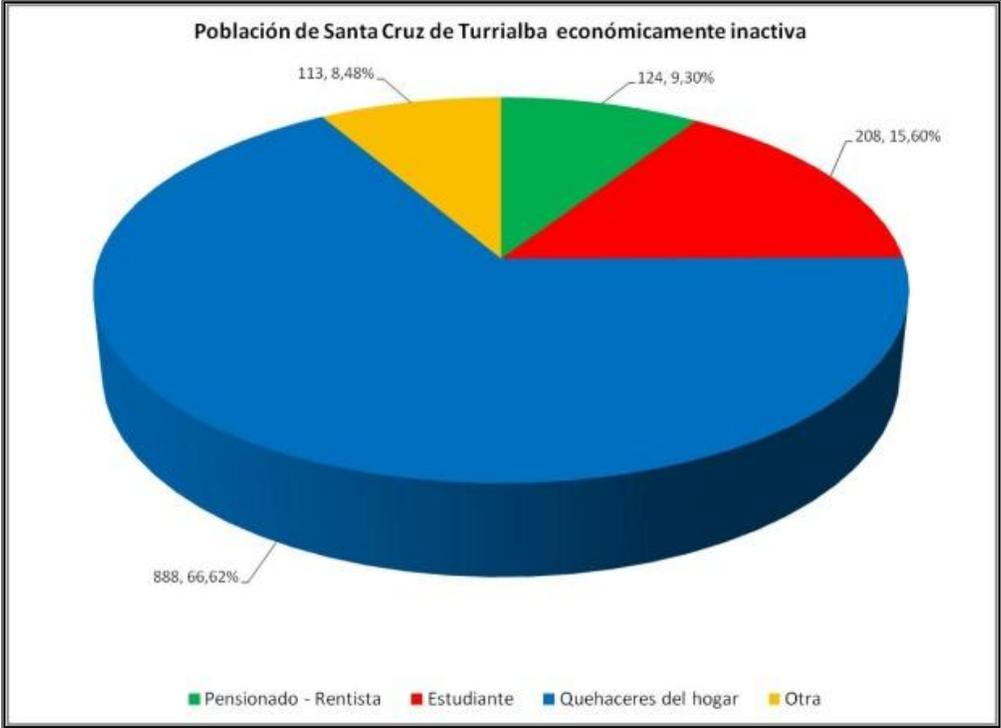


Gráfico 10: Detalle de la población económicamente inactiva de Santa Cruz

4.6 Actividad económica de la zona

NOMBRE	Asociación de Productores Agropecuarios de Santa Cruz de Turrialba, ASOPROA-SC
FECHA DE FUNDACIÓN	24-02-2000
NÚMERO DE SOCIOS	141 de un total de 520 productores*
DIRECCIÓN	Contiguo Agroveterinaria El Colono S. A, carretera principal, Santa Cruz de Turrialba.
TELEFAX	538-8355
CORREO ELECTRÓNICO	infoagroapsacruz@cnp.go.cr
CÉDULA JURÍDICA	3-002-269458
REPRESENTANTE LEGAL	Carlos Víctor Gómez Méndez, Presidente
MISIÓN	Mejorar la calidad de vida de los productores asociados a la ASOPROA-SC a través de la implementación de proyectos productivos que sean económicamente rentables y que garanticen una sostenibilidad socioeconómica y agroambiental a largo plazo.
VISIÓN	Diversificar la oferta de servicios que presta la ASOPROA-SC desde el punto de vista tecnológico, gerencial, administrativo y financiero de manera que sus asociados aumenten el valor agregado de la producción de sus unidades productivas, consolidándose así el liderazgo de la Asociación en la zona y el sentido de pertenencia de los productores a la organización
ACTIVIDAD	Ganadería de leche especializada para producción de lácteos con potencial para el desarrollo de otras actividades productivas y turísticas
PRODUCCIÓN	31.000.000 Kg de leche fluida**
NOMBRE DEL PROYECTO	Transformación Agroempresarial de los Sistemas de Producción de Leche de Pequeños y Medianos Productores de Santa Cruz de Turrialba.
COSTO	€278.700.800,00
FUENTE DE FINANCIAMIENTO	Programa de Reconversión Productiva del Sector Agropecuario.
ZONA DE INFLUENCIA	945 has ubicadas en la cuenca del Río Reventazón (comunidades de La Cinchona, San Antonio, San Rafael, El Carmen, Piedra Grande, Calle Vargas, Calle Leiva, Las Abras, Las Virtudes, La Pastora, Torito, Bonilla, El Tapojo, La Fuente y Los Bajos del Volcán).
OBJETIVO GENERAL	Incrementar el ingreso neto de los productores, mediante la transformación de sus unidades productivas en sistemas de producción eficientes y sostenibles
RESULTADOS ESPERADOS	<p>Aumentos de rendimiento de un 84%</p> <p>Disminución de costos de producción</p> <p>Mayor competitividad</p> <p>Autogestión de la organización</p> <p>Mantenimiento y generación de nuevos empleos</p> <p>Disminución de efectos de sobrepastoreo y erosión</p> <p>Participación de los productores locales en la administración de los recursos</p> <p>Conservación de suelos</p> <p>Inocuidad de alimentos</p> <p>Reducción de la vulnerabilidad</p> <p>Manejo sostenible de los sistemas pecuarios</p>
MODELO TECNOLÓGICO	Semiestabulación

Fuente: ASOPROA-SC

* Datos suministrados por la Ing. Annie López Céspedes (MAG, para el año 2009)

** Datos brindados por el Sr. Johnny Castro Vargas (ASOPROA-SC, para el año 2011)

Tabla 12: Ficha resumen de la ASOPROA-SC

Los habitantes de la zona son pequeños y medianos productores que se dedican principalmente a la ganadería de leche, aunque algunos a la producción hortícola, por esta razón el desarrollo económico de la región está basado en la producción de lácteos.

4.6 1 Actividad económica láctea

De acuerdo con la información suministrada por el MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) de la zona de Turrialba, el distrito de Santa Cruz de este cantón enfoca su actividad económica en un 95% a la crianza de ganado para la producción de leche y sus derivados, el 5% restante se dedica al desarrollo agrícola de tubérculos y legumbres.

Datos obtenidos durante el año 2010, indican que existen aproximadamente 500 fincas ganaderas, con un promedio de 5 hectáreas y 15 animales por finca.

Durante el año 2009 se realizó el levantamiento de los costos de operación semanales de una finca promedio del distrito de Santa Cruz. Se incluyen los costos de operación, los datos obtenidos de la producción de leche, así como los datos óptimos que se suponen para una adecuada rentabilidad del negocio, al determinar el porcentaje de optimización de los recursos.

Valores de producción y determinación de porcentaje de optimización de recursos							
Sistema Santa Cruz							
Periodo	7	Días		al	20	Abril	2009
Producción de Leche							
	No. Vacas	Cantidad Kg	kg/lec/día	Kg/leche/ periodo	Leche €/kg	% S	€/Kg
Óptimo	10	120	12	840	276.5	13.6%	3200
Real	10	94	9.4	660	250.0	13	1923
	Valor Prod	Ingreso/día	Rent	Kg Sólidos Totales		%optimización	
Óptimo	₡ 232,260	₡ 52,070	₡ 75,023	Día	Periodo		
Real	₡ 165,000	₡ 23,571	₡ 7,763	16.272	113.904	71.0	
				12.3	85.8		

Tabla 13: Producción semanal de leche distrito Santa Cruz

Gastos de Operación Semanales		
Total	%	₡157,237
Concentrado	28.5	44,739
Abono	16.7	26,308
M.O.	10.8	17,040
Transporte	9.5	15,000
Otros	6.4	10,000
Mant. Equipo	6.4	10,000
Mant. Instal	6.4	10,000
Luz	6.0	9,400
Medicamentos	5.1	8,000
Implementos	2.2	3,500
Agua	1.3	2,000
Desinfección	0.8	1,250

Tabla 14: Insumos necesarios para la producción semanal de leche

CAPÍTULO V. ANÁLISIS HISTÓRICO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

5.1 Amenazas naturales

Generalmente la cuantificación de la amenaza es un objetivo difícil de alcanzar, por lo que comúnmente se describe en términos cualitativos, debido a que el proceso requiere información histórica o en su defecto, la aplicación del criterio de un experto.

Por esta razón es que en esta investigación, para realizar el análisis de la amenaza sísmica, fue necesaria información del historial sísmico y de fallas ubicados fuera de Santa Cruz, previendo que eventos de magnitud relevante y poca profundidad, puedan afectar la zona de estudio.

5.2 Amenaza Sísmica

¹¹La determinación de la magnitud máxima de un terremoto que podría producir una falla activa (neotectónica) conocida, es una aplicación directa de la observación sismotectónica, que es muy importante para el cálculo de la amenaza sísmica, tanto probabilístico como determinístico, el cual requiere de la estimación del potencial sísmico de las fuentes generadoras de la zona específica por estudiar.

¹¹ Linkimer (2003)

El método generalmente utilizado para la determinación del potencial sísmico de una falla, es la utilización de historial sísmico que relacione el tamaño de un evento (comúnmente la magnitud momento, Mw) con un parámetro característico de la falla, ya sea el área de ruptura, la longitud de la superficie de ruptura, el máximo desplazamiento por evento, otros. Dicha metodología es una buena alternativa para expresar con precisión el potencial sísmico, ya que usualmente no ocurre un evento que refleje el verdadero potencial de una falla en el corto período de tiempo que representa el registro instrumental e histórico.

En la zona de Turrialba se identifica un total de 20 fallas activas y 19 neotectónicas, no existen referencias históricas que demuestren la ocurrencia de eventos superficiales originados en dichas fallas, sin embargo se registran sismos históricos importantes. Determina que la longitud de las fallas (de hasta 15 km) y el área de ruptura que presentan, pueden generar sismos con una magnitud máxima de entre 4,8 y 6,8 Mw, además las fallas más largas de la zona (>15 km) pueden generar sismos con magnitudes máximas de 6,4 a 6,8 Mw.

Existe una estrecha relación entre las fallas y otros eventos geológicos en la zona, tal es el caso del desarrollo del Volcán Turrialba y la evidencia de la posibilidad de deslizamientos y colapsos volcánicos.

5.2.1 Temblor de Turrialba del 19 de noviembre de 1948 (7.0 ML)

¹²El evento sísmico más importante del que se tiene registro en la zona de Turrialba, es el terremoto del 19 de noviembre de 1948, que registró una magnitud de 7,0 (ML) y una profundidad de 80 km, su epicentro se localizó aproximadamente entre las ciudades de Turrialba y Cartago. Este temblor fue sentido fuerte y prolongadamente en Turrialba, Cartago, Sarapiquí, San Isidro de Pérez Zeledón y Limón, todas estas localidades describieron una intensidad máxima de V (MM), de acuerdo con el reporte de objetos caídos de las estanterías y la alarma en la población.

5.2.2 Distribución Geográfica

La distribución epicentral de los sismos es dispersa, con algunas concentraciones de sismos cerca de las fallas Navarro, Guayabo, Elia, Ariete, Tucurrique, Turrialba, Azul y otras. Teniendo clara la cercanía de los epicentros a la traza de estas fallas, se presume que los sismos se pudieron generar por la actividad de estas fallas, por consiguiente pueden ser consideradas activas.

Las intensidades de mayor escala en la ciudad de Turrialba fueron reportadas durante los sismos con epicentro en Limón en el año 1991 y Pejibaye (Turrialba) en el año de 1993, los daños reportados durante el evento sísmico del años 1993 puede relacionarse con aplicaciones inadecuadas de diseño y construcción, así como con los materiales utilizados que no cumplían con las normas de calidad establecidas.

¹² Linkimer (2003),

5.2.3 Macrozonificación Sísmica

5.2.3.1 Definición de zonas fuente

Las zonas fuente de los sismos en nuestro país trascienden por ser de origen tectónico ligadas a la zona de subducción entre las placas Coco y Caribe. Adicionalmente las fallas geológicas abundantes en la zona de Turrialba, así como los eventos de tipo volcánico, generan las características necesarias para determinar en ellas la macrozonificación sísmica.

5.2.3.2 Caracterización de las zonas fuente

Se considera que el proceso de subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe es el que genera los sismos de mayor magnitud (hasta 7,7), sin embargo los sismos de magnitud moderada (menor a 6,5) y originados en fallas dentro de la placa Caribe son los que más daños y víctimas han cobrado, debido a que estos temblores han ocurrido muy cerca de centros de población y a que son muy superficiales (profundidad inferior a 20 km).

5.2.3.4 Aceleración máxima del suelo en Costa Rica para un período de retorno de 500 años

Con el fin de realizar un análisis objetivo de la aceleración máxima del suelo, se toman en cuenta tres mapas de isoaceleraciones para determinar el promedio de la aceleración pico efectiva del terreno en la zona de estudio.

En la figura 58, se presenta que la aceleración en la zona de estudio, corresponde con un rango de entre 351 y 450 PGA (gal).

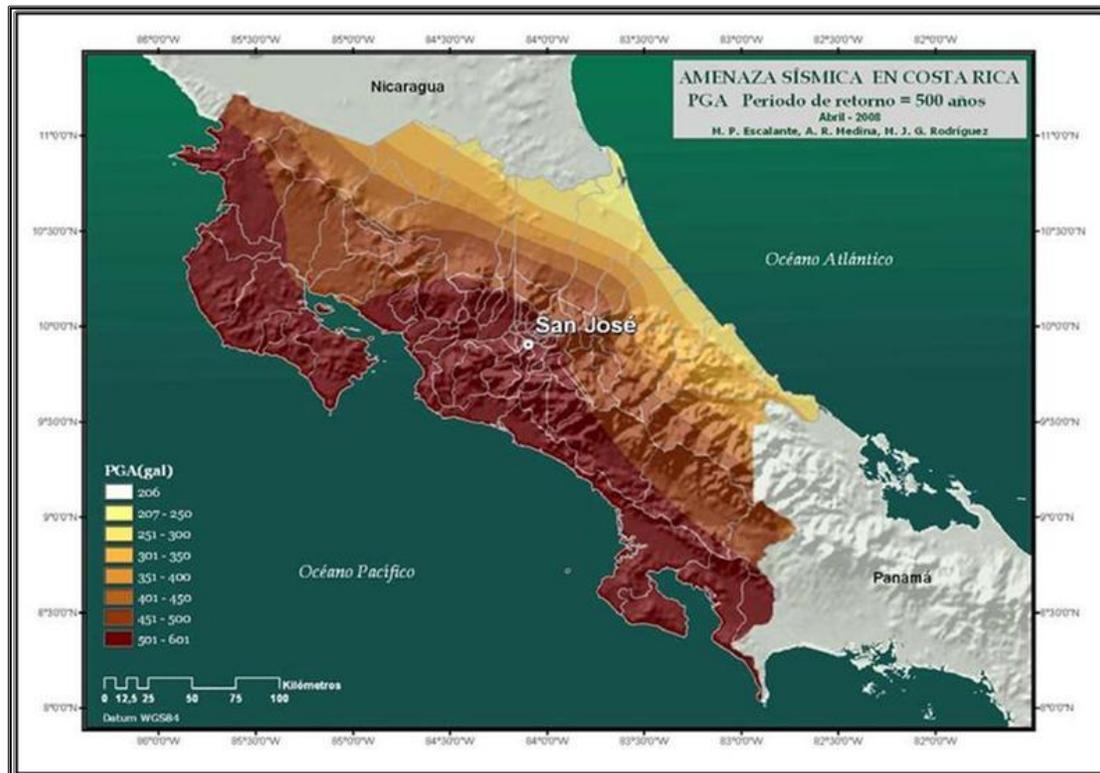


Figura 58: Mapa de isoaceleraciones, período de retorno de 500 años (Fuente: Rojas, 2009)

La aceleración pico efectiva del suelo en la figura 59, presenta un rango de entre 451 y 500 PGA (gal).

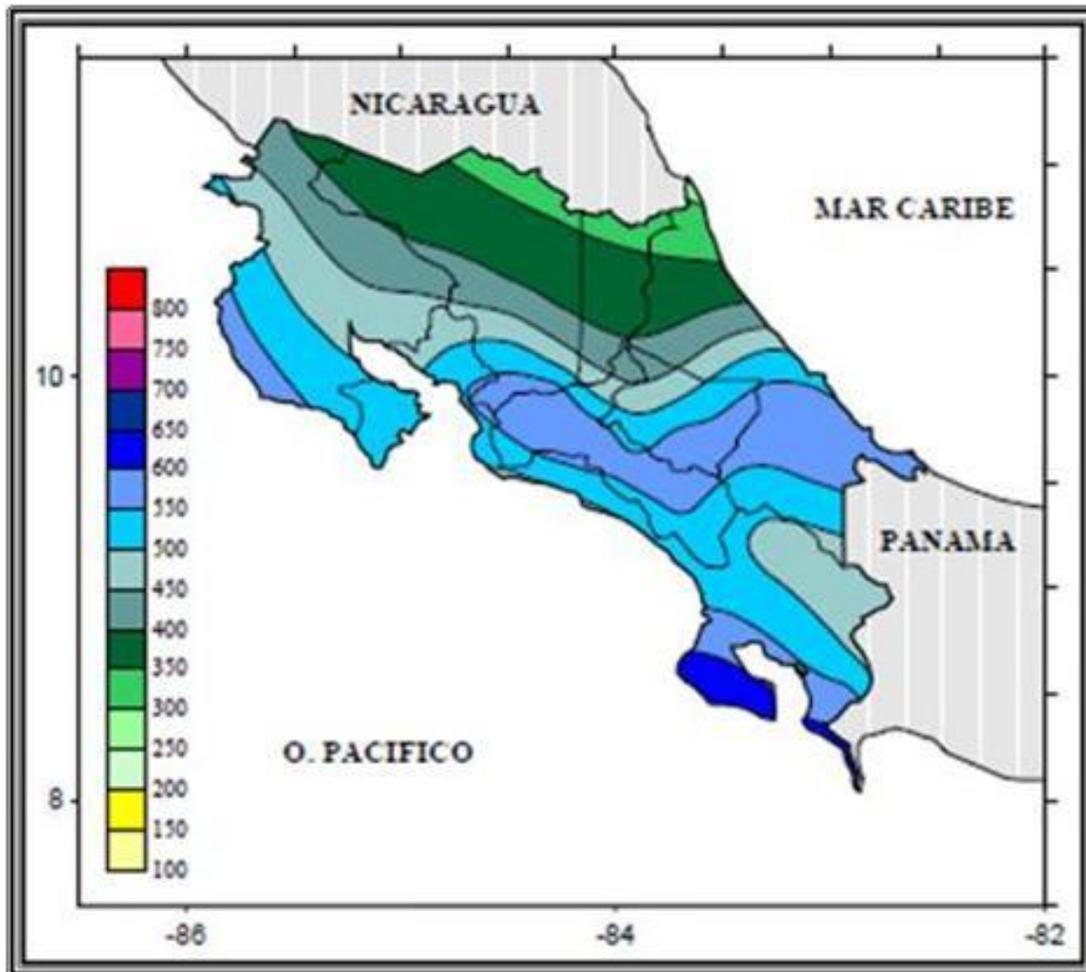


Figura 59 : Mapa de isoaceleraciones, período de retorno de 500 años, modelo de atenuación de Climent *et al.* (1994) (Fuente: Linkimer & Schmidt, 2002)

En la figura 60, refleja que la aceleración en Santa Cruz de Turrialba, se establece con un rango de entre 501 y 550 PGA (gal).

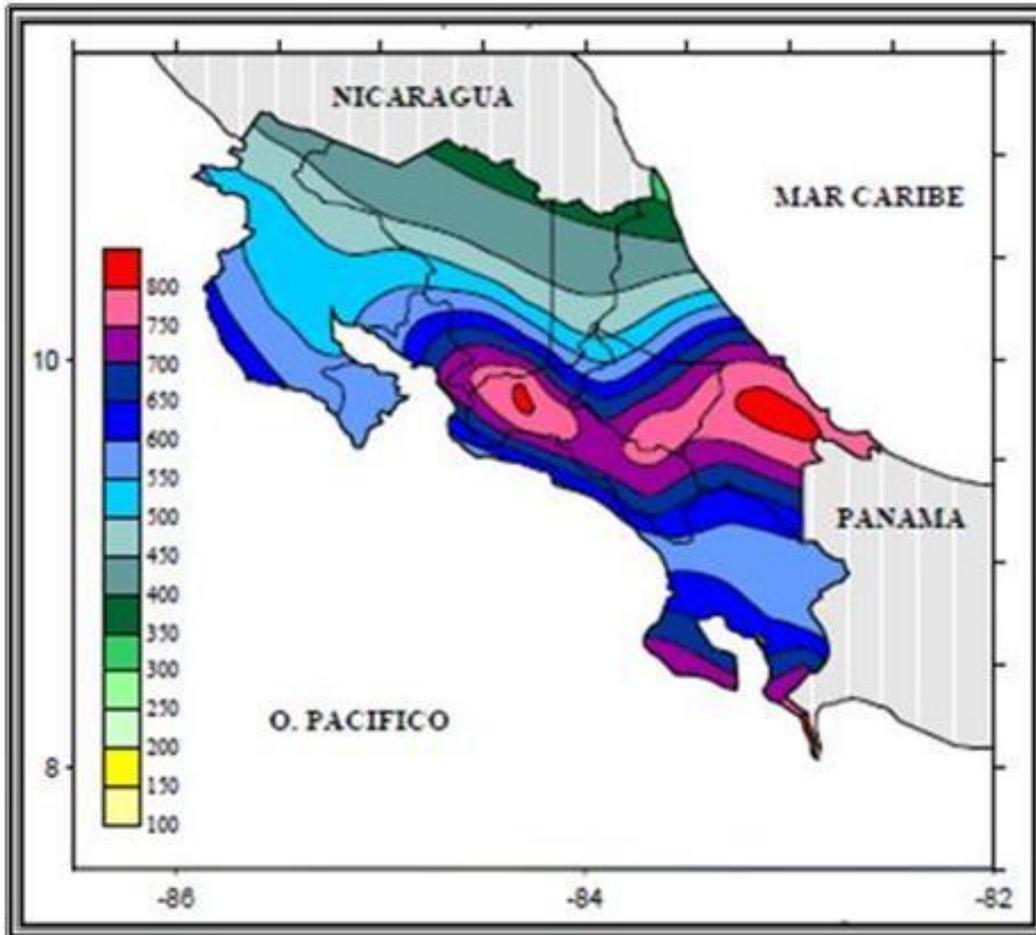


Figura 60: Mapa de isoaceleraciones, período de retorno de 500 años, modelo de atenuación de Schmidt *et al.* (1997) (Fuente: Linkimer & Schmidt, 2002)

De acuerdo con los datos obtenidos de los valores máximos de PGA (en gales) para la zona de estudio, según los mapas anteriores se establece el PGA promedio para el distrito de Santa Cruz de Turrialba, según la siguiente tabla.

Modelo de atenuación	Periodo de retorno	Valores máximos de PGA (g)
Rojas (2009)	500 años	450
Climent <i>et al.</i> (1994)	500 años	500
Schmidt <i>et al.</i> (1997)	500 años	550
Valor PGA promedio =		500

Tabla 15: Estimación del PGA (g) promedio para Santa Cruz de Turrialba

El Código Sísmico de Costa Rica 2002, con base en la zonificación sísmica y el sitio de cimentación, establece la siguiente tabla para determinar los valores de aceleración pico efectiva de diseño (a_{ef}) correspondiente a un período de retorno de 500 años.

Tipo de sitio	Zona II	Zona III	Zona IV
S ₁	0.20	0.30	0.40
S ₂	0.24	0.33	0.40
S ₃	0.28	0.36	0.44
S ₄	0.34	0.36	0.36

Tabla 16: Aceleración pico efectiva de diseño (a_{ef}), para un período de retorno de 500 años.

Los datos mostrados determinan que la zona de estudio corresponde con un sitio tipo S₃ y una Zona III, por lo que su aceleración se establece en 0.36, valor que será utilizado para estimar los distintos escenarios que según detalla el código sísmico, se deben tener en cuenta para realizar el diseño adecuado de estructuras, como se muestra en la siguiente tabla:

Valores establecidos por el Código Sísmico de Costa Rica 2002				
Aceleración (a_{ef})	Gravedad (m/s^2)	Factor de importancia (I)		
		Sismo extremo	Sismo de diseño	Sismo moderado
0.36	9.80	1.50	1.00	0.75
Estimación de la aceleración pico efectiva (a_{ef}) para cada escenario				
Valores de aceleración pico efectiva:		529	353	265

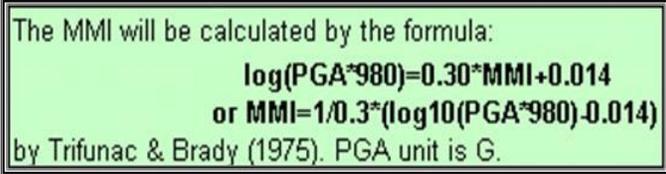
Tabla 17: Estimación de la aceleración pico efectiva de diseño (a_{ef}), para distintos escenarios según el Código Sísmico de Costa Rica 2002.

El valor promedio determinado al utilizar los tres mapas de isoaceleraciones corresponde a 500 PGA, que coincidentemente se acerca al valor estimado para un sismo extremo según el código sísmico, por lo que para la evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura, se toma en cuenta el valor promedio obtenido.

5.2.3.5 Atenuación de la vibración del suelo

¹³Se describe que el movimiento sísmico (aceleración y velocidad) disminuye en función de la distancia a su fuente, afecta de manera subjetiva la intensidad del evento.

Para realizar el cálculo de la intensidad MMI, se muestra la formula de Trifunac y Brady (1975).



The MMI will be calculated by the formula:
 $\log(\text{PGA} \cdot 980) = 0.30 \cdot \text{MMI} + 0.014$
or $\text{MMI} = 1/0.3 \cdot (\log_{10}(\text{PGA} \cdot 980) - 0.014)$
by Trifunac & Brady (1975). PGA unit is G.

Figura 61: Fórmula de conversión de PGA a MMI (Fuente: Van Westen, n.d.)

Conversión de isoaceleraciones (PGA) en escalas de intensidad (MMI) por medio de la curva de Trifunac y Brady (1975).

¹³ Van Westen (n.d.)

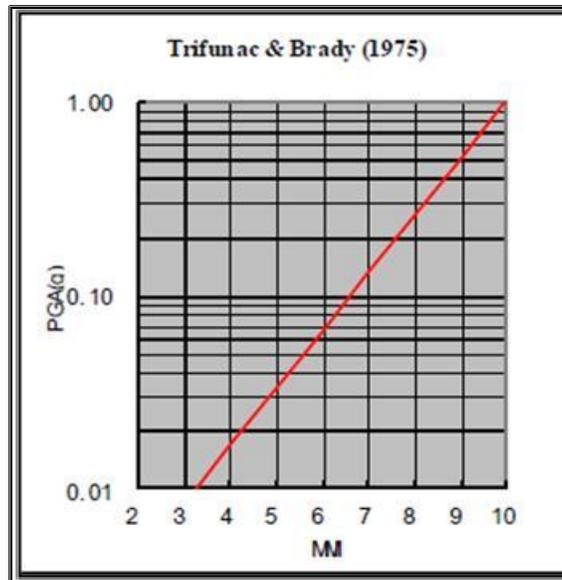


Figura 62: Curva de relación PGA y MMI (Fuente: Van Westen, n.d.)

Para el caso específico de Costa Rica, Linkimer (2008) define la ecuación para la relación entre PGA y MMI de la siguiente manera:

$$MMI = 2.69 \log(PGA_{max}) + 0.56$$

Figura 63: Ecuación de relación entre PGA y MMI para Costa Rica (Fuente: Linkimer, 2008)

Para lo que se puede interpretar al utilizar la curva de relación entre PGA y MMI para Costa Rica, con el fin de realizar las estimaciones más ajustadas con la realidad.

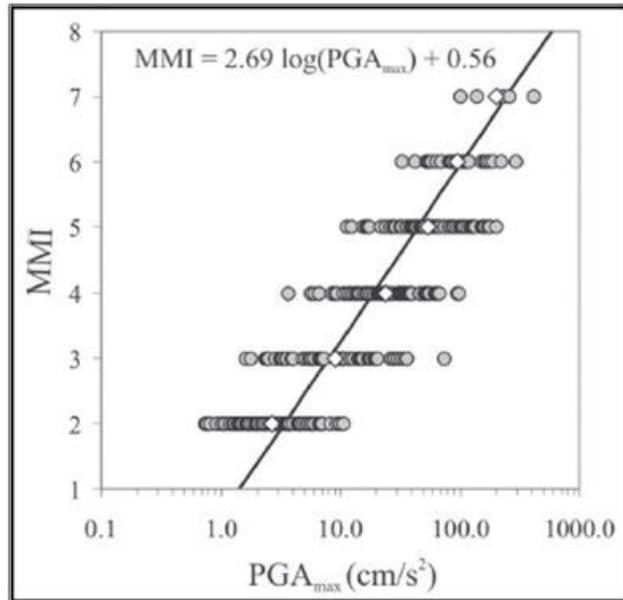


Figura 64: Curva de relación entre PGA y MMI para Costa Rica (Fuente: Linkimer, 2008)

5.2.4 Microzonificación Sísmica

5.2.4.1 Determinar respuesta local

Es fundamental determinar la respuesta local ante eventos sísmicos, teniendo en cuenta los recursos y limitaciones presentes en la zona por estudiar. Para este efecto un parámetro de referencia lo conforman la organización comunitaria, la prevención del riesgo, los planes de mitigación existentes, el establecimiento de elementos básicos o líneas vitales, preparación de comunidades, Comisión Nacional de Emergencias, Comisión Local de Emergencias entre otros.

5.2.4.2 Amplificación debida a condiciones locales (Suelo/topografía)

La magnitud de la amplificación depende del espesor de la cobertura de los suelos definida por su geología, incorpora las propiedades del suelo como rigidez y peso unitario, teniendo en cuenta el tipo de sismo de acuerdo y su magnitud y la distancia del hipocentro.

La mayor amplificación ocurre cuando el suelo inicia la resonancia bajo la influencia de la onda sísmica. Los efectos asociados a la topografía pueden afectar negativamente esta influencia, cuando la topografía sea pronunciada que pueda incrementar el efecto de amplificación debido al efecto “jelly-pudding” (trozo de gelatina), y cuando la vibración en la cima de una colina pueda ser mayor que la que ocurre en la base.

5.2.4.3 Amenazas Secundarias

Las amenazas secundarias son producto de los eventos sísmicos, se pueden enumerar de la siguiente manera:

- Avalanchas
- Flujos de tierra y lodo
- Asentamiento diferencial del suelo
- Licuefacción
- Deslizamientos
- Inundaciones debido a rompimiento de presas y diques naturales
- Incendios

Para el caso de los deslizamientos, se podrían presentar de diversa magnitud y es un riesgo potencial, sobre todo hacia las partes altas de las cuencas de los ríos, lo que podría generar embalses y posteriores avalanchas de lodo, que amenazarían aquellos poblados localizados en las partes bajas de estas cuencas.

Este comportamiento del terreno se puede denominar “Efecto Cinchona”, y podría afectar zonas medias o altas de nuestro país donde existan sistemas de fallas establecidos y se presenten enjambres de sismos con cierta frecuencia.

Las fracturas en el terreno pueden causar daños a viviendas, carreteras, puentes y líneas vitales, pueden ocasionar daños en toda la zona de estudio. Los asentamientos del terreno se presentan en suelos poco compactos fracturados, tal es el caso de zonas de falla, rellenos y aluviones.



Imagen 5: Deslizamiento por terremoto en Cinchona (Fuente: Barquero 2010)

5.2.4.4 Relación con edificios

Los efectos provocados por los sismos y las ondas que transmiten, pueden incrementar el riesgo y la vulnerabilidad del colapso de estructuras debido a los siguientes factores:

- Irregularidad en planta
- Irregularidad en altura
- Excentricidad de las estructuras
- Rigidez de las estructuras
- Tipo y composición del suelo

5.3 Amenaza Volcánica

Con el fin de analizar la amenaza volcánica en la zona de estudio, el primer elemento por tener en cuenta es el cambio visible que presenta el Volcán Turrialba. A continuación se presenta una seguidilla de imágenes que muestran el cambio físico visible del Volcán Turrialba desde finales del siglo XIX hasta los inicios del siglo XXI.

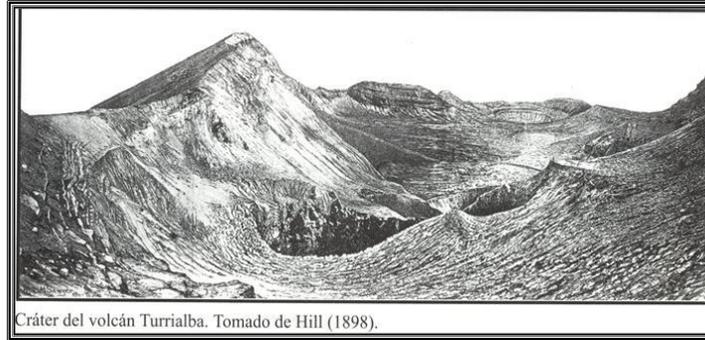


Imagen 6: Volcán Turrialba a finales del siglo XIX (Fuente: Denyer, 2003)

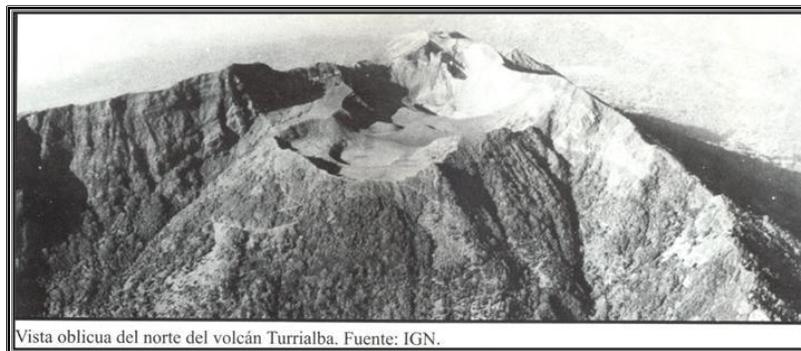


Imagen 7: Volcán Turrialba a inicios del siglo XXI (Fuente: Denyer, 2003)



Imagen 8: Vista aérea del Volcán Turrialba a inicios del año 2010 (Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG, Turrialba 09 de enero de 2010)

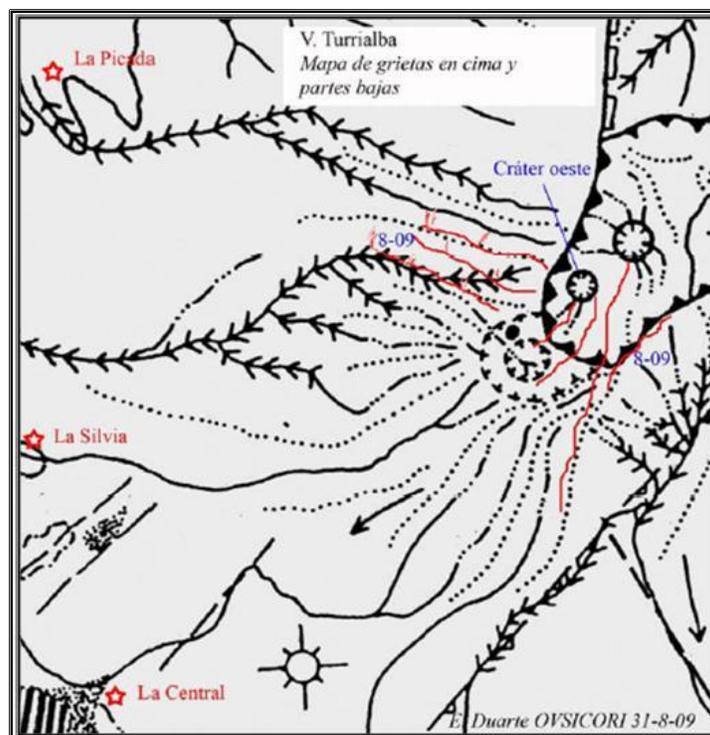


Figura 65: Mapa de grietas en la cima del Volcán Turrialba (Fuente: Duarte, 2009)

Las flechas en general de la figura anterior, definen las direcciones en las que podría dirigirse el material que se desprenda del cráter del Volcán Turrialba, las flechas continuas establecen las zonas en las que se estarían alcanzando ríos y quebradas cercanos, como el caso de los ríos Guayabito y Aquiares, así como la falla Ariete, elementos de estudio en esta investigación.

¹⁴En términos estructurales, existen grietas en el área cercana al cráter activo y aproximadamente 1 kilómetro hacia el NW. Además, una grieta que se anunciaba con deposiciones de azufre desde fines del año 2008 se abrió hasta unos 12 centímetros emanando gas y vapor a 90°C, se encuentra en el borde sur del cráter oeste. Cerca del borde y en la pared sur, las quemaduras de la vegetación alcanzaron hasta desnudar el suelo.

¹⁴ Duarte (2009)

5.3.1 Amenaza volcánica en la zona del Volcán Turrialba

Por las características topográficas y geológicas convierten el cantón de Turrialba en una zona especialmente vulnerable a fenómenos sísmicos y vulcanológicos, tal y como lo ha manifestado en períodos importantes de actividad sísmica.

Según la historia de las pasadas erupciones, indica que el volcán Turrialba presentó al menos una erupción moderada (con Índice de Explosividad Volcánica de 2) entre 1864 y 1866, la misma se caracterizó por caída de ceniza, fuertes emisiones de gases y vapor de agua, tefra de tamaño mediano y actividad sísmica local moderada. La historia fue basada en el estudio de los depósitos piroclásticos, lahares, avalanchas volcánicas, flujos de lava y flujos de lodo que se encuentran en los alrededores del volcán, los últimos ubicados en mayor parte hacia el norte y noreste del mismo. El evento explosivo de 1864-1866 caracteriza los diferentes depósitos, así como el cambio drástico de la morfología de los cráteres, además registra la propagación de las cenizas hasta lugares tan lejanos como Atenas y Grecia, junto con algunos pequeños lahares principalmente en el Río Aquiares.

Debido al estudio de estos ciclos eruptivos, es posible inferir que en el futuro se mantenga un comportamiento eruptivo explosivo moderado (estromboliano o freatomagmático), aunque no descarta la ocurrencia de algún evento más violento de tipo pliniano, que ha sido propuesto previamente luego de observaciones interpretadas en las que los extensos flujos de lava e ignimbritas en el Valle Central, representan un largo período de vulcanismo explosivo fuerte, donde el grado de peligrosidad del evento estará directamente relacionado con el contenido

silícico de las lavas, en los que los eventos relacionados con andesita silícica parecen ser más peligrosos ya que producirían grandes nubes de cenizas, oleadas de flujos piroclásticos y lahares potencialmente destructivos. Al considerar entonces la potencia y extensión de las unidades lávicas y piroclásticas, se considera que los eventos que representan una potencial amenaza volcánica en el futuro son:

- Nuevos conos con efusión de lava fisural
- Expulsión de gases volcánicos y lluvia ácida
- Avalanchas volcánicas
- Flujos de lodo
- Coladas de lava
- Explosiones dirigidas con emisión de piroclastos
- Emisión de depósitos piroclásticos y oleadas piroclásticas con explosiones freáticas asociadas

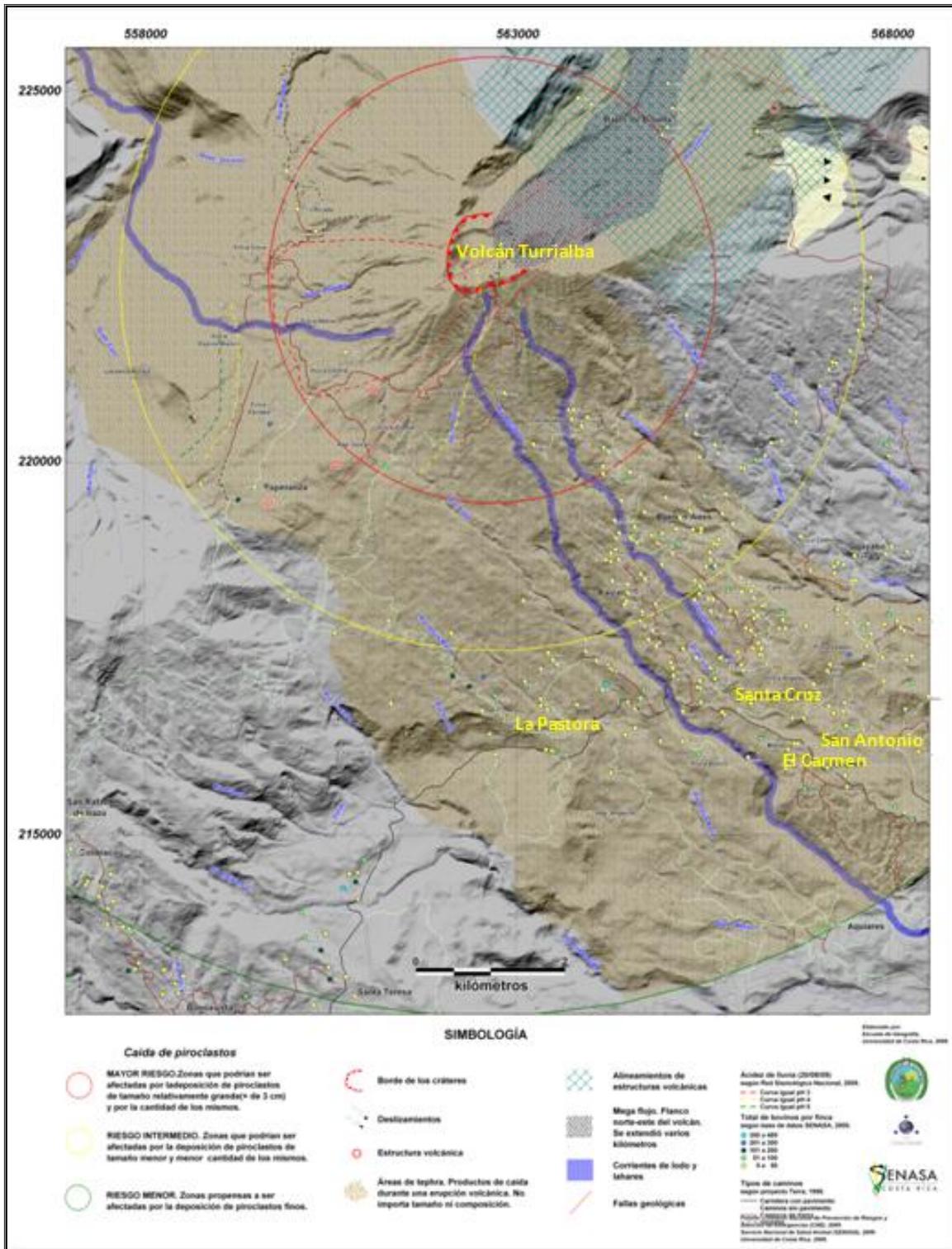


Figura 66: Escenario de afectación Volcán Turrialba (Modificado de: Escuela de Geografía UCR, 2009)

5.3.2 Amenaza volcánica asociada a sismos en el graben del Volcán Turrialba

Un graben se define como una depresión tectónica elongada, de forma casi rectangular y limitada por fallas en sus extremos más largos. Los grábenes volcánicos por lo general se presentan en las cúspides de los volcanes, relacionándose a menudo con movilidad de magma en el interior del edificio, lo que genera tensión en su parte cuspidal y por ende la formación de la depresión. Uno de los grábenes volcánico-tectónico más conocidos es el del Volcán Turrialba (con dirección NE-SO).

¹⁵El Volcán Turrialba (3339 m.s.n.m.) presentó varios episodios eruptivos, estrombolianos, plinianos y freatomagmáticos, los cuales han generado principalmente coladas de lava y flujos piroclásticos, al determinar que las rocas que conforman el edificio volcánico corresponden principalmente con andesitas basálticas, andesitas y en menor proporción basaltos olivínicos.

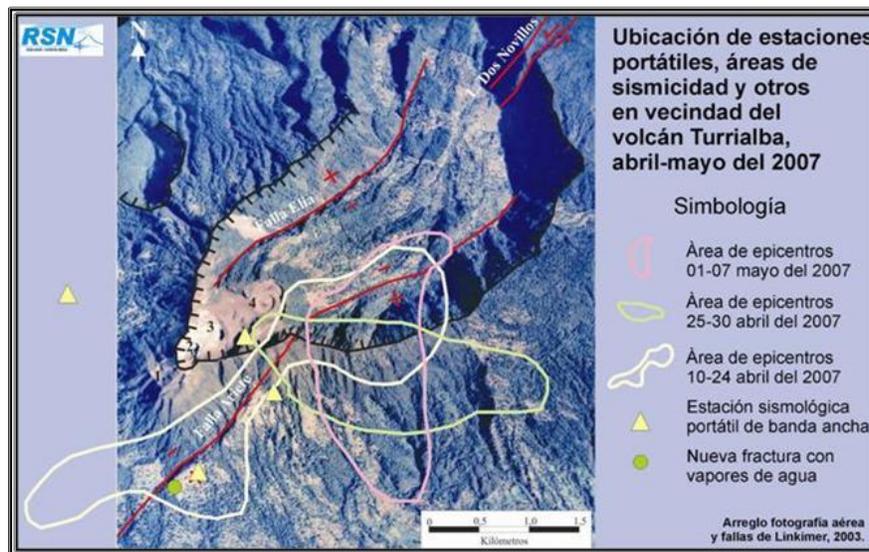


Figura 67: Sismicidad en el graben del Volcán Turrialba (Fuente: Soto & Alvarado, 2010)

¹⁵ Linkimer (2003)

5.3.3 Amenaza volcánica por deslizamientos

En la zona norte del cantón, se dan fuertes pendientes en terrenos compuestos por la acumulación de productos volcánicos, en cuya región los deslizamientos pueden ser generados por sismos, lluvias o actividad volcánica, al establecer los sectores más vulnerables como los ubicados hacia los valles de los ríos, donde la pendiente es mayor.

Determinación de los efectos importantes de los deslizamientos.

- Posible sepultamiento de viviendas
- Daños diversos en vías de acceso
- Avalanchas de lodo debidas a represamientos de ríos, afecta viviendas ubicadas en las márgenes de los ríos o dentro de la llanura de inundación.
- Daños irreparables en los cultivos
- Muerte de animales domésticos y vida silvestre

En la literatura se han descrito dos depósitos importantes relacionados con el Volcán Turrialba, uno de ellos es la colada de Aquiares que se extiende al oeste del Valle de Turrialba y está conformada por una fila con cima plano – ondulada de 2 km de ancho aproximadamente, el otro depósito consiste en la denominada Brecha Angostura, la cual contiene alrededor de 80 m de espesor, compuesta por cantos rodados de lavas andesíticas, y ocasionalmente arenitas y fragmentos angulares de calizas y andesitas, inmersos en una matriz formada por barros volcánicos y cenizas.

Los deslizamientos o avalanchas se producen en terrenos inestables cuando se presenta el cambio de posición del cráter o por detonantes externos como sismos o saturación del terreno debido a las lluvias intensas. Un ejemplo claro de esta condición la presentó el Volcán Arenal durante el primer semestre del año 2010.



Imagen 9: Cambios morfológicos, cima del nuevo cráter Volcán Arenal (Fuente: Duarte, 2010)

5.3.4 Amenaza volcánica por lava

La movilidad de la lava depende entre otros factores, de la temperatura que posea, la cual puede variar entre 600°C y 1200°C. Adicionalmente las lavas ricas en sílice son más viscosas por lo que se solidifican rápidamente, mientras que las lavas pobres en sílice tienden a recorrer grandes distancias. La velocidad de una colada fluctúa en casos extremos hasta 100 km/hora como en los volcanes de Hawái, y de 0,3 a 50 m/hora para el caso del Volcán Arenal por ejemplo.

La situación del Volcán Arenal, supone que el Volcán Turrialba no es capaz de emitir coladas de lava que puedan afectar los poblados vecinos.

5.3.5 Amenaza por Flujos Piroclásticos

En las investigaciones realizadas por la UNESCO se establecen que los depósitos incluyen oleadas de flujos piroclásticos (nubes ardientes o surges), los cuales son provocados por el colapso de una columna eruptiva de una explosión volcánica, por lo que definen según Soto (1988), la zona de máximo riesgo de 7 km de diámetro ya delimitada alrededor del cono del Volcán Turrialba que se vería afectada por erupciones plinianas y bloques de erupciones freáticas con un diámetro mayor de 30 cm, la de 10 km definida por Reagan, Hill y Soto (inédito) para las distancias a las que fueron identificados los depósitos de oleadas piroclásticas de menor granulometría.

Las siguientes son sus principales amenazas.

- Colapso de estructuras débiles
- Cubierta de cenizas
- Incendios
- Sofocación

5.3.6 Amenaza por lahares

Los lahares se determinan como el flujo de lodo de alta densidad compuesto por materiales gruesos como rocas, troncos de árboles y otros, que se presenta sobre el flanco de un volcán, incluye las correntadas fluviovolcánicas, avalanchas volcánicas y flujos de detritos. Estos depósitos se han identificado en el flanco norte del Volcán Turrialba debido al colapso del flanco noreste del cráter, ¹⁶tal es el caso de la avalancha del Turrialba y Dos Novillos que menciona la UNESCO en su estudio. De igual manera, los altos índices de precipitación pluvial y fuertes pendientes de la zona favorecen una escorrentía y erosión intensas, al considerar de alto riesgo los cauces de los ríos Dos Novillos, Guácimo, Elia, Bonilla, Destierro y Mercedes.

¹⁷Las amenazas por lahares se pueden describir según lo siguiente:

- En valles poco profundos el flujo de escombros puede desbordarse y cubrir áreas adyacentes
- Logra la destrucción de edificaciones e infraestructura
- Provoca sepultamiento
- Genera inundación

5.3.7 Amenaza volcánica por ceniza y lluvia ácida

Las cenizas y el polvo volcánico comprenden partículas de menos de 2 mm hasta alcanzar tamaño microscópico.

¹⁶ UNESCO (2000)

¹⁷ Voskuil (n. d)

Esta ceniza puede provocar daños o incluso colapsar las estructuras especialmente con techos planos, por acumulación del material, cubrir y dañar la vegetación, contaminar las aguas en especial de nacientes cercanas como también problemas respiratorios para los seres humanos.

La lluvia ácida afecta cuerpos de agua dulce como ríos y embalses, deteriora las plantas, por lo que produce daños importantes en la vegetación natural, y los cultivos. La concepción de “lluvia ácida” implica la sedimentación tanto húmeda como seca de contaminantes ácidos, los cuales son capaces de provocar el deterioro de los seres vivos que habitan en las áreas a su alcance, así como en las superficies de los materiales que entren en contacto con ella. Dichos contaminantes van al aire y reaccionan con el agua y logran que los oxidantes de la atmósfera los conviertan químicamente en ácidos tales como clorhídrico, sulfúrico y nítrico.

5.4 Efectos en la salud

La bibliografía internacional indica que la ceniza volcánica ataca principalmente el aparato respiratorio, la piel y los ojos, causa conjuntivitis o alguna enfermedad relacionada, con el aparato respiratorio superior, produce irritación, provoca rinitis, faringitis, amigdalitis, laringitis y empeoramiento de la sinusitis. Debido a que la ceniza volcánica está constituida especialmente por dióxido de silicio, puede producir irritación local y desarrollar silicosis, genera altas tasas de tuberculosis. De esta forma, existe la posibilidad de que personas infectadas, que no presentan la enfermedad, pudieran desarrollarla, activa focos latentes por vía irritativa silicótica por el dióxido de silicio. Los pacientes que sufren hiperactividad bronquial, los bronquíticos crónicos,

los pacientes asmáticos, y las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas pueden complicarse.

Establece además, que podría existir una relación entre la presencia elevada de aluminio en el agua para beber y la enfermedad de Alzheimer. Los compuestos de titanio disueltos en líquidos pueden producir conjuntivitis, opacidad corneal, congestión de la mucosa del aparato respiratorio superior seguida por cicatrización y estenosis laríngea. Para el caso de los ojos, la ceniza actúa como cuerpo extraño debido a los cristales del dióxido de silicio que afectan directamente a la conjuntiva y a la córnea, produce abrasiones, además del efecto irritante. En el nivel de la piel, el efecto de la ceniza es principalmente por su acción irritante-dérmica.

CAPÍTULO VI. ANÁLISIS ACTUAL DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

Es imprescindible conocer los fenómenos que podrían causar los desastres, así como los efectos que provocan sobre los medios físico, biótico y perceptual, esto con el propósito de realizar un análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en una zona específica y un período determinado. A continuación se definen los tipos de fenómenos macro y los efectos que causan en los medios ya mencionados, propósito que enfoca esta evaluación.

Fenómeno	Efectos		
	Sobre el medio físico	Sobre el medio biótico	Sobre el medio perceptual
Erupciones volcánicas	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del aire por los gases emitidos Desvío de ríos, desaparición de playas y formación de nuevo contorno litoral Flujos de escombros y lodo a partir de nieve y hielo o por colapso estructural de una de las paredes del volcán Contaminación de cuerpos de agua Incendios Sismos y maremotos en las zonas cercanas 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en la salud de las personas: <ul style="list-style-type: none"> Por la energía liberada Por cambios ambientales, como la contaminación del aire (molestia de mucosas, ojos, piel, sistema respiratorio) y del agua Pérdida de cubierta vegetal y daños a la fauna por incendios, avalanchas y lluvia ácida Pérdida de hábitat Desequilibrio ecológico extensivo 	<ul style="list-style-type: none"> Cambios drásticos del paisaje (paisaje yermo, desolado y pérdida de mosaico agrológico) con pérdida de atributos estéticos
Terremotos	<ul style="list-style-type: none"> Deslizamientos y derrumbes en montañas, precipicios y acantilados costeros por efecto de la vibración Movimientos de masa en laderas con saturación hídrica; a su vez pueden producir represamientos y cambios en los cursos de agua (que a su vez pueden generar nuevas avalanchas) Elevación o subsidencia de terrenos Daños ambientales por afectación de infraestructura de servicios básicos como agua, electricidad, gas, hidrocarburos (derrames y combustión de hidrocarburos y productos químicos, incendios, explosiones, etcétera) 	<ul style="list-style-type: none"> Daños en la salud de las personas: <ul style="list-style-type: none"> Por la energía liberada Por cambios ambientales, como la contaminación del agua y del aire a causa de derrames e incendios Daños localizados en la cubierta vegetal de zonas afectadas por derrumbes y avalanchas 	<ul style="list-style-type: none"> Cambios en el paisaje por aparición de zonas de deslizamiento sin cubierta vegetal Cambios de mayor importancia y de carácter permanente como la aparición y desaparición de cuerpos de agua.

Tabla 18: Efectos de los fenómenos naturales de gran magnitud sobre los medios físico, biótico y perceptual (Fuente: CEPAL, 2003)

¹⁸Las acciones para atenuar los efectos con largo plazo de los desastres se deben enfocar en dos frentes paralelos. Primero, en prevenir que el evento desastroso produzca el menor daño, para lo cual la asignación de recursos es fundamental para la prevención y mitigación del impacto y es parte integral de una estrategia de desarrollo económico y social. Segundo, luego de ocurrido el

¹⁸ CEPAL (2003)

desastre, se debe asegurar que las inversiones destinadas a la reconstrucción de la infraestructura, se empleen con el fin de lograr la reducción de la vulnerabilidad para garantizar el desarrollo sostenible.

La vulnerabilidad de un sistema la define el grado en que esté propenso a sufrir transformaciones, como consecuencia de su interacción con los procesos externos o internos, al provocar cambios estructurales o permanentes y profundos. El concepto de vulnerabilidad se aplica a cualquier sistema que interactúa con su entorno, pero sobre todo a los sistemas humanos como aldeas o grupos sociales, sin embargo afecta también a los sistemas naturales y los sistemas socioecológicos, que incluyan componentes humanos y biofísicos.

Los daños no dependen sólo de la intensidad del desastre sino además de la vulnerabilidad, que es una característica propia de cada componente del sistema, de modo que un desastre de una misma magnitud y forma puede causar daños muy distintos en diferentes sistemas, o bien en distintos componentes de un mismo sistema. La vulnerabilidad de los sistemas depende básicamente de cuatro factores: ubicación, calidad diseño de ingeniería, calidad de la construcción (incluye la tecnología: equipos y materiales utilizados) y calidad de la operación y el mantenimiento de las obras.

Gran parte de los componentes de los sistemas de agua potable y saneamiento necesitan que se realice una operación adecuada y un mantenimiento sistemático, para que sea capaz de resistir daños y facilitar las reparaciones después de un desastre. Una organización eficaz, con talleres,

repuestos y planos del trazado de cañerías ayudará significativamente a dimensionar, evaluar y reparar en forma eficiente los daños producidos por un desastre.

Se da un incremento en el nivel de riesgos sobre la salud y disminución de la calidad de vida, debido a la disminución del nivel de higiene que resulta de la falta de agua potable y la inhabilitación del alcantarillado, al generar riesgos en la salud de la población debido a que el agua es indispensable para arrastrar las excreciones y las aguas suministradas. Las roturas y atascamientos en la red de alcantarillado podrían rebalsar las aguas servidas en la superficie, lo que incrementa el riesgo de enfermedades y epidemias.

Es importante considerar que en términos económicos, un desastre representa lo contrario de la ejecución de un proyecto de inversión. Esto se debe a que el punto de vista económico, la evaluación de proyectos consiste en comparar los costos y beneficios que los proyectos generarán, con el fin de decidir si es conveniente llevarlos a cabo. Los desastres en cambio, causan daños en los acervos (inversiones no realizadas), logrando alterar los flujos de producción de bienes y servicios. Basado en el esquema que utiliza la evaluación de proyectos, en busca de ampliarlo a sectores económicos específicos, con el propósito de medir los daños económicos de un desastre natural, se deben conocer los tres parámetros fundamentales de aplicación para realizar una evaluación adecuada:

- Monto de pérdidas de acervos (inversiones sin ejecutar).
- La afectación, los precios y cantidades del flujo de bienes y servicios que componen el sector.
- El período en que se dio la alteración de los mercados.

Para este efecto, la evaluación privada utiliza las referencias de los precios de mercado, por otra parte, la evaluación social utiliza precios sombra o sociales, los cuales se consideran los efectos indirectos y externos que se generan sobre el bienestar de la sociedad. De esta manera se establecen los tres precios sombra "básicos":

- La divisa.
- Mano de obra.
- Tasa social de descuento.

Se realiza la evaluación basada en recopilación de información cuantitativa y la investigación de antecedentes que posibilite conocer las condiciones prevalecientes antes del desastre, además del alcance y la magnitud de los daños y sus efectos macroeconómicos. Se describen las metodologías tanto para la obtención de los datos primarios requeridos, así como la de la revisión de información secundaria. Se incluye el diagrama de afectación sísmica para mejor comprensión de este tipo de fenómenos.

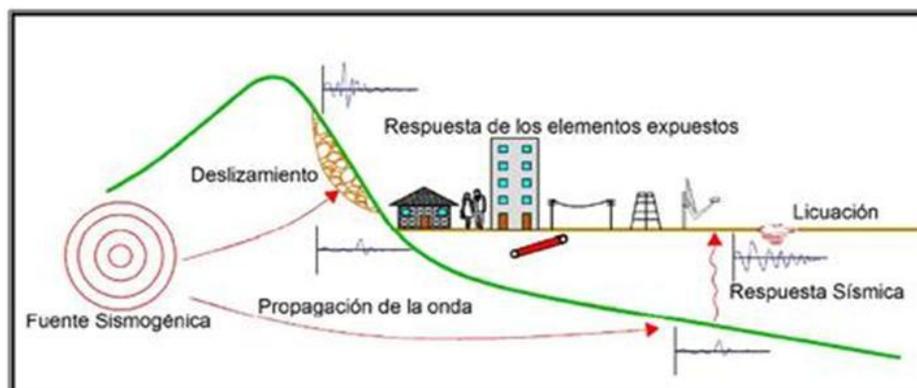


Figura 21: Diagrama de afectación sísmica (Fuente: FOPAE, n.d.)

6.1 Evaluación de Fenómenos Sísmicos

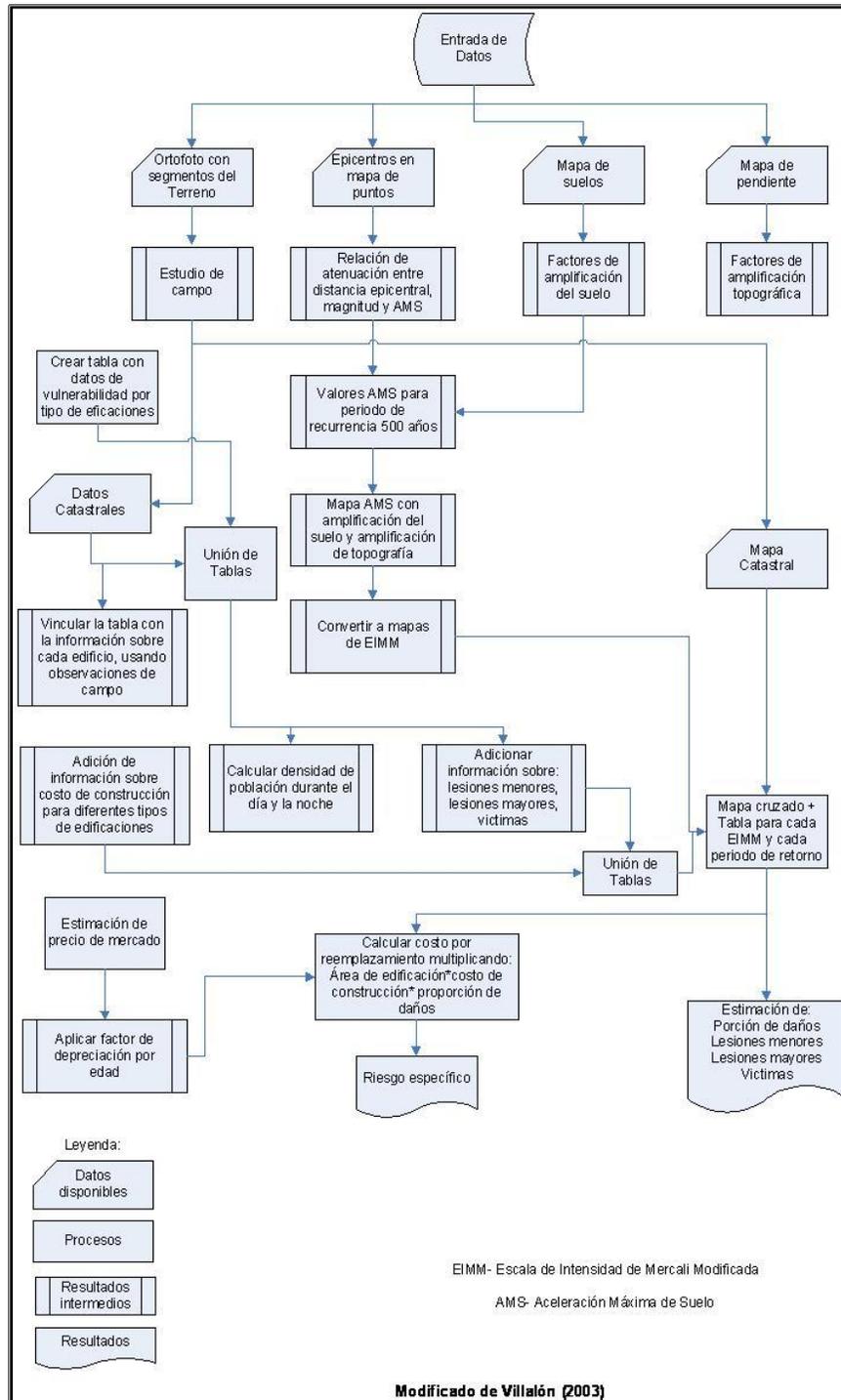


Figura 68: Diagrama de metodología de obtención de datos primarios para la evaluación (Fuente: Modificado de Villalón, 2003)

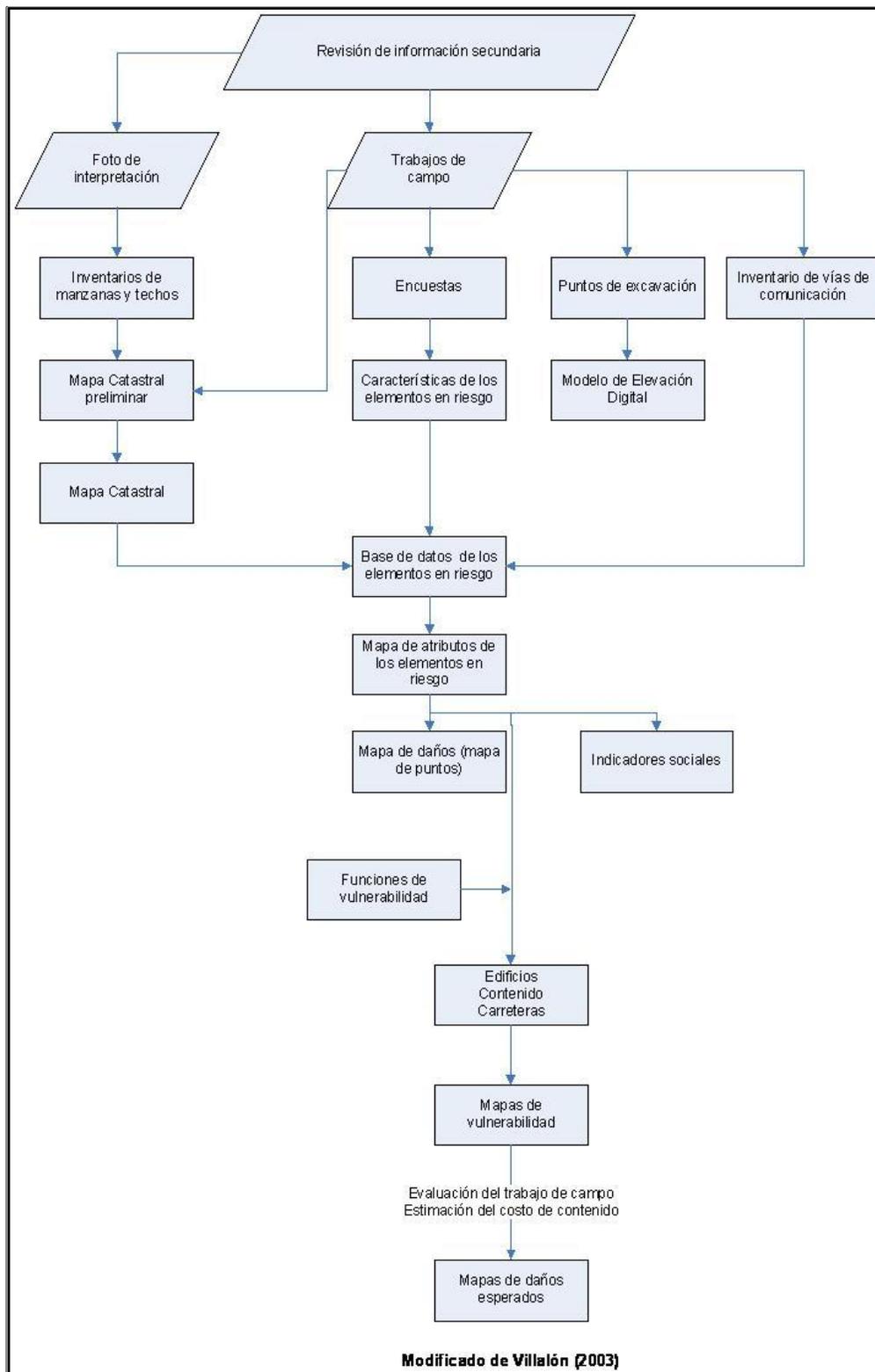


Figura 69: Diagrama de metodología de revisión de información secundaria para la evaluación (Fuente: Modificado de Villalón, 2003)

6.2 Fotointerpretación y definición de cuadrantes

Para este efecto se establecen los poblados más representativos del distrito de Santa Cruz de Turrialba, tal es el caso de La Pastora, San Antonio, El Carmen y Santa Cruz, así como los ríos que atraviesan estos poblados y que nacen en las cercanías del Volcán, Río Quijales y Río Guayabito.

La zona de estudio se caracteriza por contar con concentraciones definidas de infraestructura, presentando en cada punto construcciones de tipo comercial, industrial, educacional, líneas vitales, entre otras. Dichas construcciones son evaluadas para determinar la vulnerabilidad y el riesgo que podrían presentar ante la amenaza de fenómenos sísmicos y vulcanológicos de diversa índole.

A continuación se muestra una imagen que facilita la comprensión de la ubicación de los poblados, la topografía del sitio y el uso del suelo y mapa general de la zona de estudio.

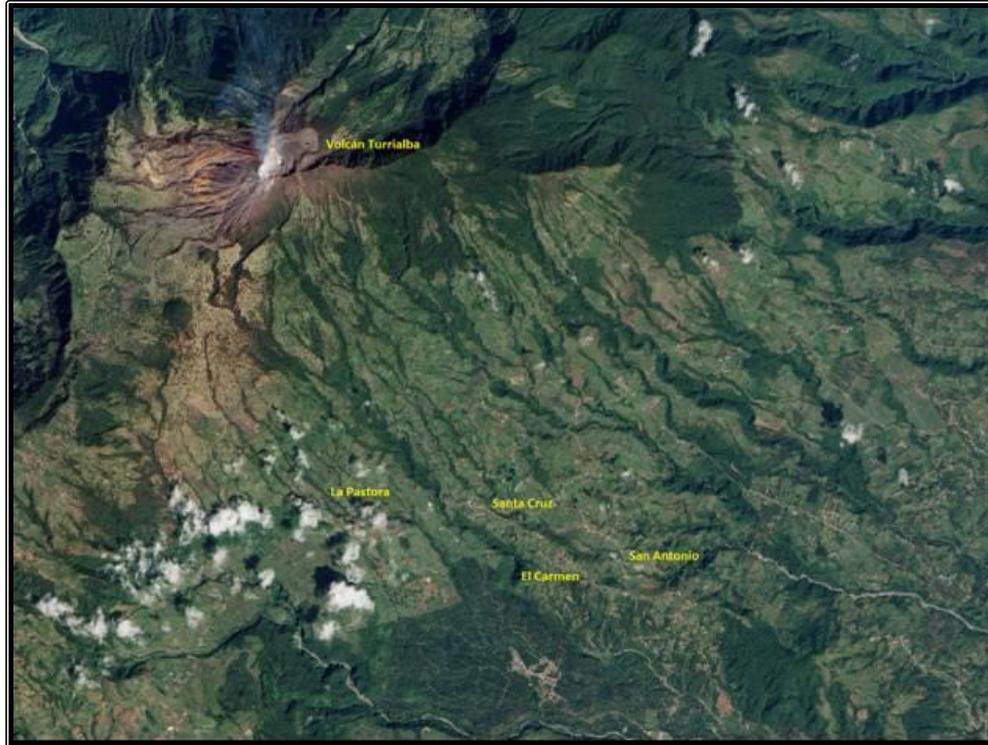


Imagen 10: Imagen satelital de ubicación de poblados con respecto al Volcán Turrialba



Imagen 11: Ubicación de los poblados y topografía del sitio (Foto 26 de noviembre de 2010)

Con el propósito de realizar un inventario de la infraestructura de los poblados, se estableció la cantidad aproximada en cada uno de ellos, para luego tomar una muestra representativa cercana al 10% y proceder con la evaluación respectiva.

De esta manera, se logró dividir cada poblado en cuadrantes por medio de la aplicación de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth 2010, para obtener la caracterización de cada cuadrante y la infraestructura que contiene, representa en forma gráfica la distribución de la utilización del suelo en cada tramo evaluado.

Para cada caso, se establecen puntos de referencia de uso común, como iglesias, plazas, cementerios, ríos y vías de acceso a otros poblados, con el fin de facilitar la ubicación de los elementos por evaluar.

6.2.1 Poblado de Santa Cruz

Este poblado es el principal del distrito de Santa Cruz de Turrialba. Su ubicación estratégica entre la ciudad y el Volcán sobre la ruta nacional 230, lo convierten en una zona turística que despierta el interés de los visitantes, aunado a la actividad económica principal de la zona (ganadería de leche) que exigen la existencia de servicios básicos, por lo que su crecimiento a través del tiempo ha provocado el desarrollo de infraestructura asociada a líneas vitales como sistemas de comunicación ,electricidad, acueductos, vías de acceso entre otros, y lograr una combinación de industria y comercio de leche y sus derivados, residencia, educación y centros comunales que cuentan con los elementos básicos para su adecuado funcionamiento.

Santa Cruz cuenta con los poblados vecinos de la Pastora hacia el oeste, al sur El Carmen y hacia el sureste con San Antonio, sin embargo existen otros poblados aledaños, los cuales no son objeto de este estudio.

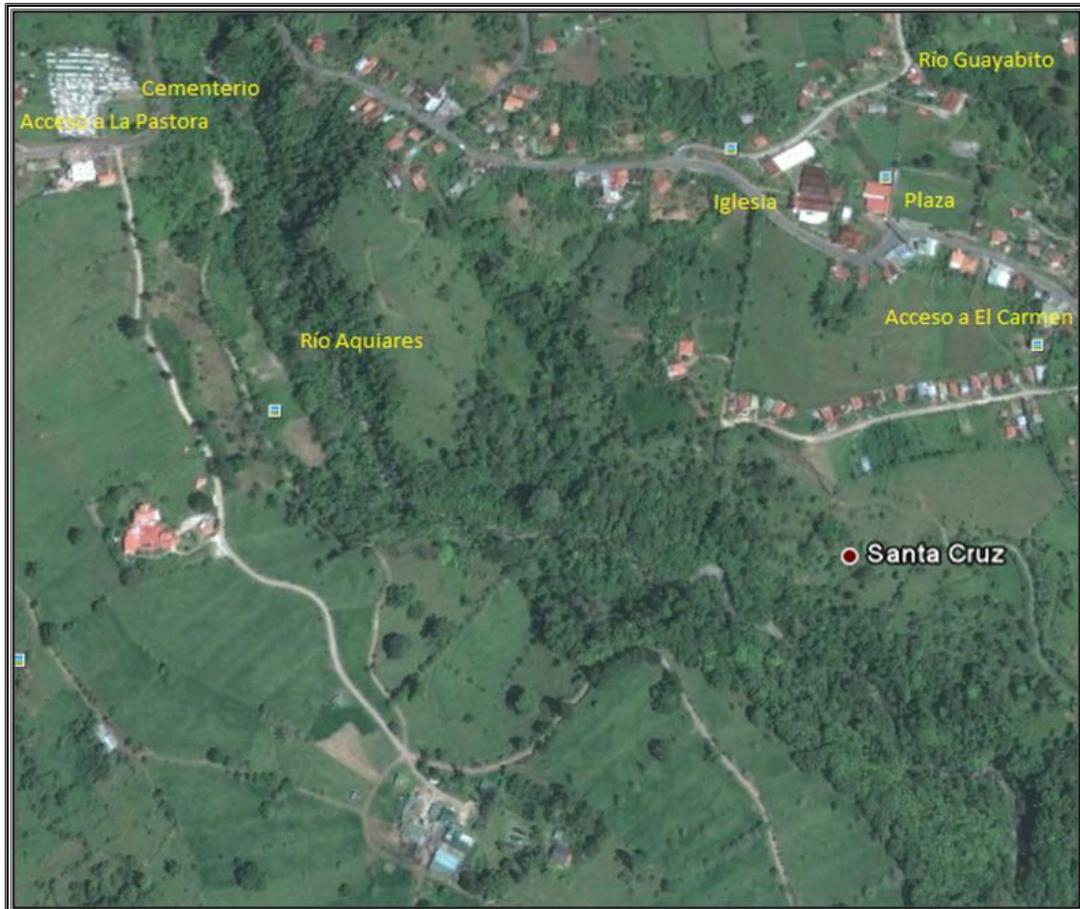


Imagen 12: Cuadrante 1 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010)



Imagen 13: Cuadrante 2 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010)



Imagen 14: Cuadrante 3 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010)

6.2.2 Poblado de El Carmen

El Carmen se caracteriza por ser un poblado tranquilo, dedicado en mayor proporción al comercio y la industria del queso. Una situación particular como lo muestra la imagen adjunta, es que el desarrollo de la infraestructura del lugar se ubica en su mayoría, entre la ruta nacional 230 y una de las márgenes del Río AQUIARES, lo que genera que las construcciones estén cimentadas en sitios de topografía pronunciada.

El poblado se ubica en el extremo sur del distrito de Santa Cruz y de la zona de estudio contemplada en esta investigación.



Imagen 15: Cuadrante 1 de El Carmen (Imagen modificada de Google Earth 2010)

6.2.3 Poblado de San Antonio

El poblado de San Antonio se estableció en uno de los caminos vecinales que se interseca con la ruta nacional 230 hacia el noroeste del poblado de Verbena Norte. Su fuente principal de ingresos también la constituyen el comercio y la industria de queso y leche.

La infraestructura de este pueblo refleja el típico paisaje rural costarricense, con un valle bañado por el Río Guayabito hacia el sur de su ubicación. Este es el poblado que se ubica hacia el extremo sureste de la zona de estudio.



Imagen 16: Cuadrante 1 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010)



Imagen 17: Cuadrante 2 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010)



Imagen 18: Cuadrante 3 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010)

6.2.4 Poblado de La Pastora

La Pastora es el poblado que se encuentra ubicado al oeste de la zona de estudio, adicionalmente es el más próximo a los límites del distrito de Santa Cruz hacia el Occidente. Este poblado utiliza la ruta nacional 230 como vía de acceso a los poblados vecinos de Santa Cruz y Pacayas. En este pueblo se interseca la vía de acceso al Volcán Turrialba, lo que facilitó realizar en otra época que el poblado adicional hiciera la actividad económica principal que la representa, el comercio y la industria de la leche y sus derivados. Y se enfocara en el aspecto turístico relacionado con las visitas al Volcán y sus alrededores más próximos.

Con el reinicio de la actividad volcánica en enero del año 2010, la opción del desarrollo turístico del poblado se cerró por completo, esto debido a que para evitar riesgos innecesarios, las autoridades gubernamentales tomaron la decisión de impedir el acceso al Parque Nacional Volcán Turrialba, y más bien fue necesaria la evacuación de personas y animales que habitaban los poblados que se ubican hacia el norte y noroeste de La Pastora, con el fin de mitigar los efectos producidos por la caída de cenizas y lluvia ácida en estos lugares. Algunas de las consecuencias que se trató de evitar con esta medida son: proliferación de enfermedades respiratorias, digestivas y de la vista en la población, aunado a la muerte del ganado y otros animales debido a la contaminación química de las fuentes de agua y del aire.



Imagen 19: Cuadrante 1 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010)



Imagen 20: Cuadrante 2 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010)

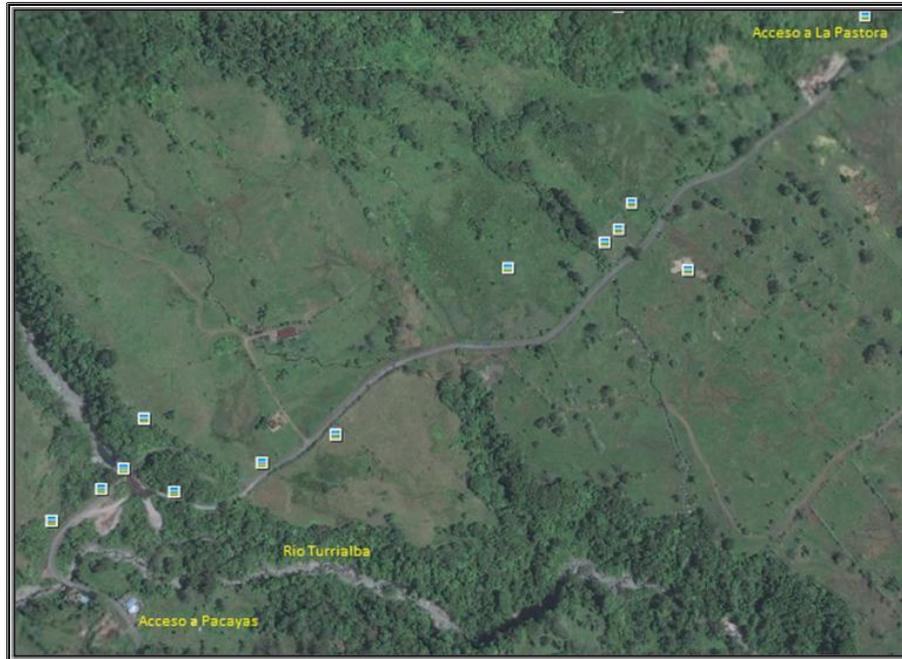


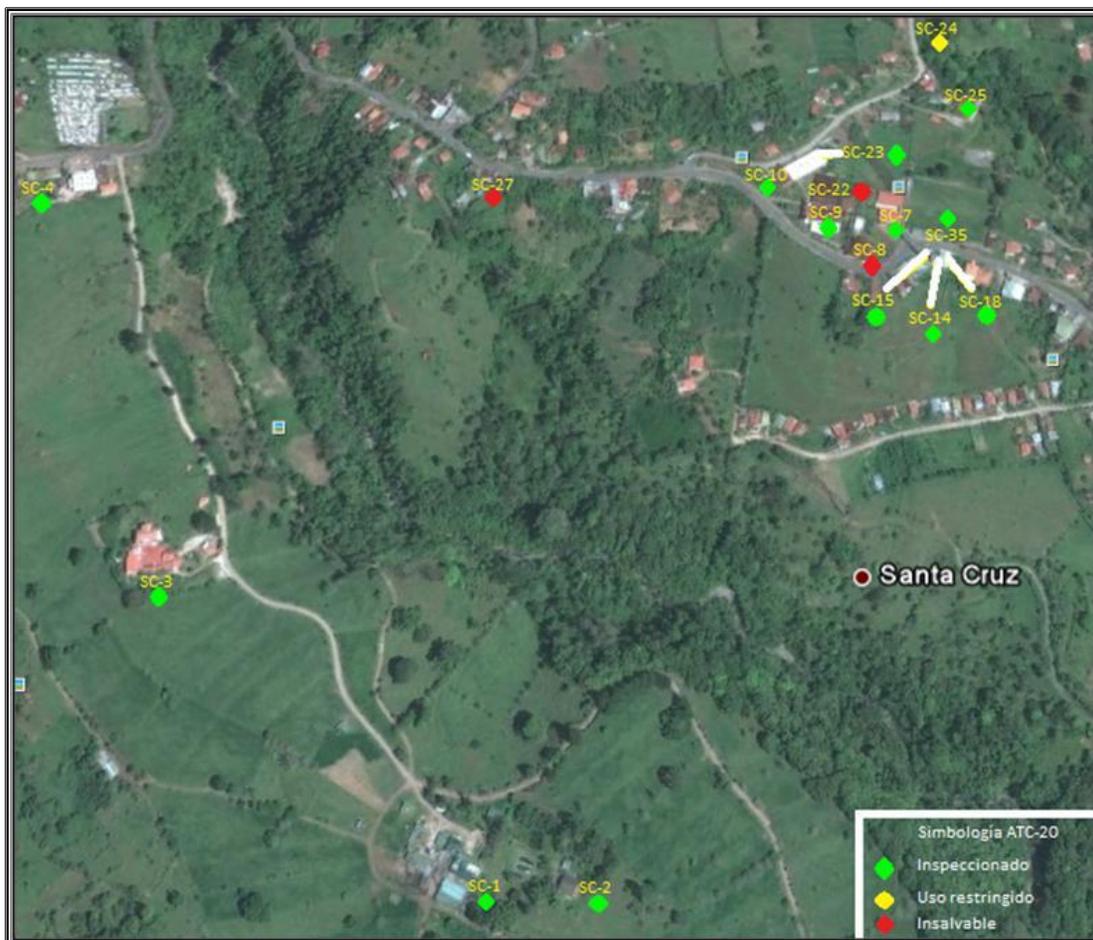
Imagen 21: Cuadrante 3 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010)

6.3 Evaluación de la infraestructura por medio del formulario ATC-20

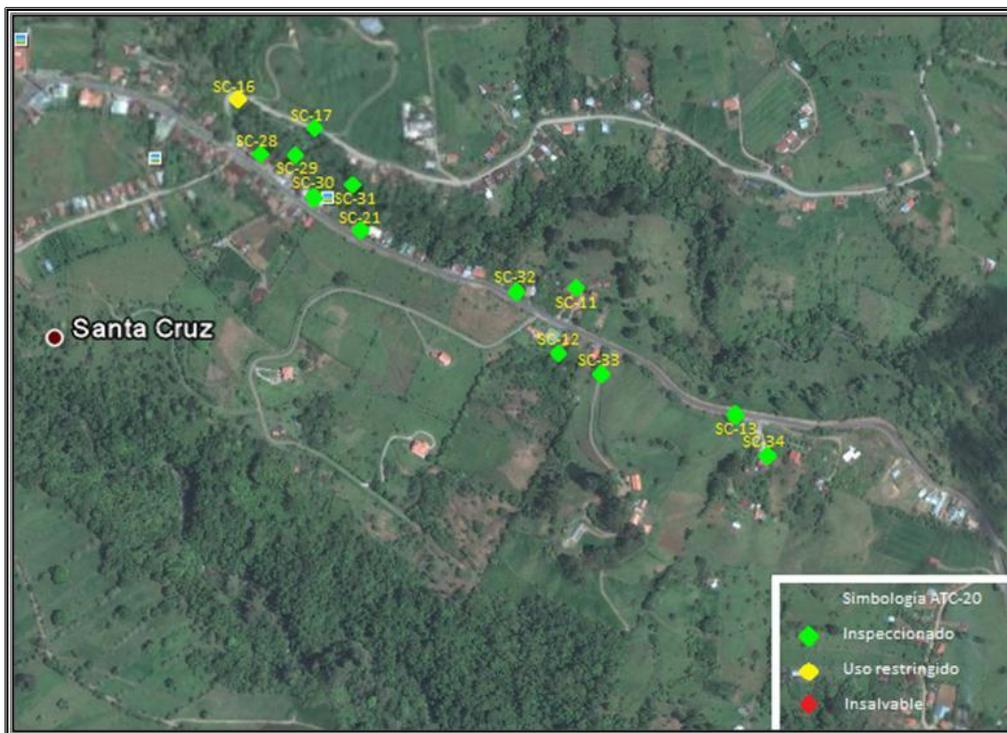
Para lograr una adecuada evaluación de la vulnerabilidad, se realizó un levantamiento en campo de los atributos de las edificaciones, para lo que se utilizó el formulario ATC-20, el cual define tres rangos: inspeccionado (verde) para edificaciones que no presentan daños estructurales; uso restringido (amarillo) para construcciones que muestran un daño estructural hasta moderado, que no representa un problema en el momento pero puede agravarse por la acción de un fenómeno natural como un sismo, por lo que “uso restringido” es sinónimo de alerta; finalmente el insalvable (rojo), aplica para infraestructura con daños severos en cuyo caso es recomendable abandonarlas o demolerlas.

A continuación se presentan los mapas de los cuadrantes de cada poblado evaluado, donde se indica la posición de cada estructura y su situación actual según la evaluación ATC-20, así como la tabla correspondiente con la información relevante detallada.

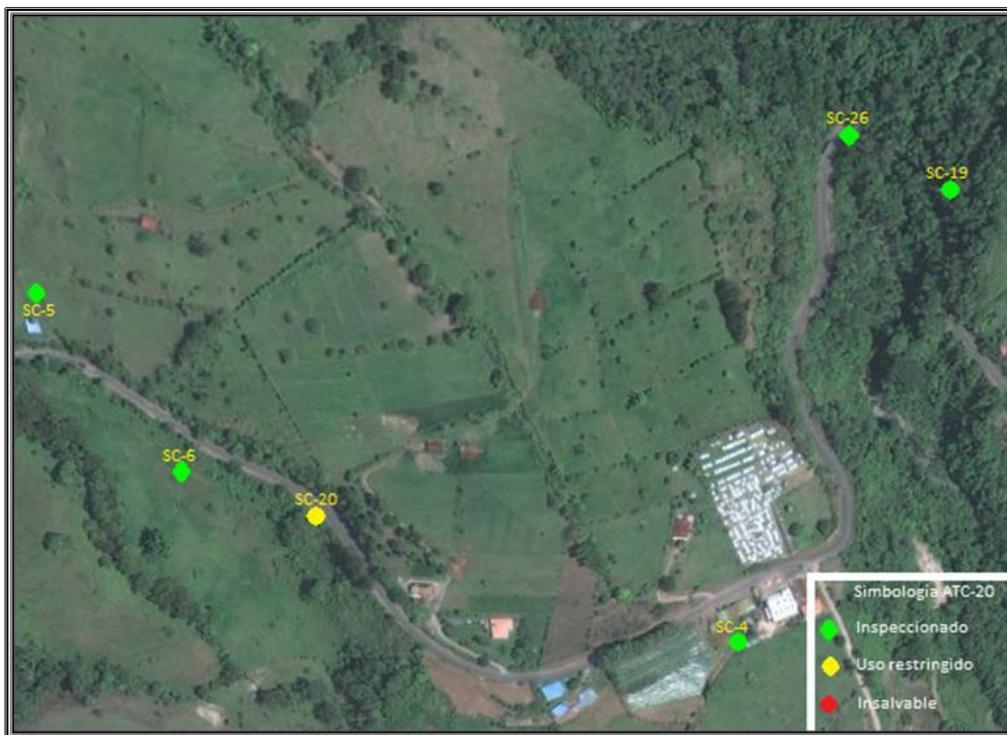
6.3.1 Poblado de Santa Cruz



Mapa 1: Cuadrante 1 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010)



Mapa 2: Cuadrante 2 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010)



Mapa 3: Cuadrante 3 de Santa Cruz (Imagen modificada de Google Earth 2010)

Tabla de clasificación de construcciones Evaluación de Construcciones Santa Cruz, Turrialba														
Código zona	Utilización	Clasificación	Niveles	Años de construida	Tipo de Construcción	Planos	Bitácora inspección	Pruebas materiales	Código LANAME	Grietas	Daño Estructural	% Daño	Clasificación ATC-20	Observaciones
SC-1	Lechería	Industrial	1	30	Metal y zócalo	Sin registro	Sin registro	Sin registro	S2	No	No	0,00%	Verde	No
SC-2	Vivienda	Residencial	2	20	Mampostería, madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W2	No	No	0,00%	Verde	No
SC-3	Hotel	Comercial	3	8	Mampostería, madera y metal	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-4	Bodega veterinaria	Industrial	1	20	Zócalo	Sin registro	Sin registro	Sin registro	URM	No	No	0,00%	Verde	30% deterioro láminas de techo y paredes
SC-5	Tanque de agua	Línea Vital	1	12	Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	C1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-6	Tubería acueducto	Línea Vital	1	12	PVC	Sin registro	Sin registro	Sin registro	--	No	No	5,00%	Verde	Riesgo por deslizamiento
SC-7	Escuela	Educacional	1	6	Zócalo y prefabricada	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	5% deterioro techo
SC-8	Escuela / abandonada	Educacional	1	124	Zócalo	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	Si	Si	60,00%	Rojo	Asentamiento diferencial del terreno
SC-9	Iglesia	Centro Comunal	1	35	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	Si	No	0,00%	Verde	Grietas en estructura antigua
SC-10	Centro de salud	Línea Vital	1	25	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-11	Vivienda	Residencial	1	45	Madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-12	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-13	Tanque quiebra gradientes	Línea Vital	1	45	Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	C1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-14	Central telefónica	Línea Vital	1	8	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-15	Torre de telecomunicaciones	Línea Vital	1	8	Metal	Sin registro	Sin registro	Sin registro	S2	No	No	0,00%	Verde	No
SC-16	Puente 1 Río Guayabito	Línea Vital	1	70	Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	C1	No	Si	30,00%	Amarillo	Socavación
SC-17	Camino acceso a San Antonio	Línea Vital	1	1	Lastre	Sin registro	Sin registro	Sin registro	--	No	No	0,00%	Verde	No
SC-18	Oficina de Acueducto	Comercial	1	15	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-19	Líneas telefónicas	Línea Vital	1	20	Madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	Ubicada en zonas deslizamiento
SC-20	Carretera acceso a La Pastora	Línea Vital	1	20	Asfalto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	--	Si	Si	5,00%	Amarillo	Tramos de deslizamiento
SC-21	Vivienda	Residencial	1	5	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	Riesgo de deslizamiento
SC-22	Salón parroquial antiguo	Centro Comunal	1	70	Madera, zócalo	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	Si	Si	70,00%	Rojo	Paredes y Techos
SC-23	Salón parroquial nuevo	Centro Comunal	1	0	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	Si	0,00%	Verde	Cimentación 5% expuesta
SC-24	Puente 2 Río Guayabito	Línea Vital	1	70	Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	C1	No	Si	30,00%	Amarillo	Socavación
SC-25	Salón comunal	Centro Comunal	1	40	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-26	Puente Río Aquiares	Línea Vital	1	60	Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	C1	No	No	0,00%	Verde	Aguas arriba, derrumbes
SC-27	Vivienda	Residencial	1	55	Madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	Si	60,00%	Rojo	Bases dañadas
SC-28	Bar	Comercial	1	45	Madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	Bases en zona deslizamiento
SC-29	Centro Comercial	Comercial	1	9	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	Riesgo de deslizamiento
SC-30	Vivienda	Residencial	2	25	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	Irregular en planta y altura
SC-31	Vivienda / Taller	Residencial / Comercial	2	25	Madera, metal	Sin registro	Sin registro	Sin registro	S1	No	No	0,00%	Verde	Irregular en planta y altura
SC-32	Vivienda	Residencial	1	25	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-33	Agro-veterinaria	Comercial	1	22	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-34	Ferretería	Comercial	1	19	Zócalo	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	No
SC-35	Líneas Eléctricas	Línea Vital	1	10	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No

Tabla 19: Evaluación de la infraestructura de Santa Cruz

6.3.2 Poblado de El Carmen



Mapa 4: Cuadrante 1 de El Carmen (Imagen modificada de Google Earth 2010)

Tabla de clasificación de construcciones														
Evaluación de Construcciones														
El Carmen, Turrialba														
Código zona	Utilización	Clasificación	Niveles	Años de construida	Tipo de Construcción	Planos	Bitácora inspección	Pruebas materiales	Código LANAME	Grietas	Daño Estructural	% Daño	Clasificación ATC-20	Observaciones
EC-1	Vivienda	Residencial	1	40	Madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	20% deterioro láminas techo
EC-2	Vivienda	Residencial	1	15	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
EC-3	Iglesia	Centro Comunal	1	25	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	30% deterioro láminas techo
EC-4	Escuela	Educacional	1	20	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	10% deterioro láminas techo
EC-5	Abastecedor	Comercial	1	35	Madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	50% deterioro láminas techo
EC-6	Salón Parroquial	Centro Comunal	1	35	Madera y metal	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	50% deterioro láminas techo
EC-7	Vivienda	Residencial	1	20	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
EC-8	Vivienda	Residencial	1	18	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
EC-9	Vivienda	Residencial	1	16	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
EC-10	Vivienda	Residencial	1	17	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
EC-11	Cancha Escuela	Educacional	1	20	Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	C1	Si	Si	15,00%	Amarillo	Zona de deslizamiento
EC-12	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	15	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
EC-13	Carretera acceso Santa Cruz	Línea Vital	1	20	Asfalto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	--	No	No	0,00%	Verde	No
EC-14	Salón de actos	Educacional	1	20	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
EC-15	Vivienda	Residencial	2	25	Mampostería, madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	Irregular en planta y altura

Tabla 20: Evaluación de la infraestructura de El Carmen

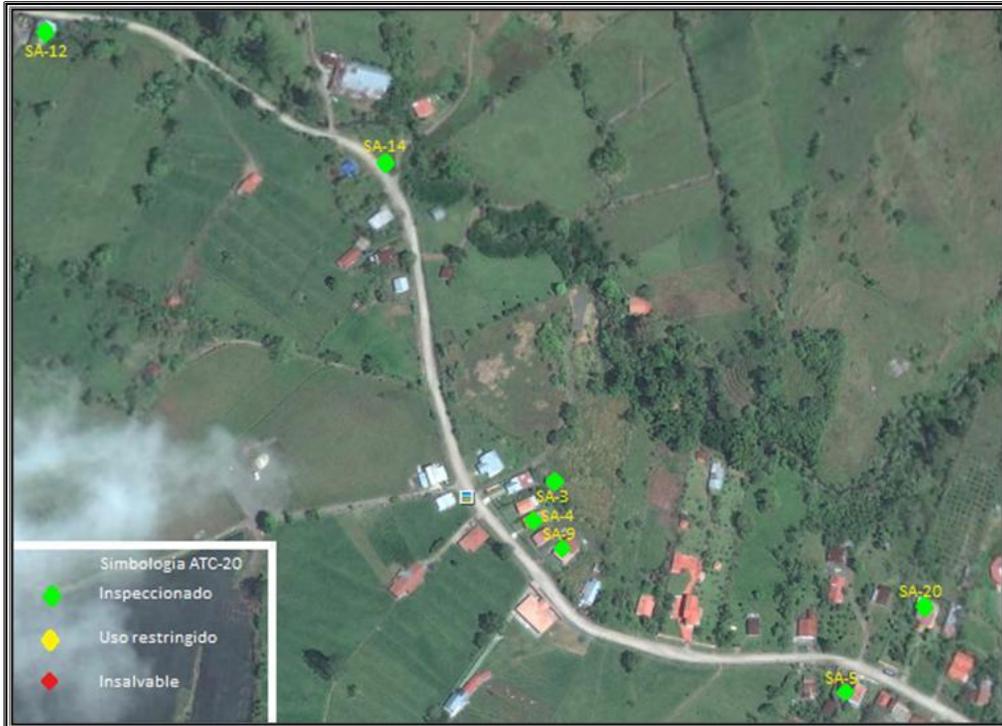
6.3.3 Poblado de San Antonio



Mapa 5: Cuadrante 1 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010)



Mapa 6: Cuadrante 2 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010)

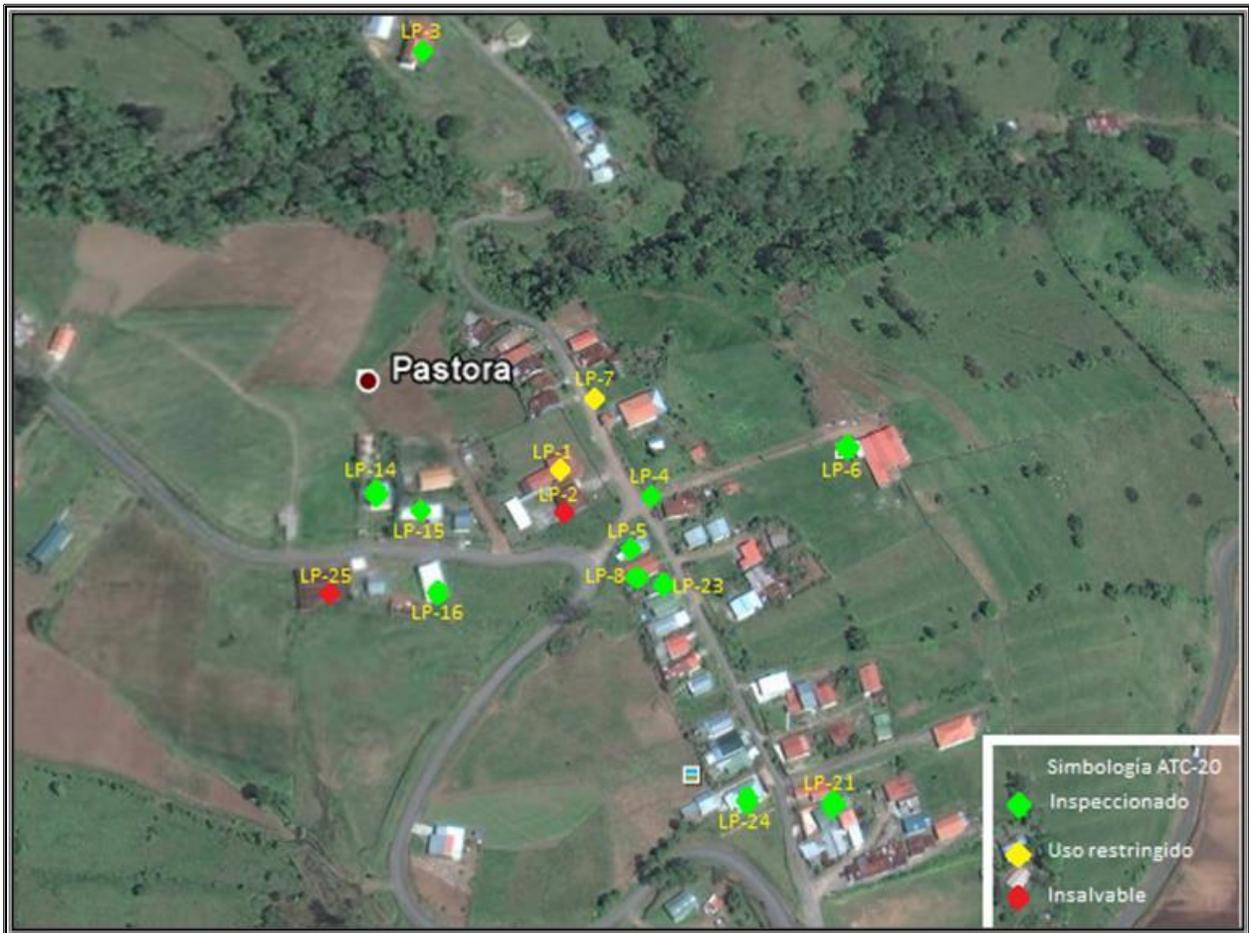


Mapa 7: Cuadrante 3 de San Antonio (Imagen modificada de Google Earth 2010)

Tabla de clasificación de construcciones														
Evaluación de Construcciones														
San Antonio, Turrialba														
Código zona	Utilización	Clasificación	Niveles	Años de construida	Tipo de Construcción	Planos	Bitácora inspección	Pruebas materiales	Código LANAME	Grietas	Daño Estructural	% Daño	Clasificación ATC-20	Observaciones
SA-1	Escuela	Educacional	1	35	Mampostería y metal	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-2	Iglesia	Centro Comunal	1	90	Madera, Metal	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W2	No	Si	30,00%	Amarillo	Cimientos y paredes por insectos
SA-3	Vivienda	Residencial	1	10	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-4	Vivienda	Residencial	1	12	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-5	Vivienda	Residencial	1	15	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-6	Vivienda	Residencial	1	9	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-7	Vivienda	Residencial	1	11	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-8	Vivienda	Residencial	1	30	Madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	10% deterioro en techo
SA-9	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-10	Vivienda	Residencial	1	15	Madera, fibrolit	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	20% deterioro en paredes
SA-11	Salón Parroquial	Centro Comunal	1	50	Mampostería y madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	Si	15,00%	Amarillo	Columnas y cerchas por insectos
SA-12	Taller	Comercial	1	20	Metal	Sin registro	Sin registro	Sin registro	S2	No	No	0,00%	Verde	Construido sobre talud de la calle
SA-13	Camino acceso a Verbena Norte	Línea Vital	1	12	Asfalto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	--	No	No	0,00%	Verde	No
SA-14	Camino acceso por Santa Cruz	Línea Vital	1	5	Lastre	Sin registro	Sin registro	Sin registro	--	No	No	0,00%	Verde	No
SA-15	Puente 3 Río Guayabito	Línea Vital	1	60	Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	C1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-16	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	Ubicada sobre talud del Río Guayabito
SA-17	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	18	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-18	Tanque Quebrada Gradientes	Línea Vital	1	22	Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	C1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-19	Salón Comunal	Centro Comunal	1	20	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	Cimentación irregular por topografía
SA-20	Oficina	Comercial	2	20	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	Irregular en planta y altura
SA-21	Vivienda / pulpería	Comercial / Residencial	1	30	Madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-22	Lechería	Industrial	1	15	Metal	Sin registro	Sin registro	Sin registro	S2	No	No	0,00%	Verde	No
SA-23	Vivienda	Residencial	1	14	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
SA-24	Vivienda	Residencial	2	18	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	Irregular en planta y altura
SA-25	Vivienda	Residencial	2	23	Mampostería, fibrolit	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No

Tabla 21: Evaluación de la infraestructura de San Antonio

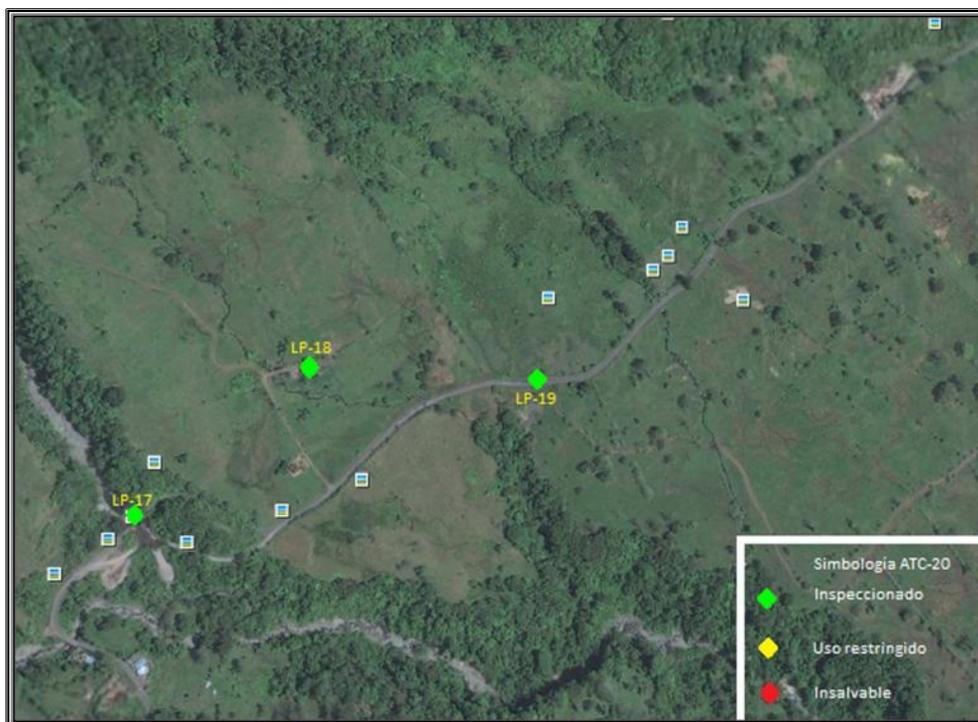
6.3.4 Poblado de La Pastora



Mapa 8: Cuadrante 1 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010)



Mapa 9: Cuadrante 2 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010)



Mapa 10: Cuadrante 3 de La Pastora (Imagen modificada de Google Earth 2010)

Tabla de clasificación de construcciones														
Evaluación de Construcciones														
La Pastora, Turrialba														
Código zona	Utilización	Clasificación	Niveles	Años de construida	Tipo de Construcción	Planos	Bitácora inspección	Pruebas materiales	Código LANAME	Grietas	Daño Estructural	% Daño	Clasificación ATC-20	Observaciones
LP-1	Escuela	Educacional	1	60	Metal, mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	S2	Si	Si	10,00%	Amarillo	Daños pared y piso
LP-2	Salón de Actos	Educacional	1	60	Mampostería, madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	Si	Si	25,00%	Rojo	Daños techo, pared, piso
LP-3	Iglesia	Centro Comunal	1	75	Mampostería, madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-4	Tanque 1 quiebra gradientes	Línea Vital	1	17	Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	C1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-5	Vivienda	Residencial	1	8	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-6	Lechería	Industrial	1	20	Mampostería, metal	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-7	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	16	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	15,00%	Amarillo	Falla de anclaje
LP-8	Vivienda	Residencial	1	14	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-9	Vivienda	Residencial	1	23	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-10	Vivienda	Residencial	1	37	Madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-11	Tanque 2 quiebra gradientes	Línea Vital	1	13	Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	C1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-12	Vivienda	Residencial	2	11	Madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	Irregular en planta y altura
LP-13	Camino acceso Volcán Turrialba	Línea Vital	1	30	Asfalto y material volcánico	Sin registro	Sin registro	Sin registro	--	No	No	0,00%	Verde	Deslizamientos, carpeta deteriorada
LP-14	Vivienda	Residencial	1	16	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-15	Vivienda	Residencial	1	21	Metal, madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	No	0,00%	Verde	Posible daño por sismo en cimentación
LP-16	Bodega Agropecuaria	Industrial	1	13	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-17	Puente Río Turrialba acceso a Pacayas	Línea Vital	1	60	Metal y Concreto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	S2	No	No	0,00%	Verde	No
LP-18	Vivienda	Residencial	1	35	Zócalo	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-19	Carretera acceso a Pacayas	Línea Vital	1	20	Asfalto	Sin registro	Sin registro	Sin registro	--	No	No	0,00%	Verde	Fuerte pendiente al norte
LP-20	Vivienda	Residencial	2	27	Mampostería, madera	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	Irregular en planta y altura
LP-21	Vivienda	Residencial	1	17	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-22	Vivienda	Residencial	1	18	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-23	Vivienda	Residencial	1	16	Prefabricado	Sin registro	Sin registro	Sin registro	PC1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-24	Vivienda	Residencial	1	21	Mampostería	Sin registro	Sin registro	Sin registro	RM1	No	No	0,00%	Verde	No
LP-25	Bodega abandonada	Industrial	1	50	Madera, metal	Sin registro	Sin registro	Sin registro	W1	No	Si	30,00%	Rojo	Daños en techo, paredes

Tabla 22: Evaluación de la infraestructura de La Pastora

6.4 Vulnerabilidad de la infraestructura ante fenómenos sísmicos

6.4.1 Amenaza por sismos

Debido a que el distrito de Santa Cruz se encuentra sobre una zona de formación volcánica, a través de la historia se han registrado eventos sísmicos producidos por la subducción o las fallas locales de la zona. Esto ha provocado la formación de enjambres sísmicos que en ocasiones presentan alguno o varios eventos de magnitud considerable y poca profundidad (menos de 20 km), lo que incrementa el potencial de amenaza sísmica. Se incluyen dos tablas, una con sismos para el año 2010, la otra refleja el período 2001-2009, en donde a manera de ejemplo se citan los tres eventos sísmicos del 26 de febrero del 2001, de los cuales el tercero presentó una magnitud de 6,6 Mw en la escala de Richter, adicionalmente los tres se localizaron 2 kilómetros al norte de la ciudad de Turrialba.

Fecha	HM	LAT ° (N)	LON ° (W)	PROF.	MAG.	Epicentro
24/01/2010	09:24	9.94	-83.831	2	3.2	3 km al Noreste de Pacayas
01/03/2010	19:12	9.987	-83.731	5.8	2.7	San Rafael, Pacayas, Oreamuno
01/03/2010	19:13	9.968	-83.802	2.1	3.7	San Rafael, Pacayas, Oreamuno
01/03/2010	19:36	9.954	-83.816	7.1	3.6	San Rafael, Pacayas, Oreamuno
01/03/2010	19:39	9.965	-83.648	6.1	2.1	7 km al Noroeste de Turrialba
01/03/2010	19:43	10.002	-83.819	2.7	3.2	San Rafael, Pacayas, Oreamuno
01/03/2010	19:46	9.937	-83.759	1.9	3.1	San Rafael, Pacayas, Oreamuno
01/03/2010	19:48	9.927	-83.783	0.7	2.7	San Rafael, Pacayas, Oreamuno
01/03/2010	19:55	9.948	-83.824	8.3	3.3	San Rafael, Pacayas, Oreamuno
30/04/2010	08:43	9.996	-83.804	12.9	3.6	5 km al NE del Volcán Irazú
03/08/2010	20:56	9.99	-83.629	15.6	3.6	12 km al NE de Santa Cruz de Turrialba

Tabla 23: Sismos para el período 2010 en la zona (Fuente: Barquero, 2011)

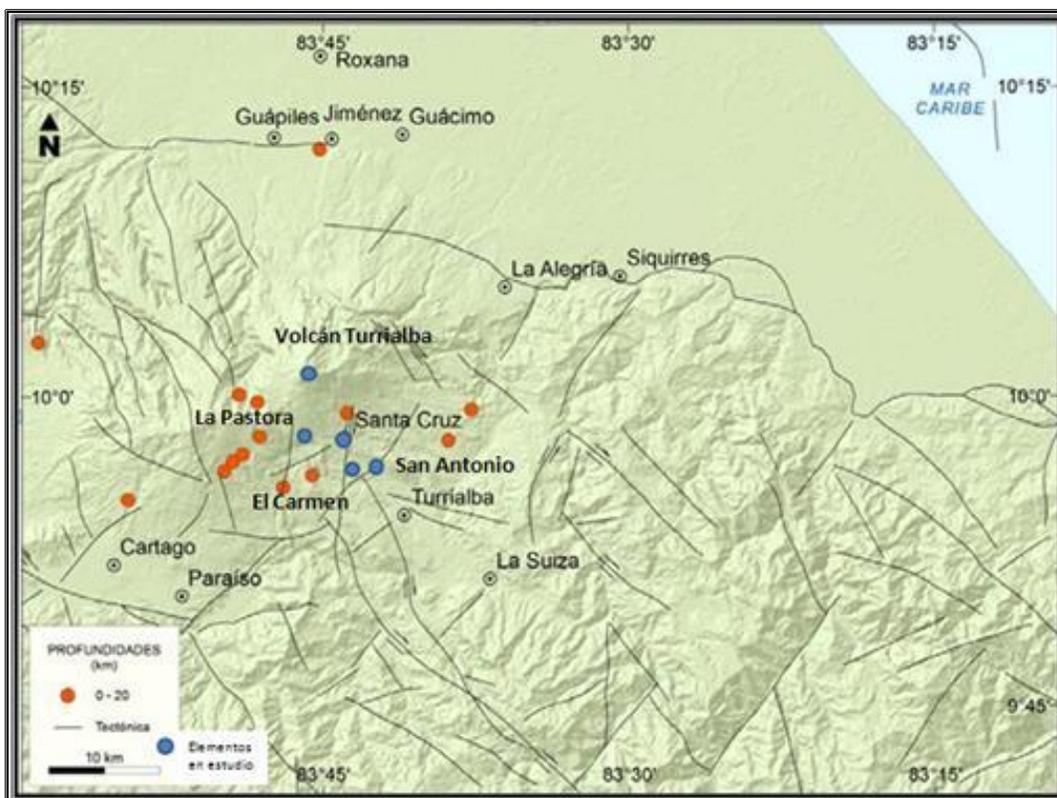


Figura 70: Ubicación de epicentros para el año 2010 en la zona (Fuente: Barquero, 2011)

Día	H.L	Lat.	Long.	Prof (km)	Mag	Localización
24/02/2001	17:42	09.920°	-83.622°	13,5	4,6	6 Km al NE de Turrialba
26/02/2001	09:23	09.923°	-83.671°	10	3,1	2 Km al N de Turrialba
26/02/2001	09:24	09.892°	-83.688°	6	2,9	2 Km al N de Turrialba
26/02/2001	09:33	09.292°	-83.704°	7,06	6,6	2 Km al N de Turrialba
17/03/2001	11:52	09.875°	-83.539°	7	3,4	4 Km al N de Tayutic, Turrialba
08/06/2001	02:15	09.964°	-83.384°	6	4,4	27 Km al E de Turrialba
14/03/2002	10:05	09.940°	-83.428°	4,8	4,1	26 Km al E-NE de Turrialba
19/03/2002	23:10	09.932°	-84.438°	13	3,4	24 Km al E de Turrialba
29/07/2002	19:11	09.880°	-83.514°	16,5	3,9	18 Km al E de Turrialba
23/05/2003	11:54	09.878°	-83.523°	1,9	3,4	9 Km NE de Tuis, Turrialba
28/01/2005	14:03	10.003°	-83.784°	9	3,7	3 Km SW Volcán Turrialba
14/12/2006	02:07	09.887°	-83.725°	2,3	3,8	5 Km NW Turrialba
12/04/2007	16:07	09.984°	-83.76°	0,5	2,8	3 Km al Sur del Cráter del Volcán Turrialba
21/09/2009	03:21	10.005°	-83.566°	2,6	3,6	5 Km al Norte de Tres Equis de Turrialba

Tabla 24: Sismos para el período 2001-2009 en la zona (Fuente: Informes RSN (ICE-UCR))

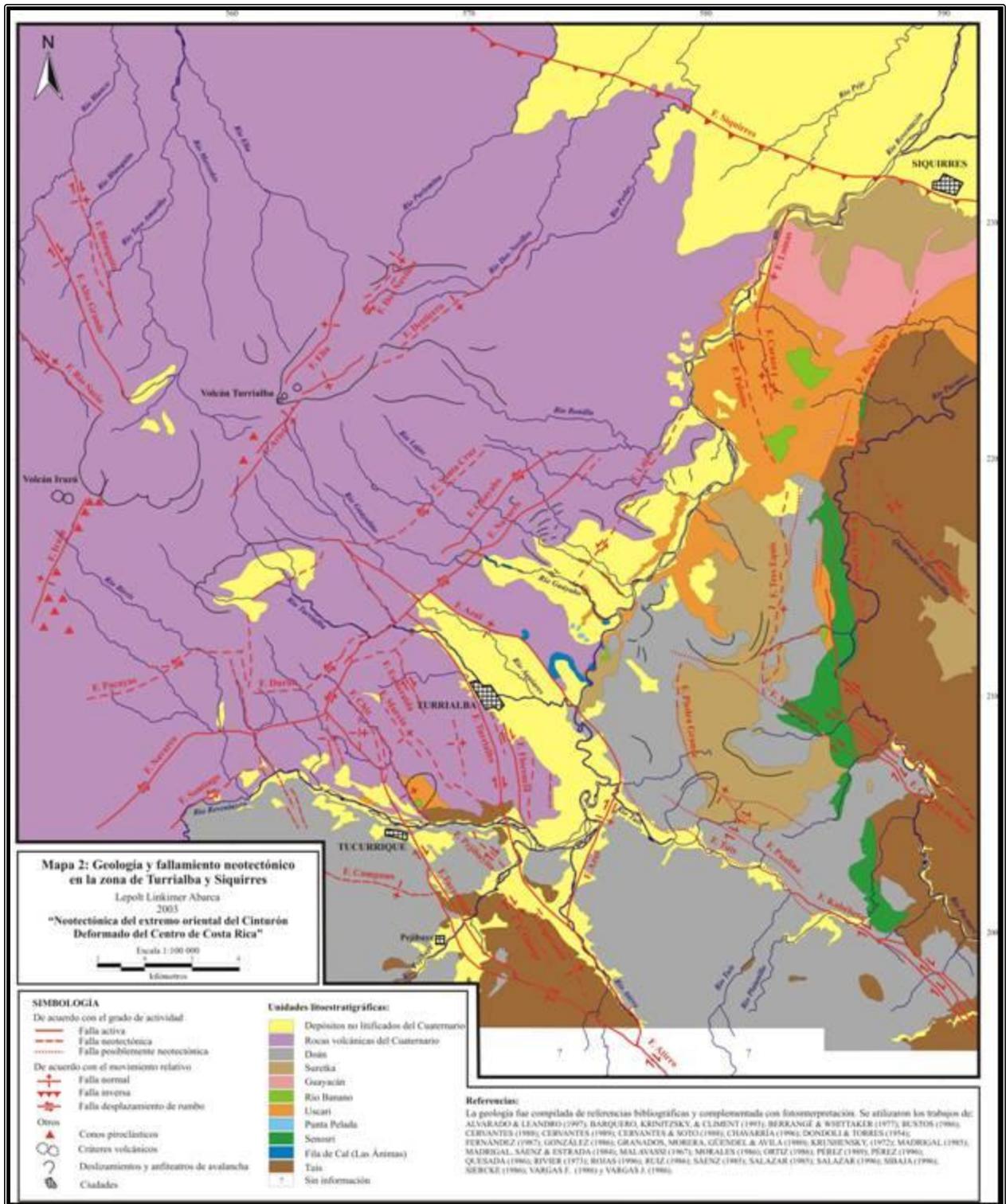


Figura 71: Conformación Neotectónica y tipos de suelo de la zona de estudio (Linkimer, 2003)

6.4.2 Vulnerabilidad sísmica de la zona

Basado en los tres mapas de isoaceleraciones de nuestro país para un período de retorno de 500 años, ubicados en el capítulo V de este trabajo, los cuales se utilizaron para definir los valores promedio de la aceleración pico efectiva del terreno (PGA) de la zona de estudio. De acuerdo con estos mapas, la zona de Turrialba presenta un valor promedio de 500 PGA (gal), el cual será utilizado con el fin de realizar la evaluación de la vulnerabilidad del sitio.

Con el tipo de edificación, sus atributos, estado actual, entre otros datos, se estima el índice de vulnerabilidad (*IV*) del distrito de Santa Cruz, el cual se debe estimar para cada zona y condiciones particulares cuando se realiza un estudio de esta índole.

En este caso se logró determinar un índice de vulnerabilidad (*IV*) para cada tipo de infraestructura agrupándose según los datos de cada una de las curvas de fragilidad utilizadas para la evaluación. Cada uno de los (*IV*) se debe multiplicar por el valor promedio de 500 PGA para determinar el valor PGA específico para el distrito de Santa Cruz de acuerdo con el tipo de material, utilización de la edificación, ubicación, entre otros. Este dato será el que se utilice para definir el porcentaje de daño que un evento sísmico le podría provocar a cada tipo de estructura según se clasificó anteriormente.

Para lograr estimar los daños, se utilizan las curvas de fragilidad, las cuales presentan valores de la aceleración pico efectiva del terreno (PGA) en el eje X, y valores de estados, índices o porcentajes de daño en el eje Y. Algunas de estas curvas presentan valores X de intensidad

(MMI), por lo que de ser necesario se realizará la conversión de los datos de MMI a PGA por medio de la fórmula de Linkimer (2008).

Vulnerabilidad irregular en Santa Cruz de Turrialba		
Incremento del riesgo		
Poblado	Infraestructura en zonas de deslizamiento	Porcentaje
Santa Cruz	6	6%
El Carmen	1	1%
San Antonio	2	2%
La Pastora	1	1%
Total:		10%

Tabla 25: Elementos que por ubicación incrementan la vulnerabilidad en la zona

Vulnerabilidad irregular en Santa Cruz de Turrialba		
Incremento del riesgo		
Poblado	Viviendas irregulares en planta y elevación	Porcentaje
Santa Cruz	2	2%
El Carmen	1	1%
San Antonio	2	2%
La Pastora	2	2%
Total:		7%
Incremento del 58% por irregularidad:		65%

Tabla 26: Elementos que por su configuración incrementan la vulnerabilidad en la zona

Vulnerabilidad de Líneas Vitales		
Incremento del riesgo		
Poblado	Infraestructura en zonas de deslizamiento	Porcentaje
Santa Cruz	3	3%
El Carmen	0	0%
San Antonio	0	0%
La Pastora	1	1%
Total:		4%

Tabla 27: Incremento de vulnerabilidad para líneas vitales en la zona

Las tablas anteriores muestran un incremento en el riesgo debido a que parte de la infraestructura posee irregularidades que la hacen más vulnerable. La ubicación de algunos elementos en zonas de deslizamiento o la configuración irregular en planta y elevación de algunas viviendas, hacen que se afecte en forma directa la vulnerabilidad por factores de determinación humana que se podrían evitar. Con la estimación del índice de vulnerabilidad y la aplicación de las curvas de fragilidad, se procede a evaluar la infraestructura del distrito de Santa Cruz de Turrialba.

Por medio de la aplicación de la metodología propuesta por el Dr. Ing. Roberto Aguiar Falconi y Darío Bolaños, en la que se consideran los siguientes parámetros para establecer el grado de vulnerabilidad de cada edificación, para calcular el índice de vulnerabilidad (IV).

PARÁMETRO	Clase Ki			Wi
	A	B	C	
1. Organización del Sistema Resistente	0	6	12	1.00
2. Calidad del Sistema Resistente	0	6	12	0.50
3. Deriva Máxima de Piso	0	10	20	2.00
4. Posición del Edificio y cimentación	0	2	4	0.50
5. Resistencia Convencional	0	10	20	2.00
6. Configuración en planta	0	3	6	0.50
7. Configuración en elevación	0	3	6	1.00
8. Conexión elementos críticos	0	3	6	0.75
9. Elementos de baja ductilidad	0	3	6	1.00
10. Elementos no estructurales	0	4	10	0.25
11. Estado de Conservación	0	10	20	1.00
12. Modificaciones Constructivas	0	4	8	1.00

Tabla 28: Parámetros para la evaluación del grado de vulnerabilidad

Rango	Nivel
0-50	Seguro
51-100	Vulnerabilidad Media
101-150	Muy Vulnerables

Tabla 29: Rangos de clasificación del grado de vulnerabilidad

Cód. zona	Utilización	Clasificación	Factor I Cód. Sism. C.R. 2002	Sistema estructural	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5	Parámetro 6	Parámetro 7	Parámetro 8	Parámetro 9	Parámetro 10	Parámetro 11	Parámetro 12	Clasificación	Grado de vulnerabilidad	
SC-1	Lechería	Industrial	1.00	S2	3	5	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	50.00	
SC-2	Vivienda	Residencial	1.00	W2	1	6	10	1	10	3	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	60.00	
SC-3	Hotel	Comercial	1.00	RM1	6	6	10	2	10	3	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	74.50	
SC-4	Bodega veterinaria	Industrial	0.75	URM	7	7	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	55.00	
SC-5	Tanque de agua	Línea Vital	1.50	PC1	0	10	0	2	10	0	0	0	0	0	13	2	Seguro	43.25	
SC-6	Tubería acueducto	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00	
SC-7	Escuela	Educacional	1.00	PC1	0	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Seguro	45.50	
SC-8	Escuela / abandonada	Educacional	0.75	W1	12	12	0	4	20	6	6	6	6	10	20	2	Muy Vulnerable	104.00	
SC-9	Iglesia	Centro Comunal	1.00	RM1	3	6	0	2	10	3	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	51.50	
SC-10	Centro de salud	Línea Vital	1.50	RM1	5	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Vulnerabilidad Media	50.50	
SC-11	Vivienda	Residencial	1.00	W1	1	6	0	2	10	3	2	3	3	3	11	4	Seguro	49.50	
SC-12	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SC-13	Tanque queiebra gradientes	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	40.25	
SC-14	Central telefónica	Línea Vital	1.50	RM1	0	6	0	2	10	0	2	3	3	3	10	2	Seguro	44.00	
SC-15	Torre de telecomunicaciones	Línea Vital	1.50	S2	0	6	0	2	10	0	0	0	0	1	10	2	Seguro	38.50	
SC-16	Puente 1 Río Guayabito	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	0	0	0	20	2	Vulnerabilidad Media	50.25	
SC-17	Camino acceso a San Antonio	Comercial	1.00	RM1	9	10	15	2	13	5	5	5	5	3	12	5	Seguro	13.90	
SC-18	Oficina de Acueducto	Comercial	1.00	PC1	3	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	50.75	
SC-19	Líneas telefónicas	Línea Vital	1.50	W1	0	6	0	2	10	0	0	0	0	0	15	2	Seguro	44.00	
SC-20	Carretera acceso a La Pastora	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00	
SC-21	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SC-22	Salón parroquial antiguo	Centro Comunal	1.00	W1	6	12	0	2	10	4	2	3	3	7	20	4	Vulnerabilidad Media	68.00	
SC-23	Salón parroquial nuevo	Centro Comunal	1.00	RM1	3	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Seguro	48.50	
SC-24	Puente 2 Río Guayabito	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	0	0	0	20	2	Vulnerabilidad Media	50.25	
SC-25	Salón comunal	Centro Comunal	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SC-26	Puente Río Aquiares	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	0	0	0	20	2	Vulnerabilidad Media	50.25	
SC-27	Vivienda	Residencial	1.00	W1	12	12	10	4	14	3	3	3	3	3	20	4	Muy Vulnerable	102.50	
SC-28	Bar	Comercial	1.00	W1	4	6	3	10	5	2	3	3	3	3	12	5	Vulnerabilidad Media	70.00	
SC-29	Centro Comercial	Comercial	1.00	RM1	7	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	54.50	
SC-30	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	9	10	15	2	13	5	5	5	5	3	12	5	Muy Vulnerable	101.50	
SC-31	Vivienda / Taller	Residencial / Comercial	1.00	S1	8	9	13	3	15	5	5	4	3	3	10	8	Muy Vulnerable	102.25	
SC-32	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SC-33	Agro-veterinaria	Comercial	1.00	RM1	4	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	51.50	
SC-34	Ferretería	Comercial	1.00	W1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SC-35	Líneas Eléctricas	Línea Vital	1.50	PC1	0	6	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	39.00	
EC-1	Vivienda	Residencial	1.00	W1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
EC-2	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
EC-3	Iglesia	Centro Comunal	1.00	RM1	1	6	0	2	10	3	3	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
EC-4	Escuela	Educacional	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Seguro	47.50	
EC-5	Abastecedor	Comercial	1.00	W1	2	7	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	50.00	
EC-6	Salón Parroquial	Centro Comunal	1.00	W1	5	8	0	2	10	3	2	3	3	3	17	4	Vulnerabilidad Media	60.75	
EC-7	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
EC-8	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
EC-9	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
EC-10	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
EC-11	Cancha Escuela	Educacional	1.00	C1	0	9	0	2	10	0	0	0	0	0	15	2	Seguro	28.50	
EC-12	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1.50	PC1	0	6	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	39.00	
EC-13	Carretera acceso Santa Cruz	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00	
EC-14	Salón de actos	Educacional	1.00	RM1	5	7	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Vulnerabilidad Media	51.00	
EC-15	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	9	10	15	2	14	5	5	5	5	3	10	5	Muy Vulnerable	101.50	
SA-1	Escuela	Educacional	1.00	RM1	3	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Seguro	48.50	
SA-2	Iglesia	Centro Comunal	1.00	W2	4	6	5	2	10	3	3	3	3	4	16	4	Vulnerabilidad Media	68.75	
SA-3	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SA-4	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SA-5	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SA-6	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SA-7	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SA-8	Vivienda	Residencial	1.00	W1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SA-9	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SA-10	Vivienda	Residencial	1.00	W1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SA-11	Salón Parroquial	Centro Comunal	1.00	RM1	5	10	0	2	10	4	2	3	3	3	19	4	Vulnerabilidad Media	64.00	
SA-12	Taller	Comercial	1.00	S2	1	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	48.50	
SA-13	Camino acceso a Verbena Norte	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00	
SA-14	Camino acceso por Santa Cruz	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00	
SA-15	Puente 3 Río Guayabito	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	0	0	0	20	2	Vulnerabilidad Media	50.25	
SA-16	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	4	6	0	4	15	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	62.50	
SA-17	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1.50	PC1	0	6	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	39.00	
SA-18	Tanque Queiebra Gradientes	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	40.25	
SA-19	Salón Comunal	Centro Comunal	1.00	RM1	5	6	7	3	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	67.00	
SA-20	Oficina	Comercial	1.00	RM1	4	6	11	2	11	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	75.50	
SA-21	Vivienda / pulperia	Comercial / Residencial	1.00	W1	3	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	50.50	
SA-22	Lechería	Industrial	1.00	S2	2	5	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.00	
SA-23	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
SA-24	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	8	10	15	2	15	4	5	5	5	3	10	5	Muy Vulnerable	102.00	
SA-25	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	6	7	11	2	14	4	4	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	86.50	
LP-1	Escuela	Educacional	1.00	S2	5	5	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Seguro	50.00	
LP-2	Salón de Actos	Educacional	1.00	RM1	5	8	0	2	10	3	2	3	3	3	6	20	2	Vulnerabilidad Media	62.25
LP-3	Iglesia	Centro Comunal	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	50.50	
LP-4	Tanque 1 queiebra gradientes	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	40.25	
LP-5	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
LP-6	Lechería	Industrial	1.00	RM1	3	5	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	50.00	
LP-7	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1.50	PC1	0	6	0	2	10	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	39.00	
LP-8	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
LP-9	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50	
LP-10	Vivienda	Residencial	1.00	W1	4	9	0	2	10	3	2	3	3	3	16	4	Vulnerabilidad Media	59.00	
LP-11	Tanque 2 queiebra gradientes	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	0	0	0	14	2	Seguro	44.25	
LP-12	Vivienda	Residencial	1.00	W1	3	8	10	2	10	4	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	73.00	
LP-13	Camino acceso volcán Turrialba	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	10	0	0	0	0	0	17	2	Seguro	20.00	
LP-14	Vivienda	Residencial	1.00	PC1	2</														

Código zona	Utilización	Clasificación	Factor I Cód. Sím. C.R. 2002	Sistema estructural	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5	Parámetro 6	Parámetro 7	Parámetro 8	Parámetro 9	Parámetro 10	Parámetro 11	Parámetro 12	Clasificación	Grado de vulnerabilidad
SC-5	Tanque de agua	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	3	0	0	13	2	Seguro	43.25
SC-13	Tanque quiebra gradientes	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	3	0	0	10	2	Seguro	40.25
SA-18	Tanque Quiebra Gradientes	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	3	0	0	10	2	Seguro	40.25
LP-4	Tanque 1 quiebra gradientes	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	3	0	0	10	2	Seguro	40.25
LP-11	Tanque 2 quiebra gradientes	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	3	0	0	14	2	Seguro	44.25

$IV = (\text{Grado de vulnerabilidad promedio} / 100) + 1 = 1.42$
PGA (g) = 708

Tabla 31: Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para tanques

Código zona	Utilización	Clasificación	Factor I Cód. Sím. C.R. 2002	Sistema estructural	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5	Parámetro 6	Parámetro 7	Parámetro 8	Parámetro 9	Parámetro 10	Parámetro 11	Parámetro 12	Clasificación	Grado de vulnerabilidad
SC-6	Tubería acueducto	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00

$IV = (\text{Grado de vulnerabilidad promedio} / 100) + 1 = 1.13$
PGA (g) = 565

Tabla 32: Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para tuberías

Código zona	Utilización	Clasificación	Factor I Cód. Sím. C.R. 2002	Sistema estructural	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5	Parámetro 6	Parámetro 7	Parámetro 8	Parámetro 9	Parámetro 10	Parámetro 11	Parámetro 12	Clasificación	Grado de vulnerabilidad
SC-19	Líneas telefónicas	Línea Vital	1.50	W1	0	6	0	2	10	0	0	3	0	3	15	2	Seguro	44.00
SC-35	Líneas Eléctricas	Línea Vital	1.50	PC1	0	6	0	2	10	0	0	3	0	3	10	2	Seguro	39.00
EC-12	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1.50	PC1	0	6	0	2	10	0	0	3	0	3	10	2	Seguro	39.00
SA-17	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1.50	PC1	0	6	0	2	10	0	0	3	0	3	10	2	Seguro	39.00
LP-7	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1.50	PC1	0	6	0	2	10	0	0	3	0	3	10	2	Seguro	39.00

$IV = (\text{Grado de vulnerabilidad promedio} / 100) + 1 = 1.40$
PGA (g) = 700

Tabla 33 Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para líneas eléctricas y telefónicas

Código zona	Utilización	Clasificación	Factor I Cód. Sím. C.R. 2002	Sistema estructural	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5	Parámetro 6	Parámetro 7	Parámetro 8	Parámetro 9	Parámetro 10	Parámetro 11	Parámetro 12	Clasificación	Grado de vulnerabilidad
SC-15	Torre de telecomunicaciones	Línea Vital	1.50	S2	0	6	0	2	10	0	0	3	0	1	10	2	Seguro	38.50

$IV = (\text{Grado de vulnerabilidad promedio} / 100) + 1 = 1.39$
PGA (g) = 693

Tabla 34: Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para sistemas de comunicación

Código zona	Utilización	Clasificación	Factor I Cód. Sím. C.R. 2002	Sistema estructural	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5	Parámetro 6	Parámetro 7	Parámetro 8	Parámetro 9	Parámetro 10	Parámetro 11	Parámetro 12	Clasificación	Grado de vulnerabilidad
SC-17	Camino acceso a San Antonio	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00
SC-20	Carretera acceso a La Pastora	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00
EC-13	Carretera acceso Santa Cruz	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00
SA-13	Camino acceso a Verbena Norte	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00
SA-14	Camino acceso por Santa Cruz	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00
LP-13	Camino acceso volcán Turrialba	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	17	2	Seguro	20.00
LP-19	Carretera acceso a Pacayas	Línea Vital	1.50	--	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	2	Seguro	13.00

$IV = (\text{Grado de vulnerabilidad promedio} / 100) + 1 = 1.14$
PGA (g) = 570

Tabla 35: Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para vías terrestres

Código zona	Utilización	Clasificación	Factor I Cód. Sím. C.R. 2002	Sistema estructural	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5	Parámetro 6	Parámetro 7	Parámetro 8	Parámetro 9	Parámetro 10	Parámetro 11	Parámetro 12	Clasificación	Grado de vulnerabilidad
SC-16	Puente 1 Río Guayabito	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	3	0	0	20	2	Vulnerabilidad Media	50.25
SC-24	Puente 2 Río Guayabito	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	3	0	0	20	2	Vulnerabilidad Media	50.25
SC-26	Puente Río Aquiares	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	3	0	0	20	2	Vulnerabilidad Media	50.25
SA-15	Puente 3 Río Guayabito	Línea Vital	1.50	C1	0	10	0	2	10	0	0	3	0	0	20	2	Vulnerabilidad Media	50.25
LP-17	Puente Río Turrialba acceso a Pacayas	Línea Vital	1.50	S2	0	6	0	2	10	0	0	5	0	0	20	4	Vulnerabilidad Media	51.75

$IV = (\text{Grado de vulnerabilidad promedio} / 100) + 1 = 1.51$
PGA (g) = 753

Tabla 36: Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para puentes

Código zona	Utilización	Clasificación	Factor I Cód. Sism. C.R. 2002	Sistema estructural	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5	Parámetro 6	Parámetro 7	Parámetro 8	Parámetro 9	Parámetro 10	Parámetro 11	Parámetro 12	Clasificación	Grado de vulnerabilidad
SC-8	Escuela / abandonada	Educacional	0.75	W1	12	12	0	4	20	6	6	6	6	10	20	2	Muy Vulnerable	104.00

IV = (Grado de vulnerabilidad promedio / 100) + 1 = **2.04**
PGA (g) = **1020**

Tabla 37: Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para construcciones de bahareque o con características de resistencia similares

Código zona	Utilización	Clasificación	Factor I Cód. Sism. C.R. 2002	Sistema estructural	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5	Parámetro 6	Parámetro 7	Parámetro 8	Parámetro 9	Parámetro 10	Parámetro 11	Parámetro 12	Clasificación	Grado de vulnerabilidad
SC-1	Lechería	Industrial	1.00	S2	3	5	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	50.00
SC-2	Vivienda	Residencial	1.00	W2	1	6	10	1	10	3	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	69.00
SC-3	Hotel	Comercial	1.00	RM1	6	6	10	2	10	3	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	74.50
SC-4	Bodega veterinaria	Industrial	0.75	URM	7	7	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	55.00
SC-7	Escuela	Educacional	1.00	PCI	0	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Seguro	45.50
SC-9	Iglesia	Centro Comunal	1.00	RM1	3	6	0	2	10	3	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	51.50
SC-10	Centro de salud	Línea Vital	1.50	RM1	5	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Vulnerabilidad Media	50.50
SC-11	Vivienda	Residencial	1.00	W1	1	6	0	2	10	3	2	3	3	3	11	4	Seguro	49.50
SC-12	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SC-14	Central telefónica	Línea Vital	1.50	RM1	0	6	0	2	10	0	2	3	3	3	10	2	Seguro	44.00
SC-18	Oficina de Acueducto	Comercial	1.00	PCI	3	6	0	2	10	3	2	3	3	4	10	4	Vulnerabilidad Media	50.75
SC-21	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SC-22	Salón parroquial antiguo	Centro Comunal	1.00	W1	6	12	0	2	10	4	2	3	3	7	20	4	Vulnerabilidad Media	68.00
SC-23	Salón parroquial nuevo	Centro Comunal	1.00	RM1	3	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Seguro	48.50
SC-25	Salón comunal	Centro Comunal	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SC-27	Vivienda	Residencial	1.00	W1	12	12	10	4	14	3	3	3	3	3	20	4	Muy Vulnerable	102.50
SC-28	Bar	Comercial	1.00	W1	4	10	6	3	10	5	2	3	3	3	12	5	Vulnerabilidad Media	70.00
SC-29	Centro Comercial	Comercial	1.00	RM1	7	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	54.50
SC-30	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	9	10	15	2	13	5	5	3	3	3	12	5	Muy Vulnerable	101.50
SC-31	Vivienda / Taller	Residencial / Comercial	1.00	S1	8	9	13	3	15	5	5	4	3	3	10	8	Muy Vulnerable	102.25
SC-32	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SC-33	Agro-veterinaria	Comercial	1.00	RM1	4	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	51.50
SC-34	Ferretería	Comercial	1.00	W1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
EC-1	Vivienda	Residencial	1.00	W1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
EC-2	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
EC-3	Iglesia	Centro Comunal	1.00	RM1	1	6	0	2	10	3	3	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
EC-4	Escuela	Educacional	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Seguro	47.50
EC-5	Abastecedor	Comercial	1.00	W1	2	7	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	50.00
EC-6	Salón Parroquial	Centro Comunal	1.00	W1	5	8	0	2	10	3	2	3	3	4	17	4	Vulnerabilidad Media	60.75
EC-7	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
EC-8	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
EC-9	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
EC-10	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
EC-11	Cancha Escuela	Educacional	1.00	C1	0	9	0	2	0	0	0	3	3	3	15	2	Seguro	28.50
EC-14	Salón de actos	Educacional	1.00	RM1	5	7	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Vulnerabilidad Media	51.00
EC-15	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	9	10	15	2	14	5	5	3	3	3	10	5	Muy Vulnerable	101.50
SA-1	Escuela	Educacional	1.00	RM1	3	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Seguro	48.50
SA-2	Iglesia	Centro Comunal	1.00	W2	4	6	5	2	10	3	3	3	3	4	16	4	Vulnerabilidad Media	68.75
SA-3	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SA-4	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SA-5	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SA-6	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SA-7	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SA-8	Vivienda	Residencial	1.00	W1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SA-9	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SA-10	Vivienda	Residencial	1.00	W1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SA-11	Salón Parroquial	Centro Comunal	1.00	RM1	5	10	0	2	10	4	2	3	3	3	19	4	Vulnerabilidad Media	64.00
SA-12	Taller	Comercial	1.00	S2	1	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	48.50
SA-16	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	4	6	0	4	15	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	62.50
SA-19	Salón Comunal	Centro Comunal	1.00	RM1	5	6	7	3	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	67.00
SA-20	Oficina	Comercial	1.00	RM1	4	6	11	2	11	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	75.50
SA-21	Vivienda / pulpería	Comercial / Residencial	1.00	W1	3	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	50.50
SA-22	Lechería	Industrial	1.00	S2	2	5	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.00
SA-23	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
SA-24	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	8	10	15	2	15	4	5	3	3	3	10	5	Muy Vulnerable	102.00
SA-25	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	6	7	11	2	14	4	4	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	86.50
LP-1	Escuela	Educacional	1.00	S2	5	5	0	2	10	3	2	3	3	3	10	2	Seguro	50.00
LP-2	Salón de Actos	Educacional	1.00	RM1	5	8	0	2	10	3	2	3	3	6	20	2	Vulnerabilidad Media	62.25
LP-3	Iglesia	Centro Comunal	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	50.50
LP-5	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
LP-6	Lechería	Industrial	1.00	RM1	3	5	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	50.00
LP-8	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
LP-9	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
LP-10	Vivienda	Residencial	1.00	W1	4	9	0	2	10	3	2	3	3	3	16	4	Vulnerabilidad Media	59.00
LP-12	Vivienda	Residencial	1.00	W1	3	8	10	2	10	4	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	73.00
LP-14	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
LP-15	Vivienda	Residencial	1.00	W1	5	8	6	3	12	3	3	3	3	3	10	4	Vulnerabilidad Media	71.00
LP-16	Bodega Agropecuaria	Industrial	1.00	RM1	2	5	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.00
LP-18	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	4	8	0	2	10	3	2	3	3	3	15	4	Vulnerabilidad Media	57.50
LP-20	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	7	10	16	3	16	5	6	4	3	3	10	5	Muy Vulnerable	107.75
LP-21	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
LP-22	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
LP-23	Vivienda	Residencial	1.00	PCI	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
LP-24	Vivienda	Residencial	1.00	RM1	2	6	0	2	10	3	2	3	3	3	10	4	Seguro	49.50
LP-25	Bodega abandonada	Industrial	0.75	W1	12	12	0	4	20	5	5	6	3	10	20	4	Muy Vulnerable	101.50

IV = (Grado de vulnerabilidad promedio / 100) + 1 = **1.58**
PGA (g) = **791**

Tabla 38: Definición del índice de vulnerabilidad (IV) para construcciones de ferrocemento o con características de resistencia similares.

Con los datos obtenidos de la estimación del Índice de Vulnerabilidad (IV) y la aceleración pico efectiva para cada tipo de infraestructura, se establece el cuadro resumen con la información que se utilizará para realizar la evaluación del distrito de Santa Cruz de Turrialba.

Resumen de vulnerabilidades y aceleraciones para cada tipo de infraestructura			
Utilización	Clasificación	Índice Vulnerabilidad	PGA (g)
Tanque de agua	Línea Vital	1.42	708
Tubería acueducto	Línea Vital	1.13	565
Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1.40	700
Torre de telecomunicaciones	Línea Vital	1.39	693
Carretera o camino de acceso	Línea Vital	1.14	570
Puentes	Línea Vital	1.51	753
Escuela / abandonada	Educacional	2.04	1020
Vivienda, Iglesia, Salón, otros	Residencial, Centro Comunal, otros	1.58	791

Tabla 39: Resumen del índice de vulnerabilidad (IV) y aceleración pico efectiva por cada tipo de infraestructura.

6.5 Curvas de fragilidad y estimación de daños

Es recomendable aplicar curvas de fragilidad de estudios realizados, debido a que su modificación requiere el criterio experto de un ingeniero estructural experimentado en el área de evaluación sísmica.

La curva superior muestra la probabilidad de que el estado de daño sea leve, al continuar con estados de daños mayores conforme aumenta el desplazamiento o la aceleración.

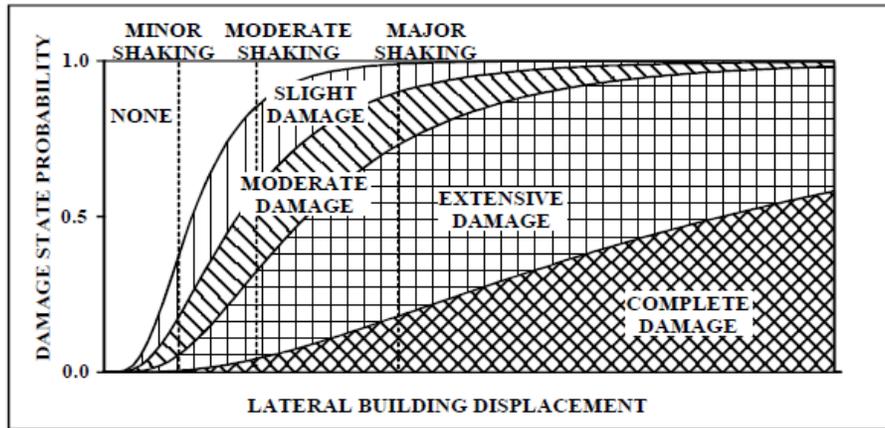


Figura 72: Detalle de composición básica de curva de fragilidad

Existen también curvas de fragilidad determinadas por otros parámetros para evaluar infraestructura, además de curvas de fragilidad utilizadas para medir la afectación humana ante eventos sísmicos.

Basadas en la descripción del estado de daño y en cálculos ingenieriles, son creadas las curvas de fragilidad para cada tipo de edificación. Una curva de fragilidad describe la probabilidad de ocurrencia para un estado de daño específico, como una función de la dimensión del sismo. Para el daño estructural, las curvas de fragilidad se presentan como una función del desplazamiento de la estructura, mientras que para el daño no estructural, corresponden a una función del desplazamiento PGD o la aceleración PGA de la edificación.

De igual forma que en las edificaciones, han sido desarrolladas curvas de fragilidad para los componentes de los sistemas de líneas vitales, con funciones en términos de desplazamiento PGD o aceleración PGA.

6.5.1 Tanques de concreto

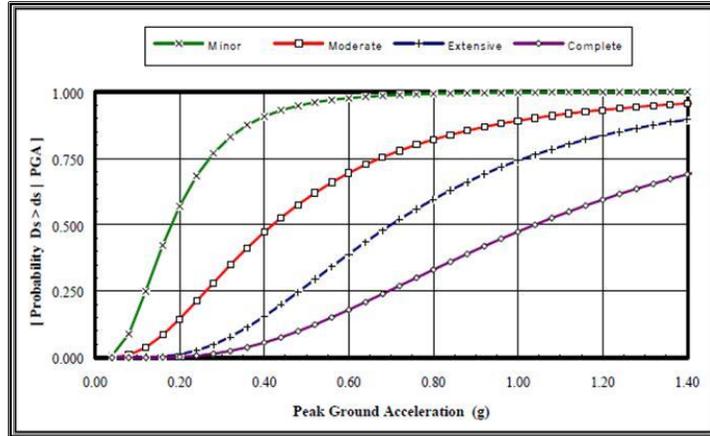


Figura 73: Curvas de fragilidad para tanques de concreto sin anclajes en el terreno (Fuente: Federal Emergency Management Agency, 1999)

La figura anterior, muestra la probabilidad de daño que se puede presentar en los diferentes estados para los tanques de concreto sin anclajes en el terreno. Esta probabilidad se establece en porcentaje de daño en el siguiente gráfico.

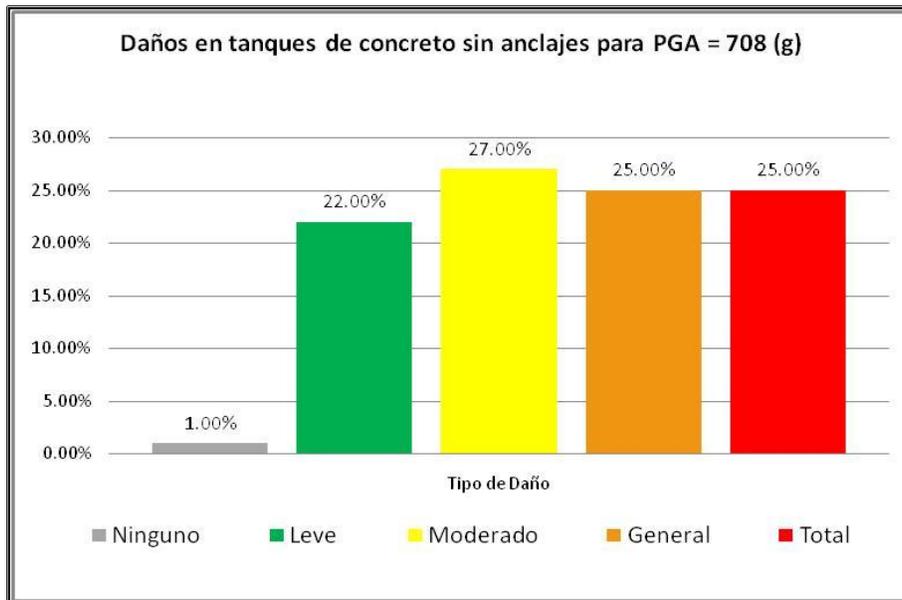


Gráfico 11: Daños esperados en tanques de concreto sin anclajes en el terreno

6.5.2 Tuberías

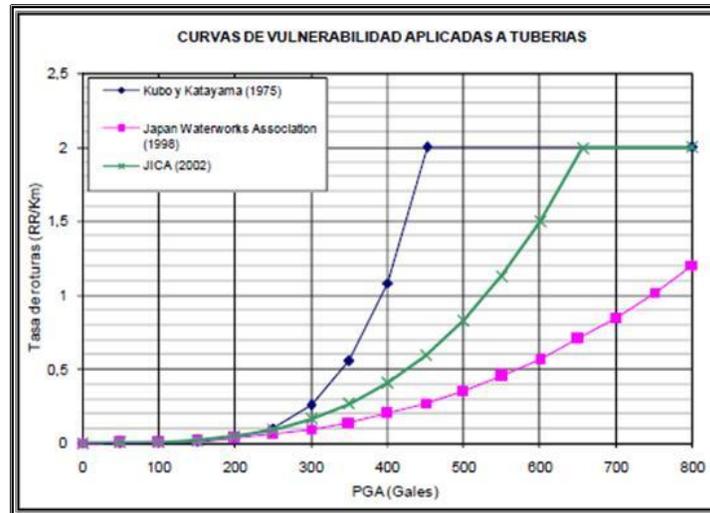


Figura 74: Curvas de fragilidad para tuberías método japonés (Fuente: FOPAE, n.d.)

De acuerdo con esta figura y los datos de la zona, es probable que se presenten 1,2 rupturas de tubería por kilómetro, tomando como referencia el método japonés promedio JICA (2002).

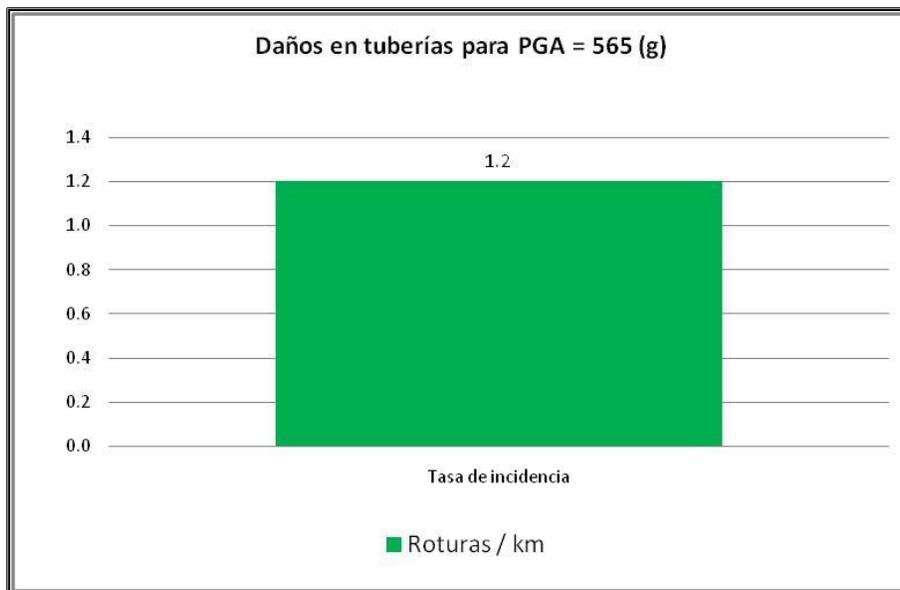


Gráfico 12: Daños esperados en tuberías

6.5.3 Líneas eléctricas y telefónicas

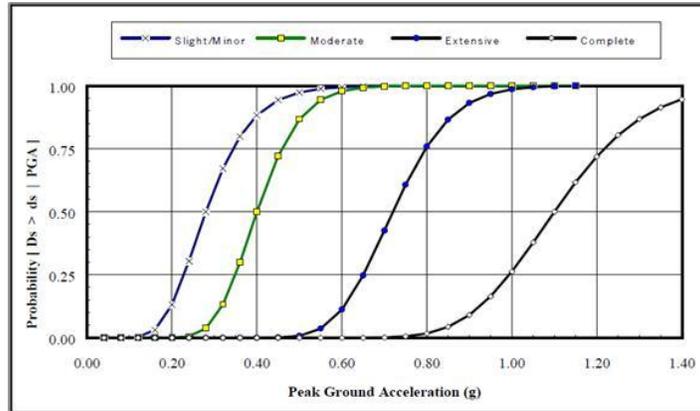


Figura 75: Curvas de fragilidad para circuitos de distribución antisísmicos (Fuente: Federal Emergency Management Agency, 1999)

Para el caso de las líneas eléctricas y telefónicas del distrito de Santa Cruz, basado en los datos de la figura anterior se muestra la probabilidad del porcentaje de daños que podría presentarse.

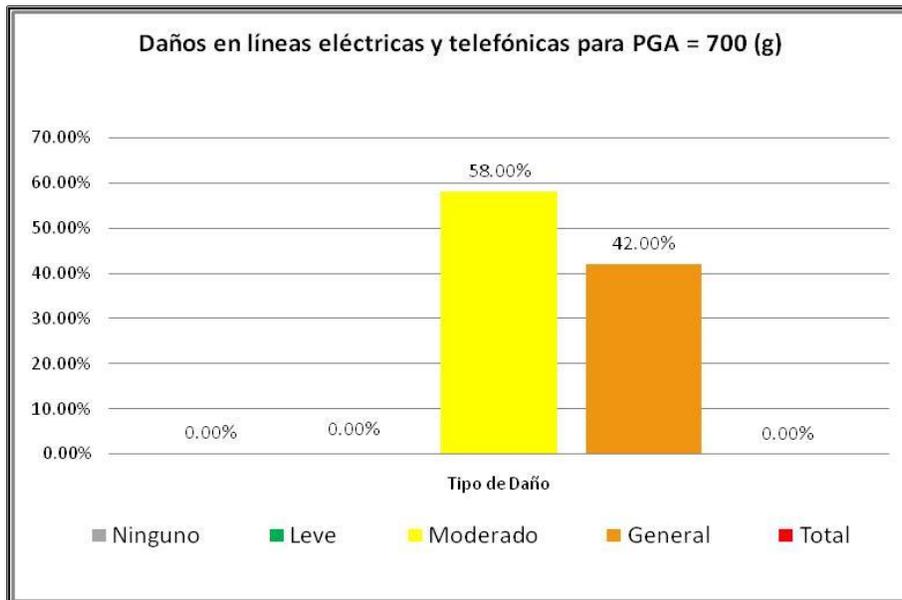


Gráfico 13: Daños esperados para líneas eléctricas y telefónicas

6.5.4 Sistemas de comunicación

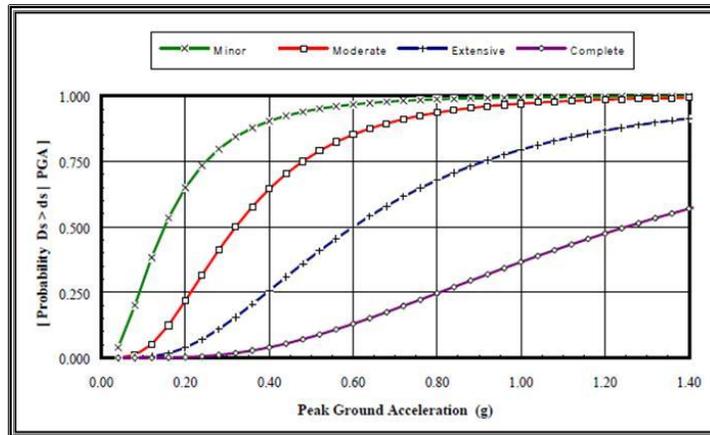


Figura 76: Curvas de fragilidad para sistemas de comunicación con componentes anclados (Fuente: Federal Emergency Management Agency, 1999)

Los daños esperados para los sistemas de comunicación de la zona, se trasladan de probabilidad a porcentajes de daño con los datos de la figura anterior.

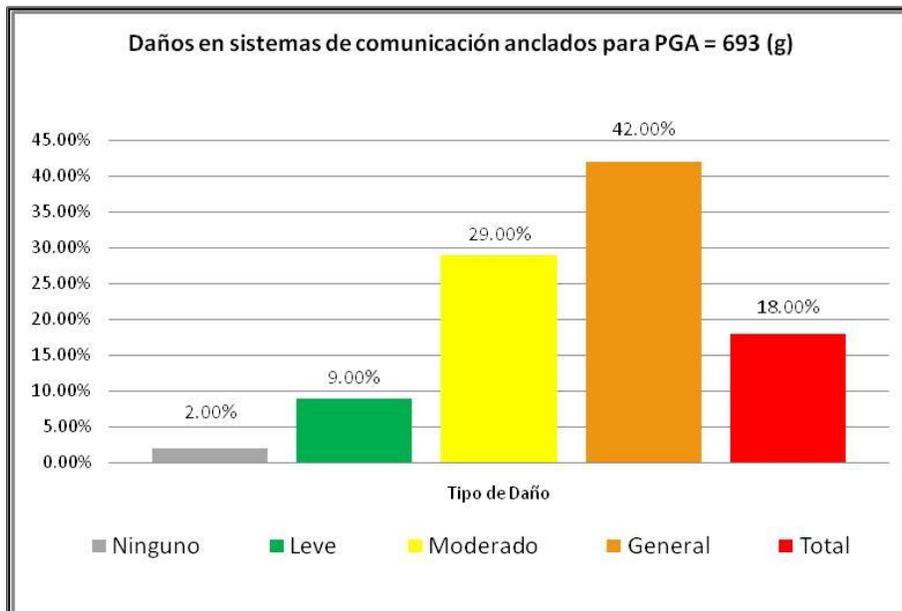


Gráfico 14: Daños esperados para sistemas de comunicación anclados

6.5.5 Vías terrestres

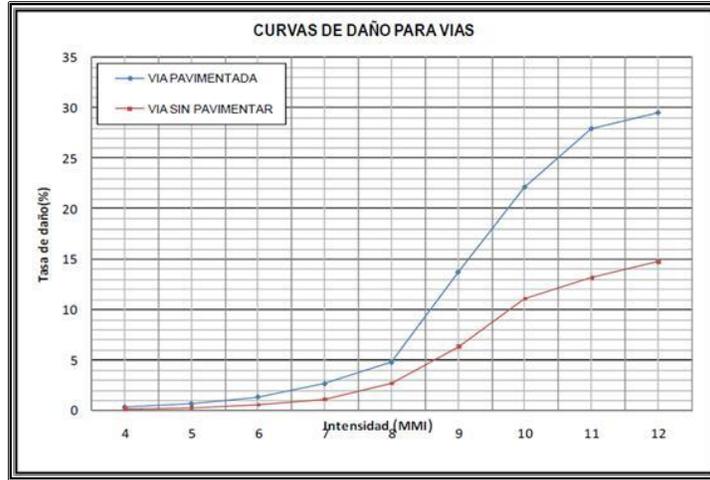


Figura 77: Curvas de fragilidad para vías terrestres (Fuente: FOPAE, n.d.)

Esta figura presenta los valores de evaluación en intensidad Mercalli Modificado (MMI), por lo que se utilizará la curva de Linkimer (2008) para la conversión de estos valores a isoaceleraciones (PGA). De esta forma 570 (PGA), corresponde con 8 (MMI), para obtener los porcentajes de daño esperados.

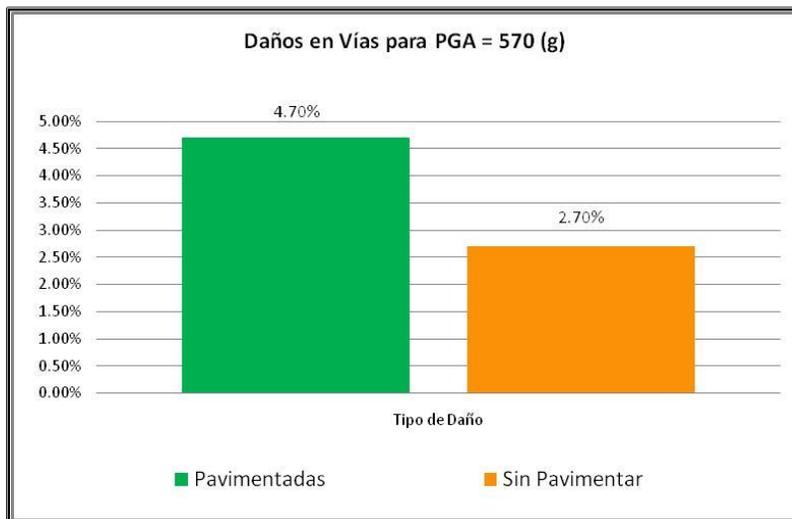


Gráfico 15: Daños esperados para vías terrestres

6.5.6 Puentes

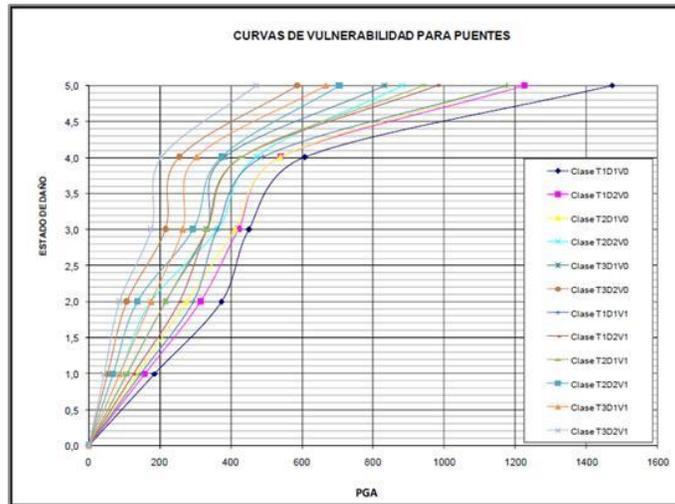


Figura 78: Curvas de fragilidad para puentes método Risk Management Solutions (R.M.S.) (Fuente: FOPAE, n.d.)

La curva de fragilidad para la evaluación de puentes, presenta en forma directa el estado de daño en que se podría ubicar cada tipo de puente. Para el caso de Santa Cruz, se asumen los datos del puente clase T1D1V0 que de acuerdo con el método Risk Management Solutions (R.M.S.) es equivalente en nuestro país al tipo HBR12 (Puente simplemente apoyado-diseño convencional-de alto riesgo).

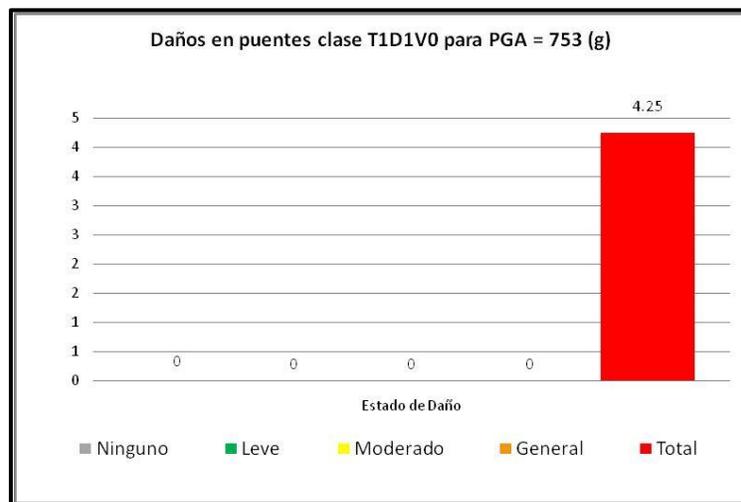


Gráfico 16: Daños esperados para puentes clase T1D1V0

6.5.7 Viviendas de bahareque

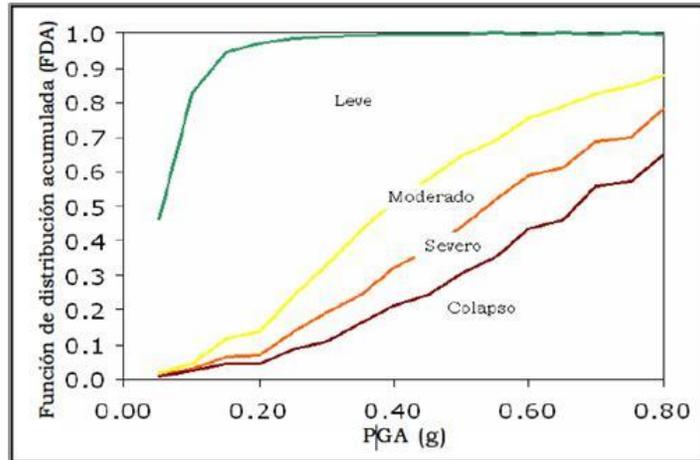


Figura 79: Curvas de fragilidad para viviendas de bahareque encementado de un piso (Fuente: Bedoya, 2005)

Los datos adquiridos de la figura anterior, se utilizan para evaluar edificaciones que poseen sistemas constructivos similares, como el que presenta la escuela antigua de Santa Cruz. Esta edificación se encuentra deteriorada y abandonada y se ubica en una zona que puede afectar otras como la escuela nueva en caso de colapso.

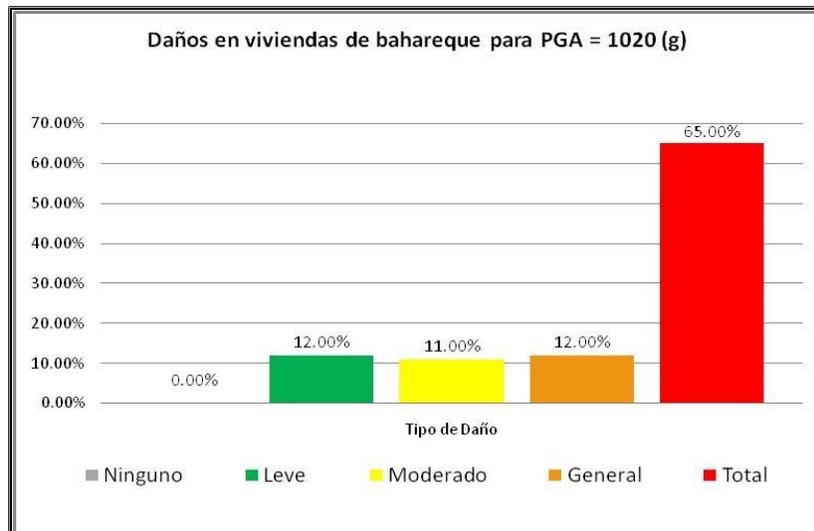


Gráfico 17: Daños esperados en edificaciones de bahareque

6.5.8 Viviendas de ferrocemento

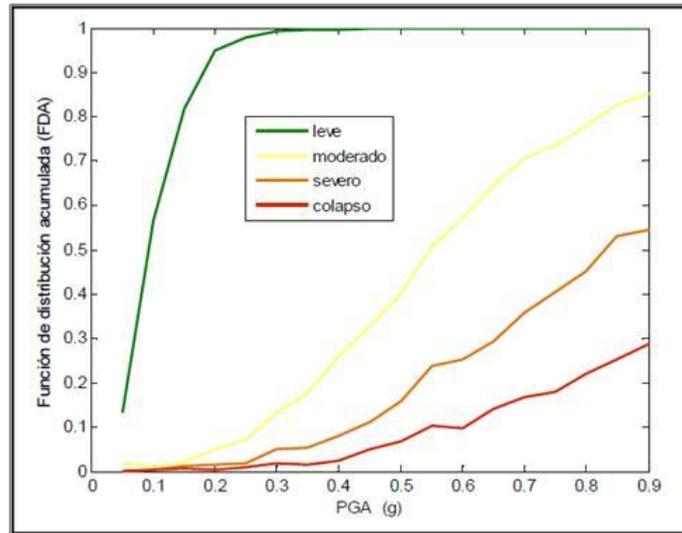


Figura 80: Curvas de fragilidad experimentales para viviendas de ferrocemento (Fuente: Bedoya, 2005)

Debido al comportamiento estructural de este sistema constructivo, la información generada se empleará para evaluar los restantes sistemas constructivos del distrito, tales como, mampostería, prefabricados de concreto, metal, madera, zócalo y otros.

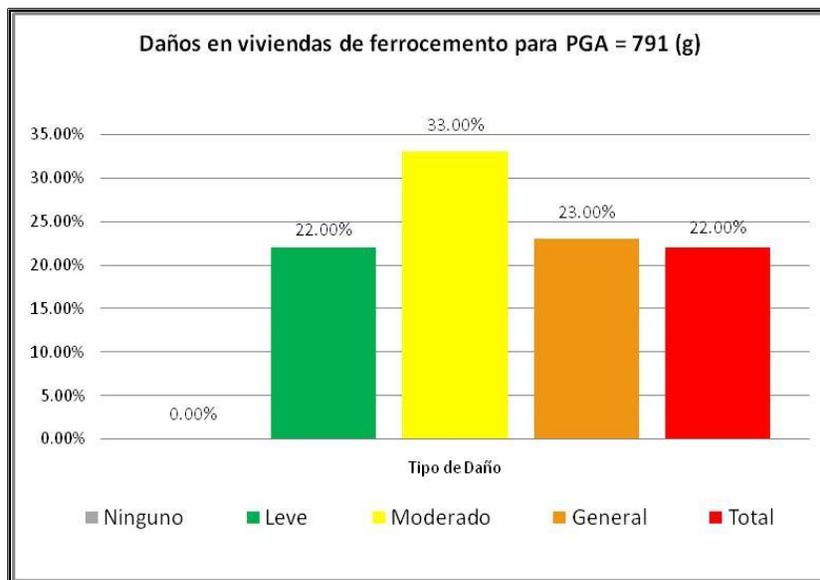


Gráfico 18: Daños esperados en edificaciones de ferrocemento

6.5.9 Determinación del índice de daño esperado

Tabla de clasificación de construcciones												
Definición de índice de daños												
Santa Cruz, Turrialba												
Código zona	Utilización	Clasificación	Niveles	Años de construcción	Tipo de Construcción	Código LANAME	Dimensión	Unidad	Daño General	Daño Total	Daño Promedio	
SC-1	Lechería	Industrial	1	30	Metal y zócalo	S2	1500	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-2	Vivienda	Residencial	2	20	Mampostería, madera	W2	150	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-3	Hotel	Comercial	3	8	Mampostería, madera y metal	RM1	2000	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-4	Bodega veterinaria	Industrial	1	20	Zócalo	URM	80	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-5	Tanque de agua	Línea Vital	1	12	Concreto	C1	65	m ³	25%	25%	25.0%	
SC-6	Tubería acueducto	Línea Vital	1	12	PVC	--	3	km	0%	40%	40.0%	
SC-7	Escuela	Educacional	1	6	Zócalo y prefabricada	PC1	800	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-8	Escuela / abandonada	Educacional	1	124	Zócalo	W1	500	m ²	12%	65%	38.5%	
SC-9	Iglesia	Centro Comunal	1	35	Mampostería	RM1	500	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-10	Centro de salud	Línea Vital	1	25	Mampostería	RM1	250	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-11	Vivienda	Residencial	1	45	Madera	W1	100	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-12	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	RM1	120	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-13	Tanque quebra gradientes	Línea Vital	1	45	Concreto	C1	6	m ³	25%	25%	25.0%	
SC-14	Central telefónica	Línea Vital	1	8	Mampostería	RM1	50	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-15	Torre de telecomunicaciones	Línea Vital	1	8	Metal	S2	1	c/u	42%	18%	30.0%	
SC-16	Puente 1 Río Guayabito	Línea Vital	1	70	Concreto	C1	30	m ³	0%	85%	85.0%	
SC-17	Camino acceso a San Antonio	Línea Vital	1	1	Lastre	--	4	km	0%	2.7%	2.7%	
SC-18	Oficina de Acueducto	Comercial	1	15	Prefabricado	PC1	56	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-19	Líneas telefónicas	Línea Vital	1	20	Madera	W1	6	km	42%	0%	42.0%	
SC-20	Carretera acceso a La Pastora	Línea Vital	1	20	Asfalto	--	2	km	0%	4.7%	4.7%	
SC-21	Vivienda	Residencial	1	5	Mampostería	RM1	64	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-22	Salón parroquial antiguo	Centro Comunal	1	70	Madera, zócalo	W1	500	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-23	Salón parroquial nuevo	Centro Comunal	1	0	Mampostería	RM1	300	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-24	Puente 2 Río Guayabito	Línea Vital	1	70	Concreto	C1	24	m ³	0%	85%	85.0%	
SC-25	Salón comunal	Centro Comunal	1	40	Mampostería	RM1	370	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-26	Puente Río Aquiares	Línea Vital	1	60	Concreto	C1	35	m ³	0%	85%	85.0%	
SC-27	Vivienda	Residencial	1	55	Madera	W1	49	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-28	Bar	Comercial	1	45	Madera	W1	140	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-29	Centro Comercial	Comercial	1	9	Mampostería	RM1	120	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-30	Vivienda	Residencial	2	25	Mampostería	RM1	220	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-31	Vivienda / Taller	Residencial / Comercial	2	25	Madera, metal	S1	230	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-32	Vivienda	Residencial	1	25	Mampostería	RM1	80	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-33	Agro-veterinaria	Comercial	1	22	Mampostería	RM1	48	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-34	Ferretería	Comercial	1	19	Zócalo	W1	84	m ²	23%	22%	22.5%	
SC-35	Líneas Eléctricas	Línea Vital	1	10	Prefabricado	PC1	10	km	42%	0%	42.0%	
EC-1	Vivienda	Residencial	1	40	Madera	W1	80	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-2	Vivienda	Residencial	1	15	Mampostería	RM1	100	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-3	Iglesia	Centro Comunal	1	25	Mampostería	RM1	120	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-4	Escuela	Educacional	1	20	Mampostería	RM1	350	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-5	Abastecedor	Comercial	1	35	Madera	W1	50	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-6	Salón Parroquial	Centro Comunal	1	35	Madera y metal	W1	80	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-7	Vivienda	Residencial	1	20	Prefabricado	PC1	60	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-8	Vivienda	Residencial	1	18	Prefabricado	PC1	64	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-9	Vivienda	Residencial	1	16	Prefabricado	PC1	54	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-10	Vivienda	Residencial	1	17	Prefabricado	PC1	72	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-11	Carida Escuela	Educacional	1	20	Concreto	C1	180	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-12	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	15	Prefabricado	PC1	6	km	42%	0%	42.0%	
EC-13	Carretera acceso Santa Cruz	Línea Vital	1	20	Asfalto	--	3	km	0%	4.7%	4.7%	
EC-14	Salón de actos	Educacional	1	20	Mampostería	RM1	80	m ²	23%	22%	22.5%	
EC-15	Vivienda	Residencial	2	25	Mampostería, madera	RM1	190	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-1	Escuela	Educacional	1	35	Mampostería y metal	RM1	250	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-2	Iglesia	Centro Comunal	1	90	Madera, Metal	W2	350	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-3	Vivienda	Residencial	1	10	Prefabricado	PC1	56	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-4	Vivienda	Residencial	1	12	Prefabricado	PC1	56	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-5	Vivienda	Residencial	1	15	Prefabricado	PC1	64	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-6	Vivienda	Residencial	1	9	Prefabricado	PC1	72	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-7	Vivienda	Residencial	1	11	Prefabricado	PC1	64	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-8	Vivienda	Residencial	1	30	Madera	W1	60	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-9	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	RM1	70	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-10	Vivienda	Residencial	1	15	Madera, fibrolit	W1	64	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-11	Salón Parroquial	Centro Comunal	1	50	Mampostería y madera	RM1	240	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-12	Taller	Comercial	1	20	Metal	S2	260	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-13	Camino acceso a Verbena Norte	Línea Vital	1	12	Asfalto	--	2	km	0%	4.7%	4.7%	
SA-14	Camino acceso por Santa Cruz	Línea Vital	1	5	Lastre	--	2	km	0%	2.7%	2.7%	
SA-15	Puente 3 Río Guayabito	Línea Vital	1	60	Concreto	C1	50	m ³	0%	85%	85.0%	
SA-16	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	RM1	65	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-17	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	18	Prefabricado	PC1	8	km	42%	0%	42.0%	
SA-18	Tanque Quebra Gradientes	Línea Vital	1	22	Concreto	C1	5	m ³	25%	25%	25.0%	
SA-19	Salón Comunal	Centro Comunal	1	20	Mampostería	RM1	220	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-20	Oficina	Comercial	2	20	Mampostería	RM1	140	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-21	Vivienda / pulpería	Comercial / Residencial	1	30	Madera	W1	70	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-22	Lechería	Industrial	1	15	Metal	S2	160	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-23	Vivienda	Residencial	1	14	Mampostería	RM1	56	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-24	Vivienda	Residencial	2	18	Mampostería	RM1	120	m ²	23%	22%	22.5%	
SA-25	Vivienda	Residencial	2	23	Mampostería, fibrolit	RM1	90	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-1	Escuela	Educacional	1	60	Metal, mampostería	S2	500	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-2	Salón de Actos	Educacional	1	60	Mampostería, madera	RM1	180	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-3	Iglesia	Centro Comunal	1	75	Mampostería, madera	RM1	230	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-4	Tanque 1 quebra gradientes	Línea Vital	1	17	Concreto	C1	2	m ³	25%	25%	25.0%	
LP-5	Vivienda	Residencial	1	8	Prefabricado	PC1	75	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-6	Lechería	Industrial	1	20	Mampostería, metal	RM1	1300	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-7	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	16	Prefabricado	PC1	5	km	42%	0%	42.0%	
LP-8	Vivienda	Residencial	1	14	Prefabricado	PC1	80	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-9	Vivienda	Residencial	1	23	Mampostería	RM1	65	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-10	Vivienda	Residencial	1	37	Madera	W1	80	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-11	Tanque 2 quebra gradientes	Línea Vital	1	13	Concreto	C1	10	m ³	25%	25%	25.0%	
LP-12	Vivienda	Residencial	2	11	Madera	W1	240	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-13	Camino acceso volcán Turrialba	Línea Vital	1	30	Asfalto y material volcánico	--	6	km	0%	4.7%	4.7%	
LP-14	Vivienda	Residencial	1	16	Prefabricado	PC1	56	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-15	Vivienda	Residencial	1	21	Metal, madera	W1	60	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-16	Bodega Agropecuaria	Industrial	1	13	Mampostería	RM1	150	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-17	Puente Río Turrialba acceso a Pacayas	Línea Vital	1	60	Metal y Concreto	S2	1	c/u	0%	85%	85.0%	
LP-18	Vivienda	Residencial	1	35	Zócalo	RM1	75	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-19	Carretera acceso a Pacayas	Línea Vital	1	20	Asfalto	--	4	km	0%	4.7%	4.7%	
LP-20	Vivienda	Residencial	2	27	Mampostería, madera	RM1	180	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-21	Vivienda	Residencial	1	17	Mampostería	RM1	60	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-22	Vivienda	Residencial	1	18	Mampostería	RM1	80	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-23	Vivienda	Residencial	1	16	Prefabricado	PC1	64	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-24	Vivienda	Residencial	1	21	Mampostería	RM1	56	m ²	23%	22%	22.5%	
LP-25	Bodega abandonada	Industrial	1	50	Madera, metal	W1	120	m ²	23%	22%	22.5%	
										Índice daño general	26%	

Tabla 40: Cálculo del índice de daños esperados

Con la ayuda de la tabla anterior, se logra determinar el índice de daño general esperado el cual se establece en un 26%. Para realizar la estimación se tomó en cuenta el daño general y el daño total determinados para la infraestructura evaluada. Para los casos en los que el porcentaje era uno solo, se asumió como daño total. En los casos en los que solo se definió el estado se tomó en cuenta el daño obtenido entre el total, en estas situaciones el daño general se estableció en 0%.

6.5.10 Factor de colapso

Si se realiza el análisis de riesgo es posible determinar una estimación de la afectación a la población en términos de personas que sufrirían algún tipo de afectación, en vivienda, de tipo físico que son motivo de atención hospitalaria y personas que pudieran perder la vida debido a la ocurrencia del evento y posterior al mismo. Las funciones de vulnerabilidad humana son un método eficaz para realizar estimaciones, debido a que de manera similar a las funciones de vulnerabilidad física, establecen el número de personas afectadas en función del porcentaje de daño físico obtenido.

Los factores relacionados con la determinación del daño en los edificios, la distribución de la población y otros factores de índole social, cultural y económico, se emplean en la metodología aproximada que se basa en el número de heridos y muertos debido al colapso parcial o total de las edificaciones, teniendo en cuenta factores de calificación que dependen del daño esperado y el tipo de edificio.

De esta forma se establece el factor de colapso según la siguiente fórmula:

$$FC = 1 - 0.5^{\theta}$$

$$\theta = \left(\frac{\text{Pérdida del edificio} [\%]}{30\%} \right)^{3.5}$$

Para este estudio se obtuvo un índice de daño general del 26%, teniendo en cuenta el coeficiente de factor de colapso (*CFc*) de 30% definido en la fórmula anterior, así como la utilización de la curva de fragilidad de afectación a la población y pérdidas económicas directas, se logró determinar un factor de colapso general de 0,36.

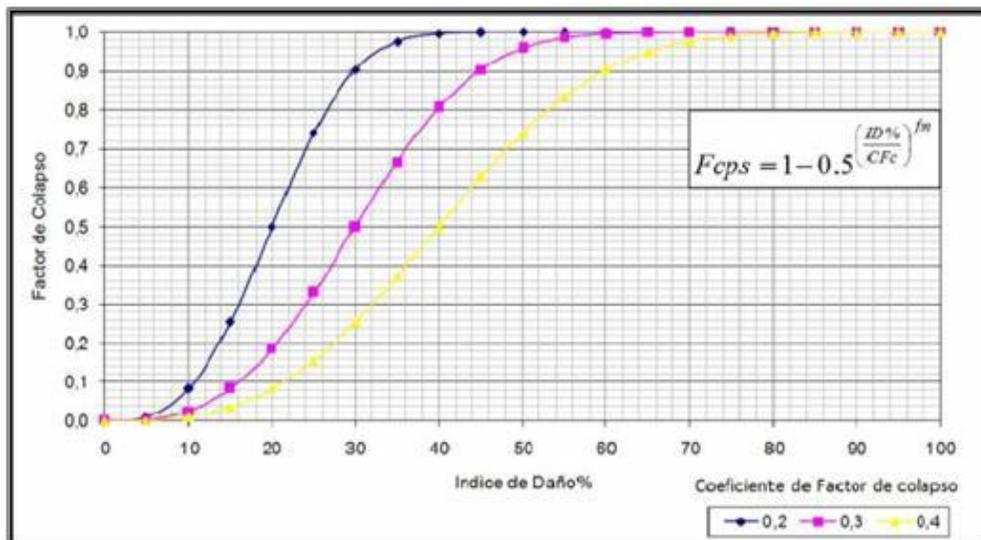


Figura 81: Curvas de fragilidad para afectación a la población y pérdidas económicas directas (Fuente: FOPAE, n.d.)

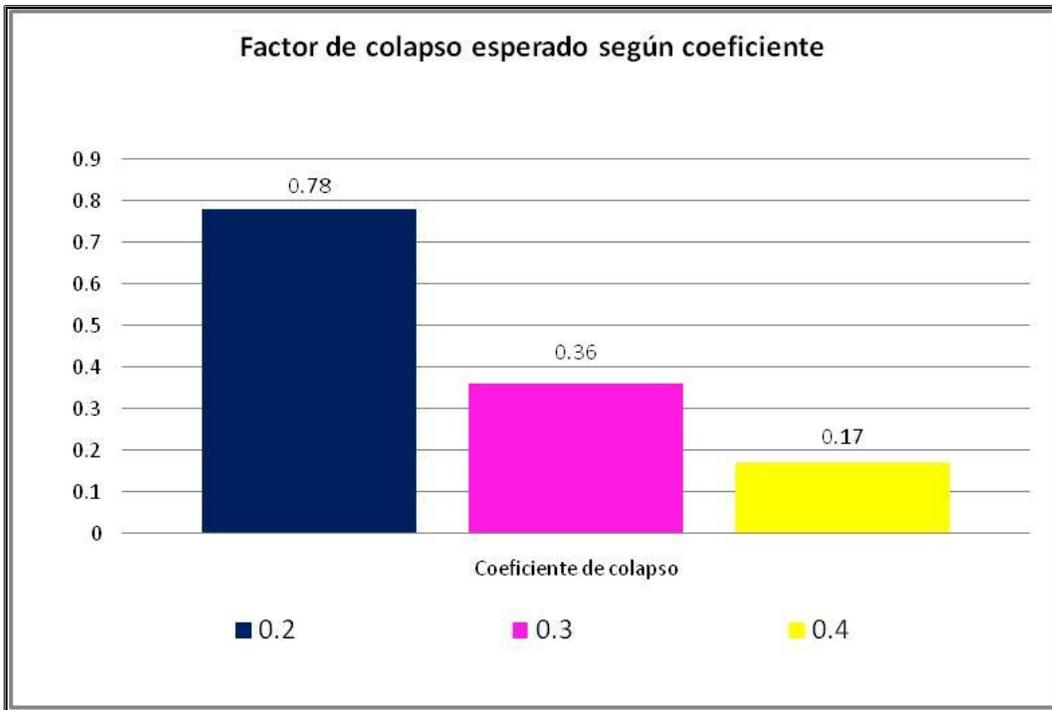


Gráfico 19: Factores de colapso según índice de daños esperados

CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE RIESGO VULCANOLÓGICO

7.1 Análisis del Índice de Erupciones Volcánicas (VEI)

¹⁹La evaluación de la amenaza y mitigación son fundamentales si se basan en vigilancia y monitoreo instrumental, monitoreo de volcanes utilizando sistemas en el terreno y sistemas de teledetección, con el fin de realizar predicciones de corto plazo. Se muestran algunas metodologías y el diagrama para el análisis del riesgo vulcanológico.

Algunas técnicas son:

- Observación visual y actividad de campo
- Análisis de la actividad sísmica en general
- Evaluación de la deformación del terreno con GPS, inclinómetros, otros
- Medición de la emisión de gases al contemplar la composición química y la temperatura
- Instalación de sensores remotos

Evaluación de la amenaza y mitigación:

- Implementación de sistemas de alarma temprana
- Definición de planes de emergencia y evacuación

¹⁹ Voskuil (n.d.)

- Elaboración de programas educativos orientados a crear conciencia de las amenazas para poblaciones que viven en áreas de influencia volcánica
- Lograr la planificación del uso del suelo, basada en la zonificación de la amenaza
- Aplicación de códigos y normativas de construcción
- Construcción de estructuras para desviación de lahares, tales como diques

Uso de sensores remotos y sistema SIG:

- Mapeo de zonas de influencia volcánica
- Monitoreo constante de la actividad volcánica y erupciones
- Implementación de sistemas de alarma temprana
- Zonificación de los diferentes tipos de amenaza
- Cuantificación de depósitos volcánicos en la zona
- Evaluación de posibles daños provocados por fenómenos naturales

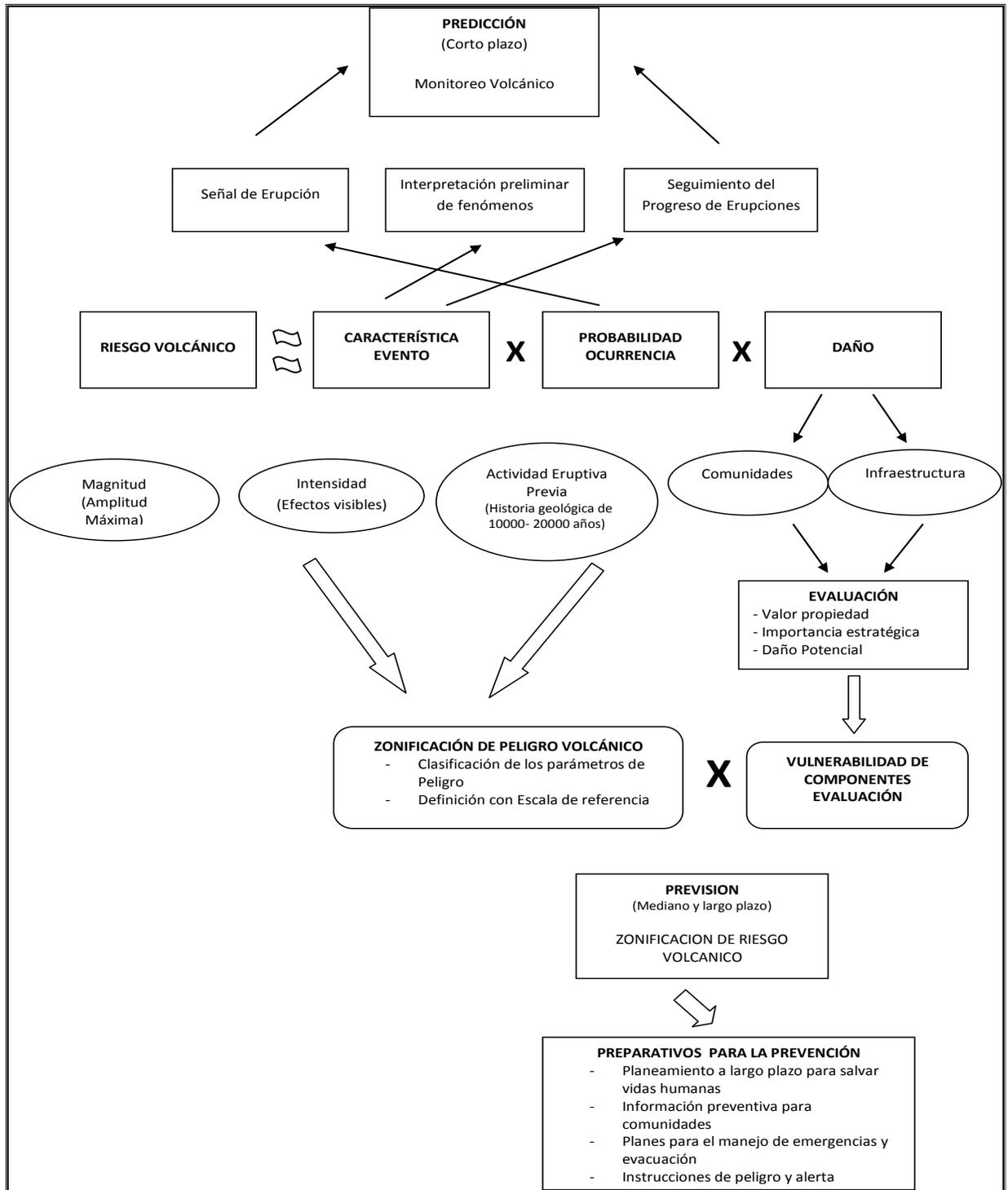


Figura 82: Diagrama de flujo para mitigación y evaluación del riesgo asociado a la amenaza volcánica (Modificado de: Voskuil, n.d.)

7.2 Análisis del comportamiento del Volcán Turrialba

²⁰Se establecen las estructuras y geoformas del Volcán Turrialba y sus alrededores para lograr la fotointerpretación, al definir que por la ubicación y actividad observada hasta el año 2000, la Quebrada Paredes presentaba el potencial de arrastrar material que se desprendiera de la parte oeste de la cúspide volcánica, como se muestra a continuación:

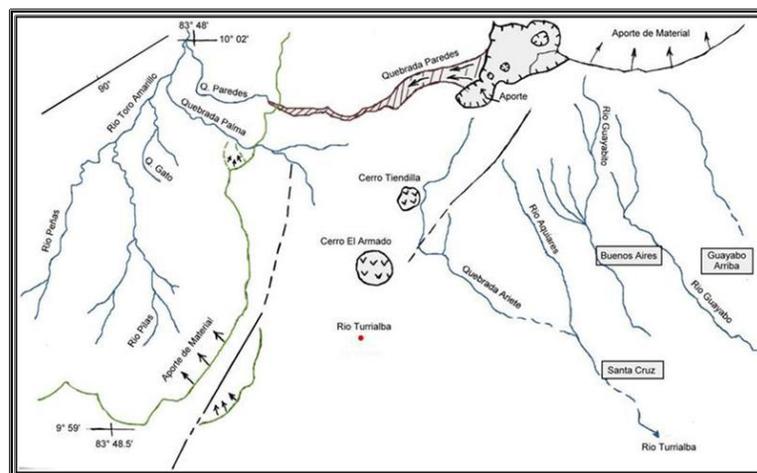


Figura 83: Estructuras y geoformas definidas en la zona de estudio (Fuente: UNESCO, 2000)

Sin embargo, ante la alerta del reinicio de la actividad volcánica el 05 de enero del año 2010, personeros de varias Instituciones que representan a la Red Sismológica Nacional (RSN-ICE), Comisión Nacional de Emergencias (CNE), entre otras, luego de visitar el Volcán se reúnen en el poblado de La Pastora para comunicar que la actividad generó una nueva fisura, la cual se ubica al costado suroeste del cráter oeste, lo que afecta el costado sur del edificio volcánico.

²⁰ UNESCO (2000)

El extremo sur del Volcán Turrialba está conformado por los cerros San Juan y San Enrique. Este último, que es el de mayor tamaño y presenta una falla vertical que junto con su cercanía a la falla Ariete y la emisión de gases y vapor en sus paredes, así como la lluvia ácida que quema la vegetación que lo cubre, podría aportar material producto de sismos o intensas lluvias a los Ríos Aquiares y Guayabito, lo que genera deslizamientos, avalanchas o lahares que podrían afectar seriamente a los poblados ubicados hacia el sureste del cono volcánico, tal es el caso de Santa Cruz.

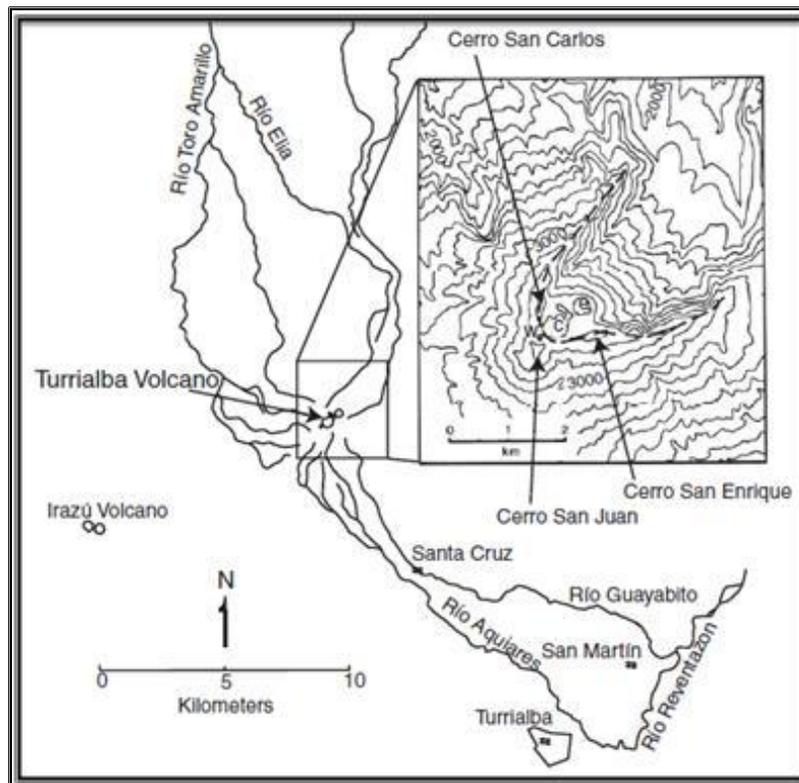


Figura 84: Diagrama de ubicación de cerros en el cráter del Volcán Turrialba (Fuente: Reagan, Duarte, Soto & Fernández, 2006)



Imagen 22: Foto del cerro San Enrique hacia el sureste (Fuente: Reagan et al., 2006)

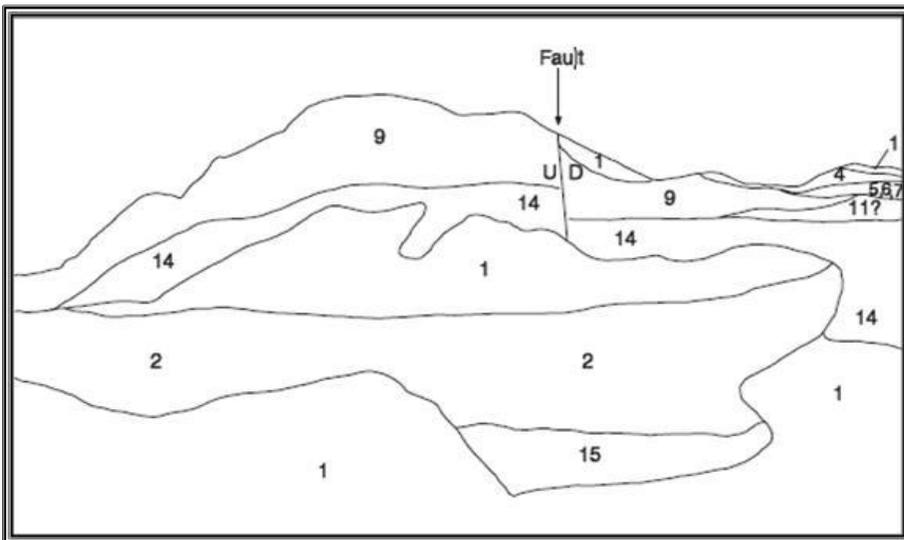


Figura 85: Diagrama de comportamiento de la falla vertical (Fuente: Reagan et al., 2006)



Imagen 23: Volcán Turrialba al sur del puente Negro (Foto: 26 de noviembre del 2010)



Imagen 24: Pluma y emisión de gases al sureste del Volcán Turrialba (Foto: 26 de noviembre del 2010)

7.3 Pronóstico del comportamiento del Volcán Turrialba

²¹Las áreas de posible afectación por diferentes eventos en un futuro cercano, se presentan en el mapa adjunto:

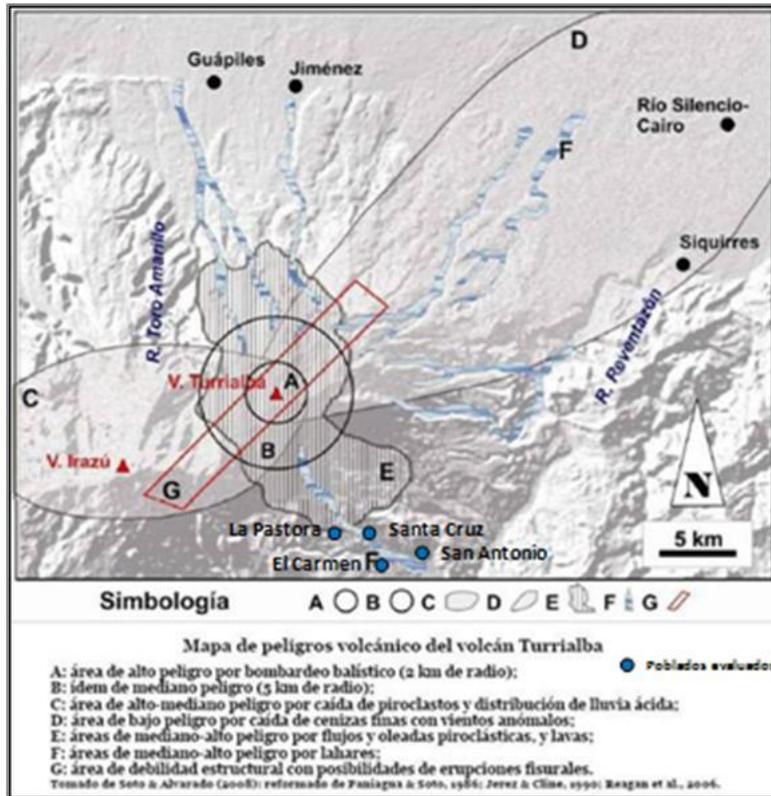


Figura 86: Mapa de los posibles peligros del Volcán Turrialba (Fuente: Alvarado et al., 2010)

Adicionalmente indican que dentro de los posibles escenarios establecidos, se resaltan los dos estadios en este momento y los otros posibles de evolución:

²¹ Alvarado, Soto & Rojas (2010)



Figura 87: Situaciones futuras esperables del Volcán Turrialba (Fuente: Alvarado et al., 2010)

CAPÍTULO VIII. ESTIMACIÓN DE RIESGOS, DAÑOS Y PÉRDIDAS

8.1 Efectos en los cultivos, la vegetación, los animales y metales

Los personeros del Ministerio de Agricultura y Ganadería (INTA-MAG), así como del Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA), entre otros, a inicios del año 2010, realizaron visitas de campo para evaluar los efectos de la lluvia ácida y la ceniza en la zona de mayor influencia del Volcán Turrialba, logrando establecer parámetros de daño importantes para la toma de decisiones y la implementación de políticas en el nivel gubernamental.



Imagen 25: Daño a cultivos y pasto, zona de influencia Volcán Turrialba (Fuente: Abarca, 2010)

La lluvia ácida también afectó a los pobladores y los animales de los alrededores más cercanos al Volcán Turrialba, lo que provocó la evacuación de las zonas influenciadas en forma directa por este evento.

A continuación se describen algunos de los problemas reportados el 14 de enero del 2010 por causa de la lluvia ácida:

- La finca Laura Pacheco (La Central), acogió 270 animales que provenían de la finca El Encuentro.
- Martín Ulloa, propietario de la finca Miravalles, no aceptó trasladar a sus animales, por lo que se le notificaría con la Fuerza Pública que no estaría permitido el acceso a la zona, solicitándole firmar su deseo de no trasladar sus animales.
- Se calculó el área afectada por lluvia ácida aproximadamente en 2000 hectáreas.
- Los animales permanecían consumiendo el pasto afectado por la lluvia ácida y el único síntoma clínico presentado, fue una disminución del 20% en la producción láctea. El Dr. Sergio Abarca del INTA, recomendó un consumo de menos del 50% del pasto afectado como margen de seguridad, hasta que se obtuvieran los resultados toxicológicos.

POBLACIÓN ANIMAL/ ANILLOS / SECTOR AFECTADO		
Número anillo	Sector	*Número de animales
1	Chaires	37
1	La Picada	80
1	La Silvia	0
1	La Central	0
1	Miravalles	40
1	La Fuente	270
1	El Triunfo	50
1	Asentamiento El Triunfo	40
1	Tapojo	83
2	Palmira	230
2	La Esperanza	1150
	Total	1980
*1068 vacas, 900 ovejas, 7 caballos, 5 perros		

Tabla 41: Animales afectados, zona de influencia Volcán Turrialba (Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería & Servicio Nacional de Salud Animal, 2010)

²²Funcionarios del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Turrialba informaron que los efectos del Volcán Turrialba, han generado que incluso los productores de otras comunidades que alquilan terrenos en Santa Cruz, se vean afectados como se muestra a continuación:

²² López (2010)

Informe ASAT-009-2010

Fecha	Agricultor	Vivienda	Lugar de Siembra	Cultivo	Área	Edad	Condición
7-01-10	Fausto Cordero Brenes	Capellades	La Esperanza, 1.82 km Suroeste de la Escuela El Volcán en Santa Cruz, Turrialba.	Papa	1 ha 2 ha	2 meses En cosecha	<p>La totalidad del cultivo mostró los mismos síntomas de áreas quemadas en las hojas debido a los ácidos del volcán.</p> <p>Acumulación de ceniza en las hojas, cultivo con muy buen desarrollo.</p> <p>Pagó por adelantado ¢800.000^{oo} al dueño del terreno (Lachner) para siembra de 5 manzanas de papa.</p>
7-01-10	Bernardo Obando Carvajal	Buenos Aires, Pacayas	Finca El Retiro, 2.07 km al Suroeste de la Escuela El Volcán en Santa Cruz, Turrialba.	Papa	4500 m ²	2.5 meses	<p>La totalidad del cultivo mostró los mismos síntomas de áreas quemadas en las hojas debido a los ácidos del volcán.</p> <p>Acumulación de ceniza en las hojas, cultivo con muy buen desarrollo.</p> <p>Nota: Tienen problemas para transporte de leche, ya que no dejan pasar al volcán el vehículo de la Dos Pinos.</p>
7-01-10	Miguel Brenes Gómez	Buenos Aires, Pacayas	El Retiro, 1.7 km de la Escuela El Volcán en Santa Cruz, Turrialba.	Papa	0.5 has	2 meses	<p>La totalidad del cultivo mostró los mismos síntomas de áreas quemadas en las hojas debido a los ácidos del volcán.</p> <p>Acumulación de ceniza en las hojas, cultivo con muy buen desarrollo.</p>

Tabla 42: Evaluación de afectación a los cultivos por lluvia ácida a enero 2010

Informe ASAT-018-2010

Fecha	Agricultor	Vivienda	Lugar de Siembra	Cultivo	Área	Edad	Condición
5-02-10	Fausto Cordero Brenes	Capellades	La Esperanza, 1.82 km Suroeste de la Escuela El Volcán en Santa Cruz, Turrialba.	Papa	1 ha	3 meses	Se determinó un 60% del follaje perdido (quemado) por efecto de ácidos del volcán. Tenía tubérculos pequeños.
5-02-10	Bernardo Obando Carvajal	Buenos Aires, Pacayas	Finca El Retiro, 2.07 km al Suroeste de la Escuela El Volcán en Santa Cruz, Turrialba.	Papa	4500 m ²	3,5 meses	Se determinó un 60% del follaje perdido (quemado) por efecto de ácidos del volcán. Tenía tubérculos pequeños.
5-02-10	Miguel Brenes Gómez	Buenos Aires, Pacayas	El Retiro, 1.7 km de la Escuela El Volcán en Santa Cruz, Turrialba.	Papa	0.5 has	3 meses	Se determinó un 25% del follaje perdido (quemado) por efecto de ácidos del volcán. Tenía tubérculos medianos. Fue asistido.
5-02-10	Miguel Brenes Gómez	Buenos Aires, Pacayas	Limite - Alvarado, 2 Turrialba. 21 km Suroeste de la Escuela El Volcán en Santa Cruz, Turrialba	Papa	3 has	3 meses	El 100% del cultivo se quedó sin el 90% del follaje, lo que provocó una reducción considerable del tamaño del tubérculo a tal grado que se estimó en un 95% de papa pequeña y un 5% mediana. El productor estaba cosechando.

Tabla 43: Evaluación de afectación a los cultivos por lluvia ácida a febrero 2010

Debido a la humedad del ambiente del Volcán Turrialba (de más del 80%) y la concentración de gases que según Ovsicori es de entre 200 y 700 toneladas de dióxido de sulfuro (SO_2) al día, provoca que el fenómeno de corrosión se agrave.

Con respecto de los efectos en los metales ubicados en el sitio Vargas (2010) menciona que en los alrededores del Volcán Turrialba, una pieza de acero colocada a la intemperie puede desaparecer en tan solo un año. Fueron los resultados preliminares de un estudio realizado por la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) y el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, de la Universidad Nacional (Ovsicori-UNA).

La ingeniera y experta en materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica Galina Pridybaill, comentó que existe una normativa internacional para diferenciar en cinco categorías, la velocidad con que se desgastan los materiales en un entorno. De acuerdo con esta normativa estándar utilizada en varios países (alrededor de 14), la primera categoría (C1) corresponde a un sitio como Cusco-Perú, donde no existe contaminación atmosférica y el aire es muy seco, la tercera categoría (C3) es una atmósfera promedio o normal y la categoría máxima o C5, equivale a sitios muy contaminados y húmedos relacionados con zonas donde existe fuerte presencia de la industria metalúrgica.

Los datos del estudio realizado advierten que en los alrededores del Volcán Turrialba los valores de humedad y contaminación atmosférica superan incluso los contemplados en la categoría máxima de agresividad ambiental (C5). Para lograr esa conclusión, los expertos crearon dos

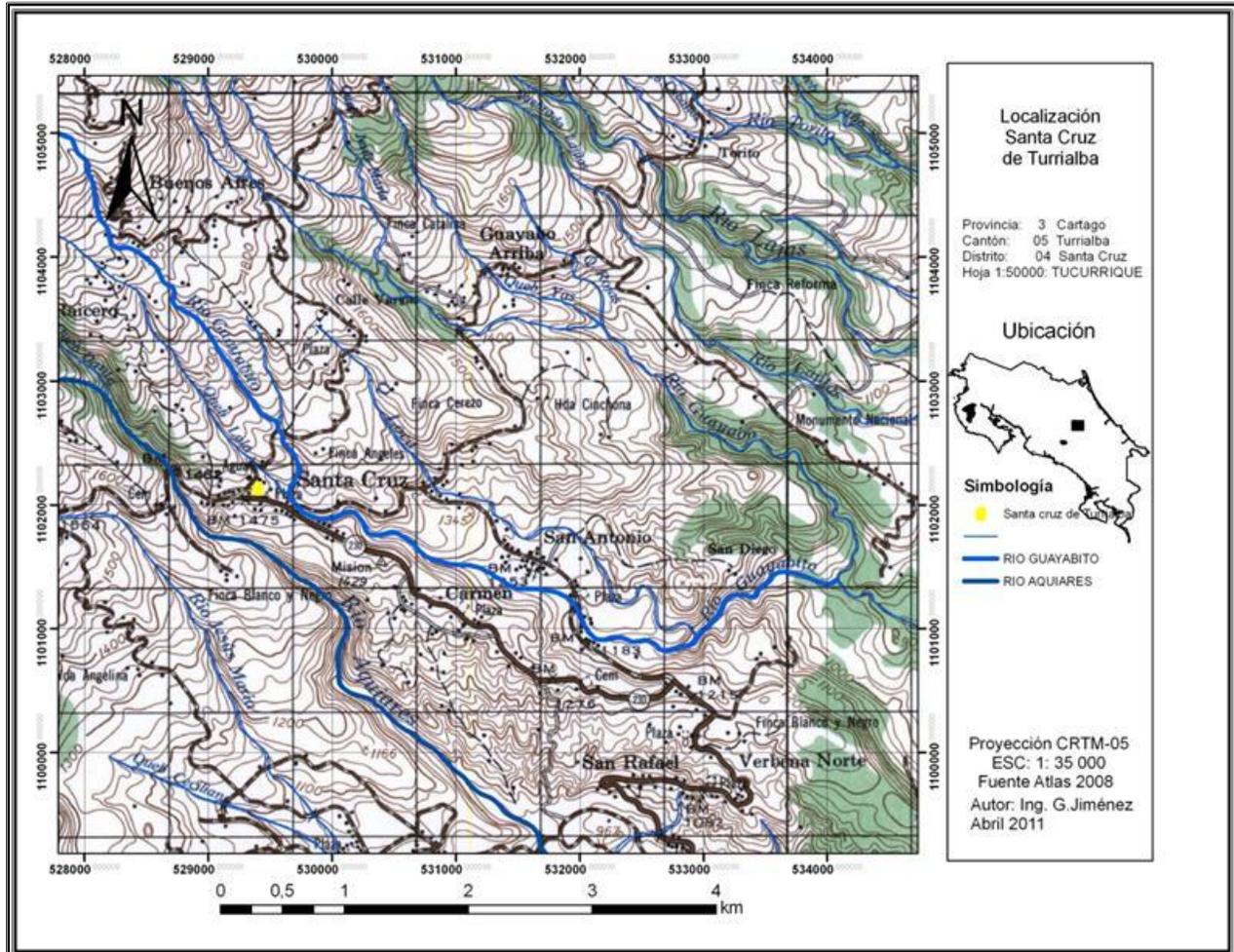
estaciones de estudio aproximadamente a tres kilómetros, una al oeste del cráter y otra en la ruta de las fumarolas del Volcán Turrialba.

Láminas de acero de 1,5 milímetros de espesor, bisagras, llaves y cucharas de cocina, fueron colocadas estratégicamente al aire libre. Cada pieza fue retirada periódicamente en lapsos de uno o dos meses para ser llevada al laboratorio, lavarla y medir la pérdida de peso. De esta manera se determinó que después de solo los primeros dos meses de exposición, las láminas de acero mostraban severos signos de deterioro. Al cumplir ocho meses del estudio, estas láminas presentaban más daños, hasta que finalmente las piezas se dañaron por completo al sobrepasar los 12 meses o un año. Otros materiales como el cobre, reaccionaron de otra manera ya que poseen procesos de deterioro distintos.



Imagen 26: Efectos de la lluvia ácida en alrededores del Volcán Turrialba (Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG, Turrialba 07 de enero de 2010)

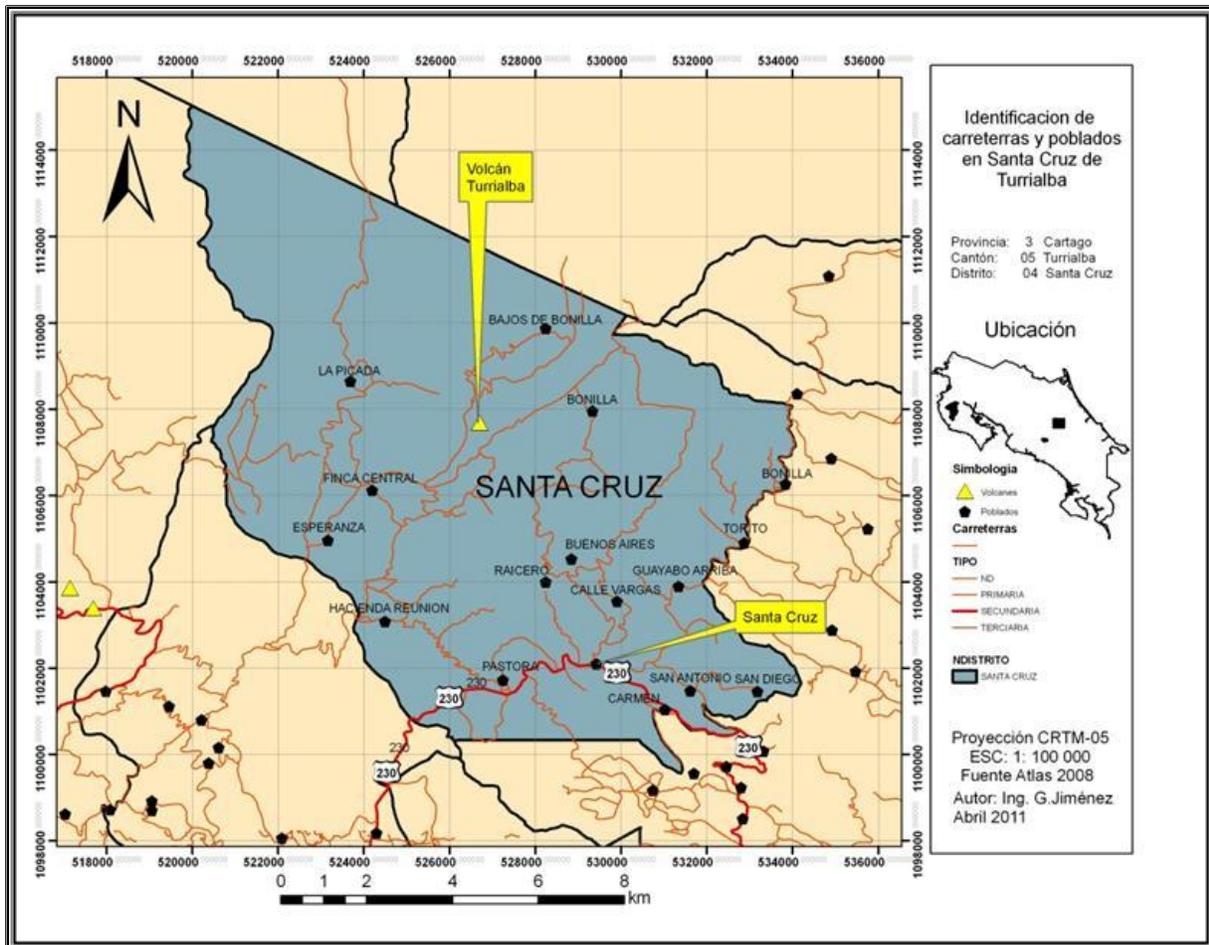
8.2 Mapas de Riesgo



Mapa 11: Riesgo asociado a la topografía y ubicación de ríos (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

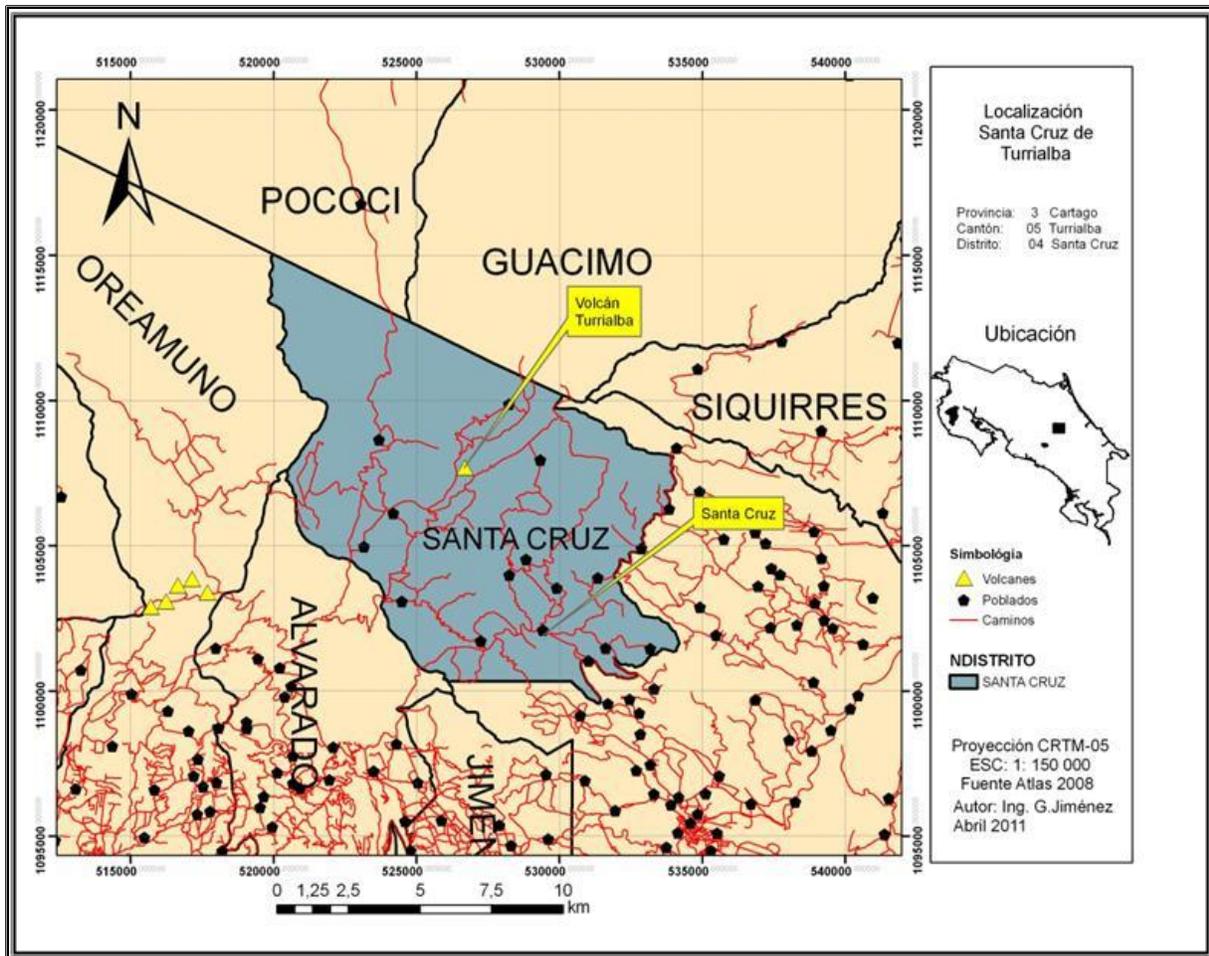
Hacia el norte de los poblados evaluados, se presenta una topografía con una pendiente de hasta 45° en algunas zonas próximas al Volcán Turrialba, lo que podría favorecer el arrastre de material y desbordamiento de los principales ríos de la zona de estudio.

Estas condiciones aplican para efectos provocados por posibles eventos sísmicos y vulcanológicos tales como lahares, avalanchas volcánicas y deslizamientos.



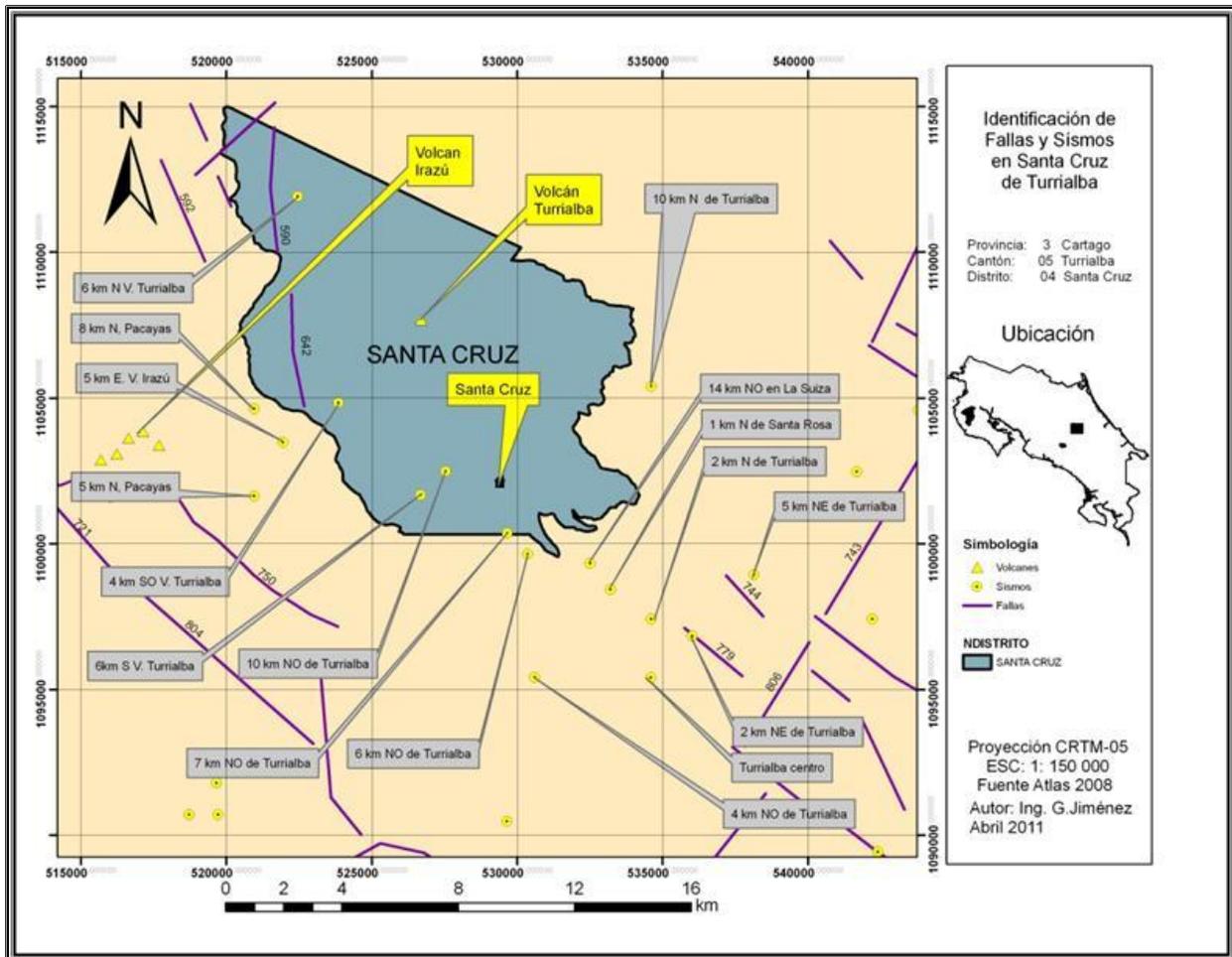
Mapa 12: Riesgo asociado a la ubicación de principales vías terrestres (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

El contar con una única ruta nacional (ruta 230) de acceso al sitio de estudio como se muestra en el mapa 12, con las condiciones de vulnerabilidad de la zona, se incrementa el riesgo debido a los elementos mencionados en el mapa 11 que pueden dañar o derribar los puentes o adicionalmente en caso de sismo colapsar las vías definidas como rutas de evacuación en caso de emergencia. Esta ruta nacional se ubica al extremo sur del distrito de Santa Cruz, desde la cual se logra el acceso directo únicamente a los poblados de El Carmen, Santa Cruz y La Pastora, y deja como única opción de comunicación terrestre a los demás poblados del distrito, la utilización de caminos vecinales.



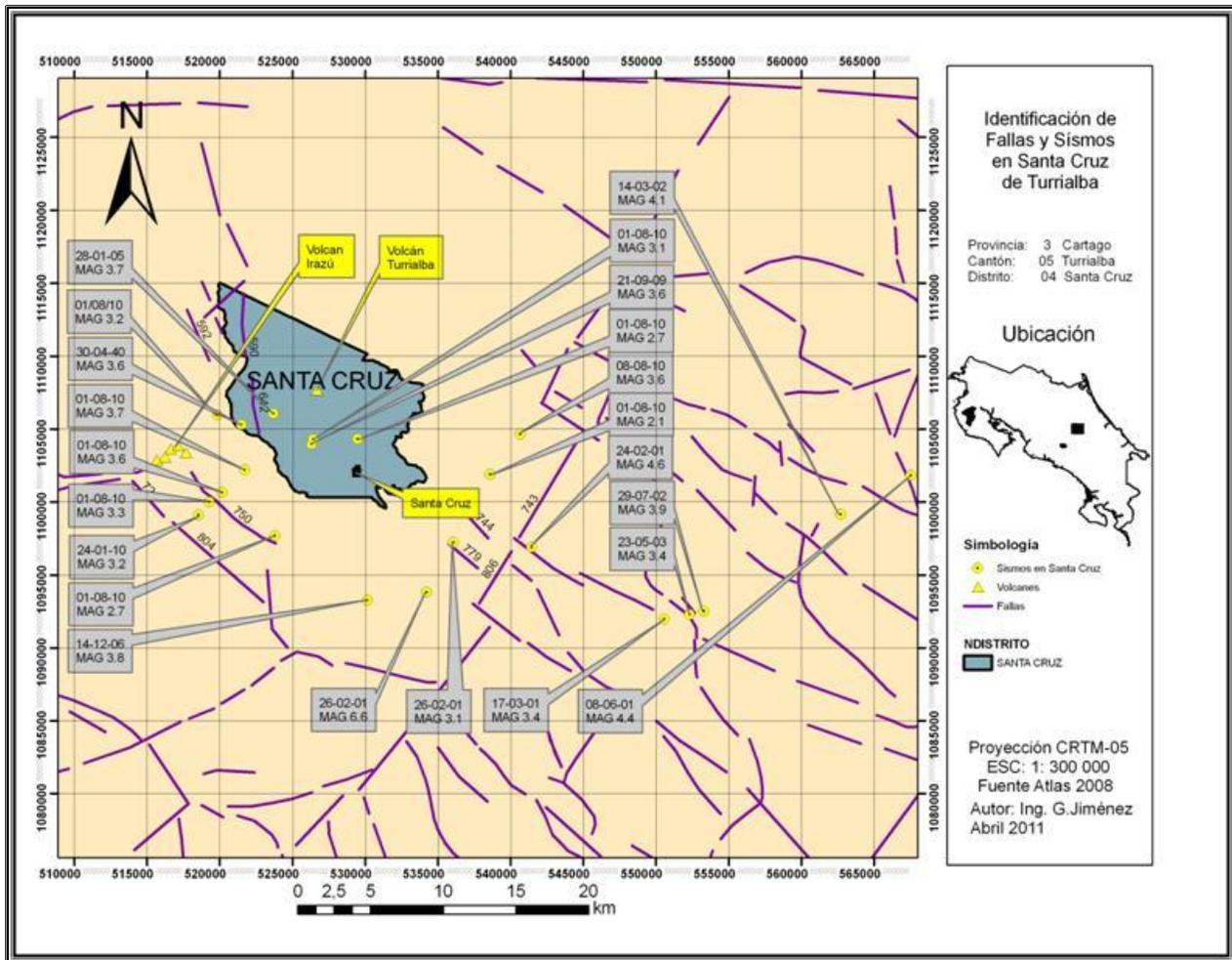
Mapa 13: Riesgo asociado a las vías terrestres de los poblados (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

Existen varios caminos vecinales que comunican los poblados del distrito de Santa Cruz de Turrialba tal y como se evidencia en el mapa 13, sin embargo sus condiciones de mantenimiento y estado actual limitan el acceso únicamente a vehículos de doble tracción que en algunos tramos no logran ingresar, lo que incrementa el riesgo de aislamiento de algunas comunidades en caso de desastre natural. Aparte de su mantenimiento deficiente, estos caminos cuentan con puentes antiguos, algunos de ellos ya podrían haber perdido su capacidad estructural de soporte, al incrementar la vulnerabilidad de la infraestructura de la zona.



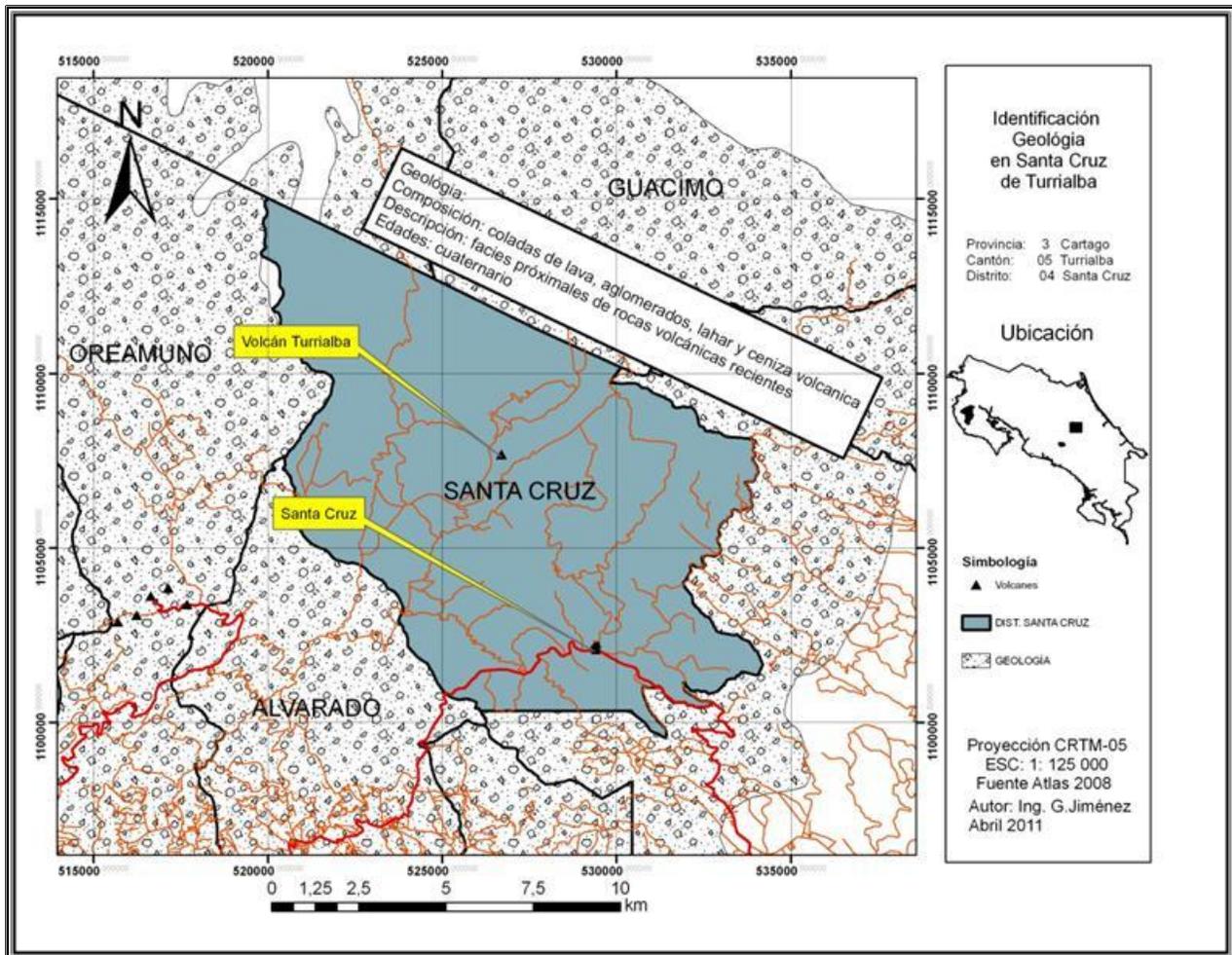
Mapa 14: Riesgo asociado al historial sísmico y su ubicación hasta el año 2008 (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

Con el mapa 14 se logra considerar el historial sísmico de la zona hasta el año 2008, demostrándose el potencial de la amenaza sísmica evaluada en esta investigación. Además se muestran las principales fallas geológicas de la zona, que son el detonante mayoritario de los enjambres de sismos en el lugar de estudio.



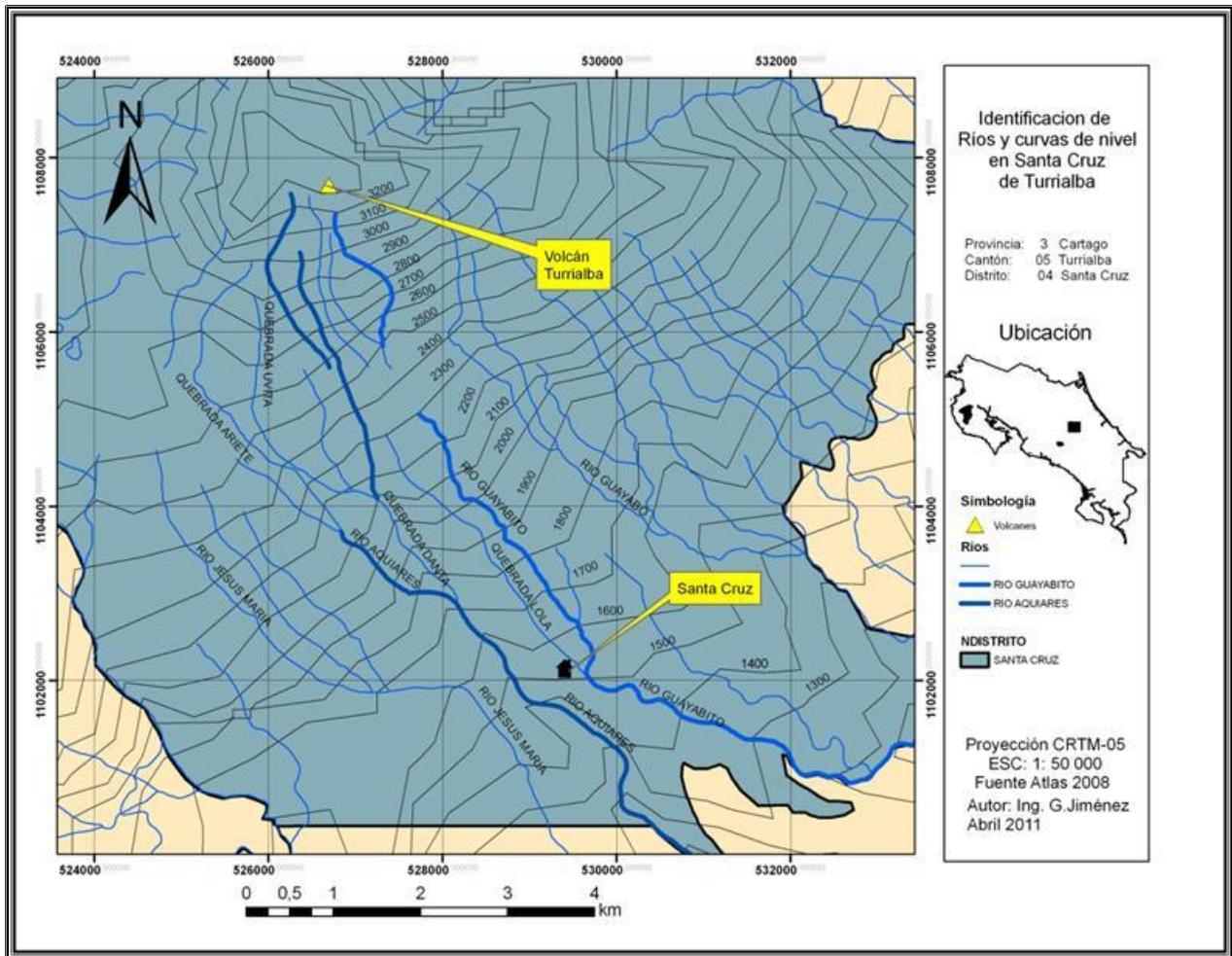
Mapa 15: Riesgo asociado al historial sísmico con magnitud importante cerca de la zona de estudio, período 2001-2010 (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

El mapa anterior resume el historial sísmico cercano a la zona de estudio ocurrido durante el período 2001-2010, que demuestra el potencial de la amenaza sísmica evaluada en el distrito de Santa Cruz de Turrialba para esta investigación. Este mapa incluye las principales fallas geológicas de la zona, en las que fue posible ubicar varios sismos del período mencionado, lo que evidencia la influencia que han tenido sobre la sismicidad del lugar.



Mapa 16: Riesgo asociado a la geología de Santa Cruz de Turrialba (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

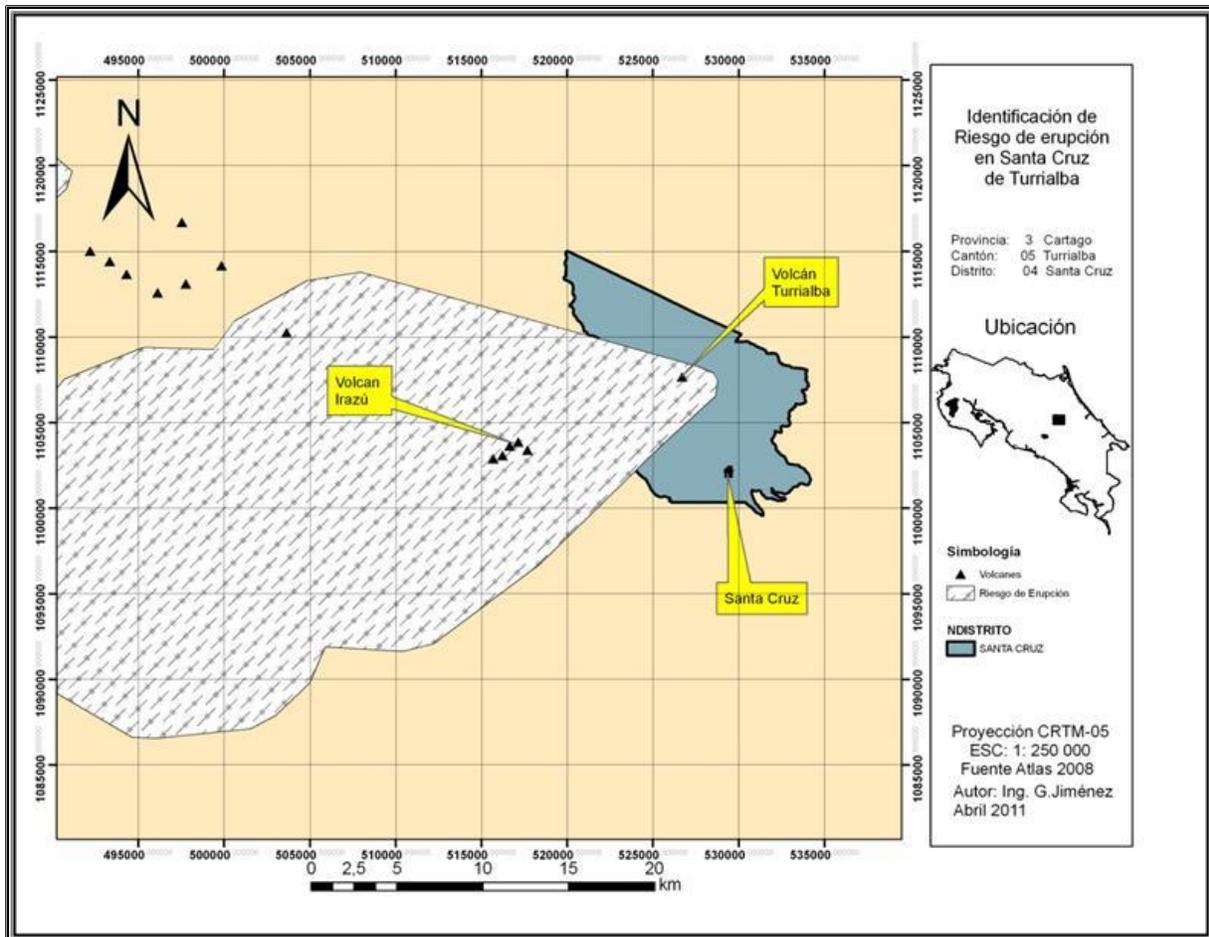
La geología de la zona de estudio, está conformada por rocas del cuaternario y presenta evidencia de depósitos de coladas de lava, lahares y ceniza volcánica, lo que determina el riesgo potencial asociado con la actividad volcánica.



Mapa 17: Riesgo asociado a la ubicación de los ríos (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

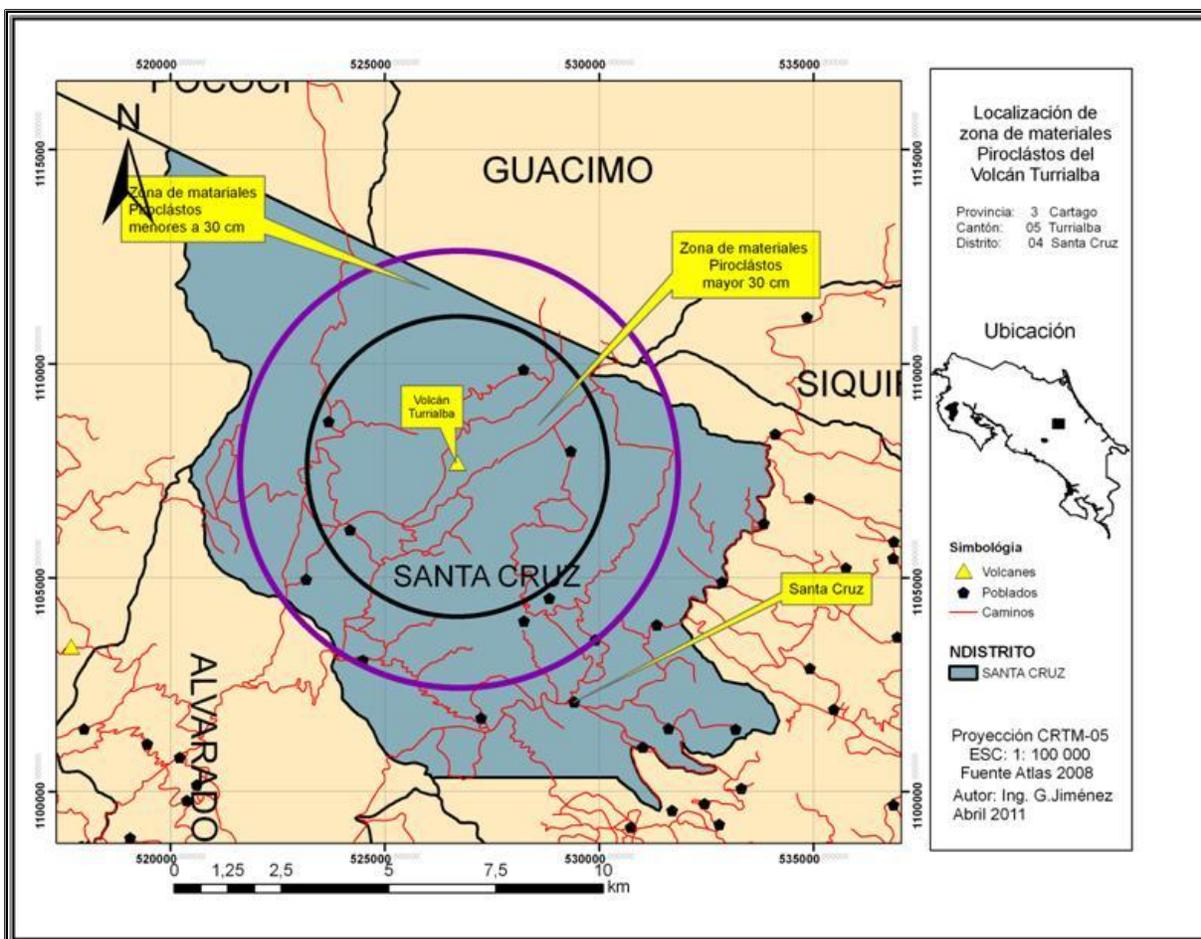
El mapa anterior muestra los principales ríos y quebradas que se encuentran más próximos a los poblados evaluados, lográndose determinar que para la estimación del riesgo de la zona, los Ríos Aquiares y Guayabito son los que determinan el mayor peligro según el estudio realizado.

Ambos ríos incluso, según la literatura consultada presentan evidencias de arrastre de material volcánico, tal es el caso concreto del valle donde se asienta el poblado de Aquiares.



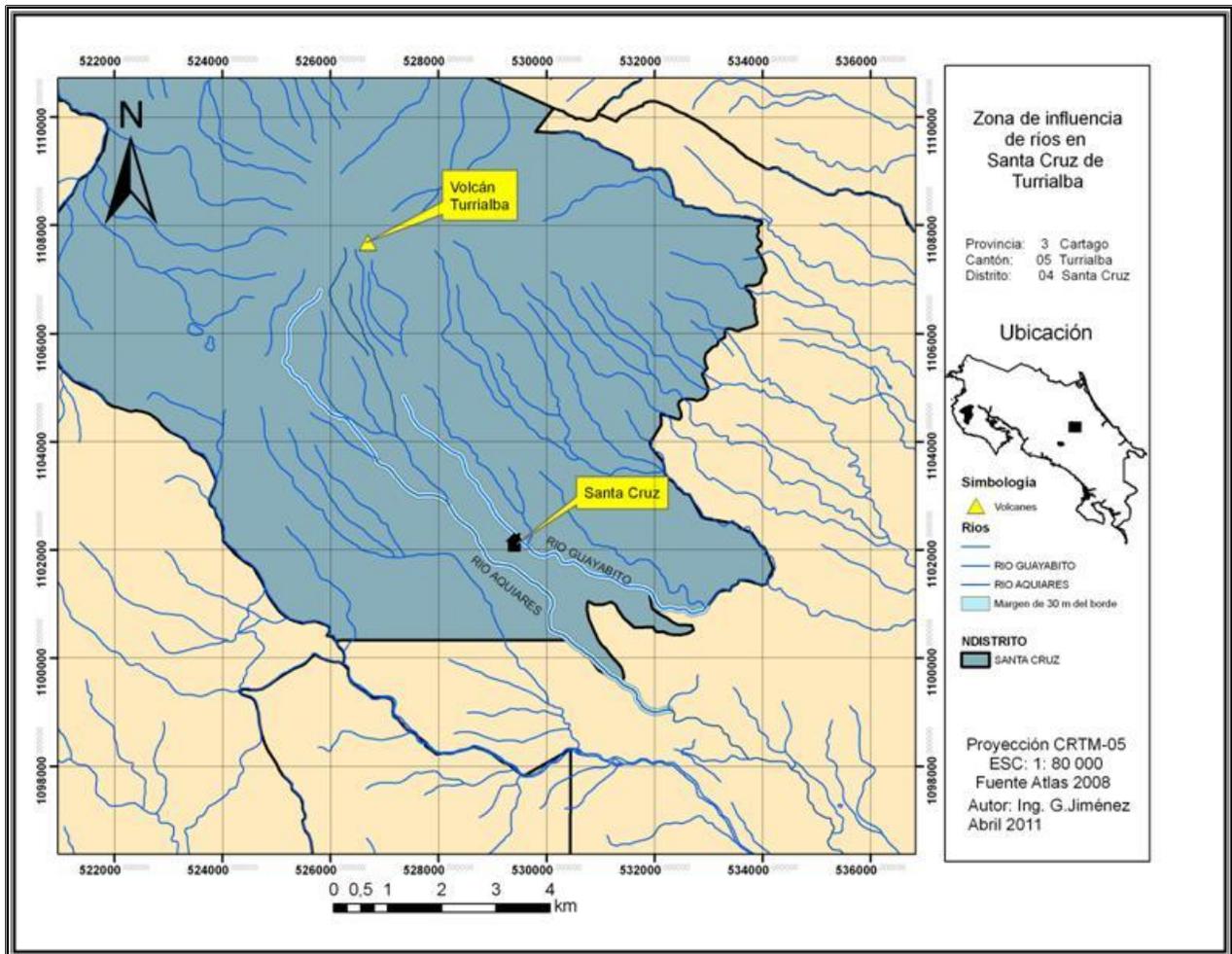
Mapa 18: Riesgo asociado a la caída de cenizas y lluvia ácida en los poblados del distrito de Santa Cruz de Turrialba (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

El mapa 18 es el resultado de un intenso análisis realizado por diversas instituciones, dentro de las cuales se encuentran el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG-INTA), el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI-UNA), Red Sismológica Nacional RSN (ICE-UCR), y otros. Este análisis ha demostrado que debido a los vientos predominantes en nuestro país y el tipo de erupción volcánica monitoreada desde hace varios años, los efectos de la caída de cenizas y lluvia ácida se manifestarán hacia el oeste del Volcán Turrialba, lo que disminuye el riesgo para los restantes poblados del distrito de Santa Cruz.



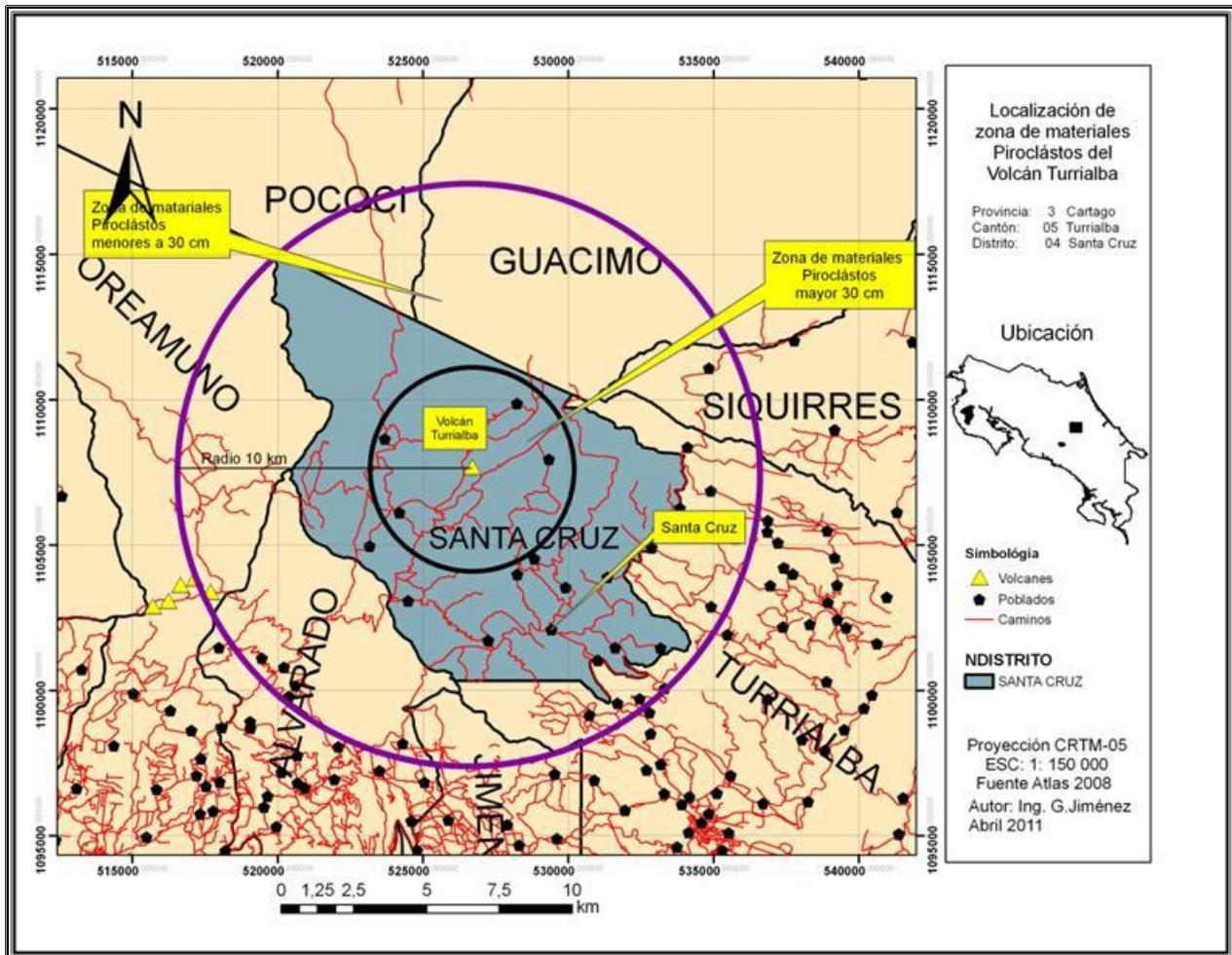
Mapa 19: Riesgo asociado a la caída de material piroclástico (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

De igual manera que en el mapa 18, los estudios realizados por las diversas instituciones mencionadas, así como la literatura consultada, coinciden en que para el caso de erupciones de flujo piroclástico, las zonas que se verían afectadas corresponden a un radio de 3.5 km para el material con tamaño igual o superior a 30 cm, y un radio de 5 km para material de menor tamaño. Con estos datos, se logra determinar que los poblados evaluados quedan fuera de la zona de riesgo por caída de material piroclástico. Los poblados que podrían sufrir afectación de este tipo, se encuentran fuera del alcance de este estudio, sin embargo se pueden identificar en el mapa 12.



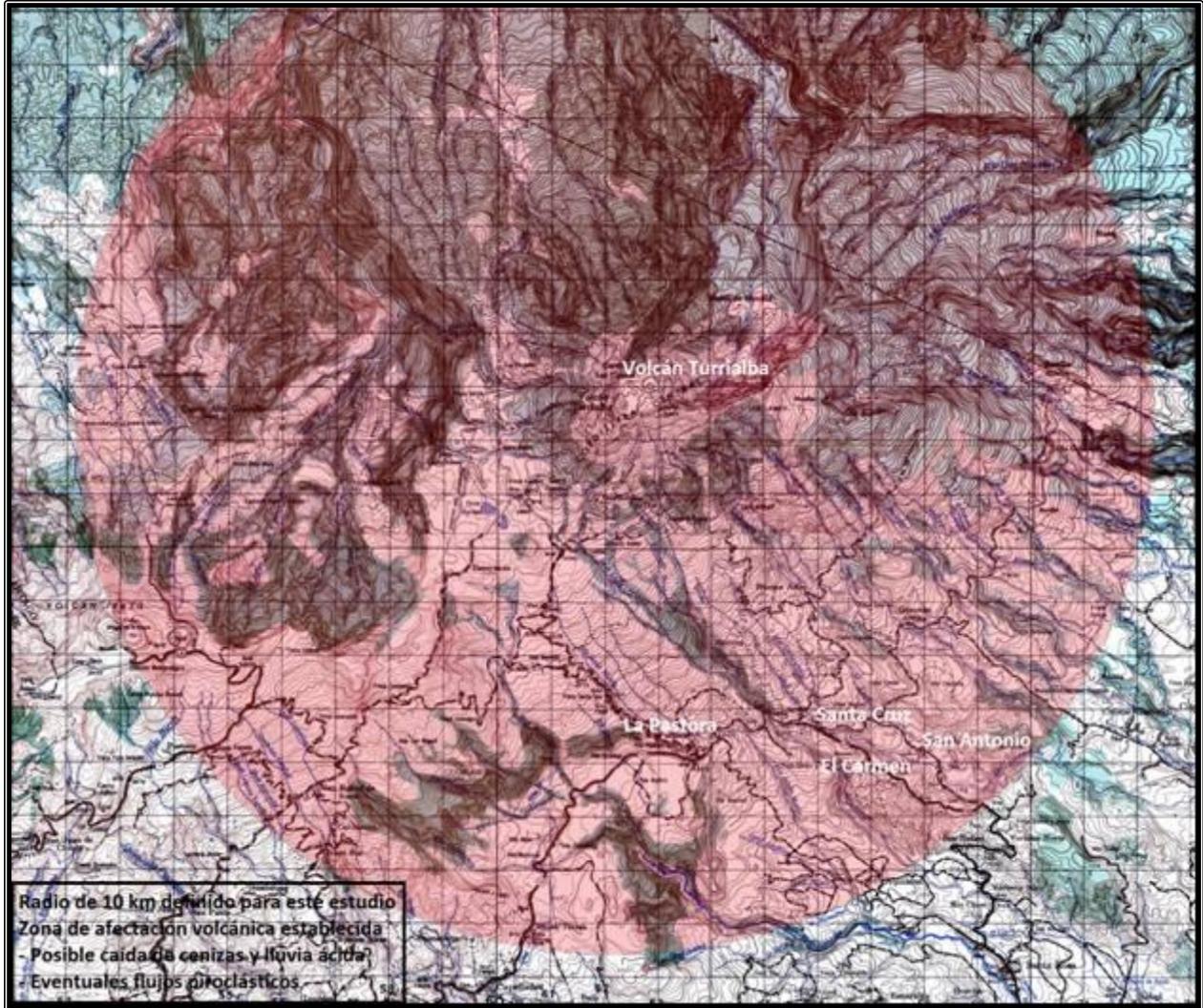
Mapa 20: Riesgo asociado infraestructura ubicada sobre las zonas de protección de los ríos (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

Según se definió anteriormente, los Ríos Aquiares y Guayabito son los que reflejan el mayor riesgo para la infraestructura de las comunidades evaluadas, en las que se determinó que existen construcciones de tipo vivienda sobre todo, que no respetan los 15 metros mínimos que deben estar libres a cada margen de los ríos, al incrementar con ello el riesgo en caso de crecientes provocadas por los posibles factores antes mencionados.



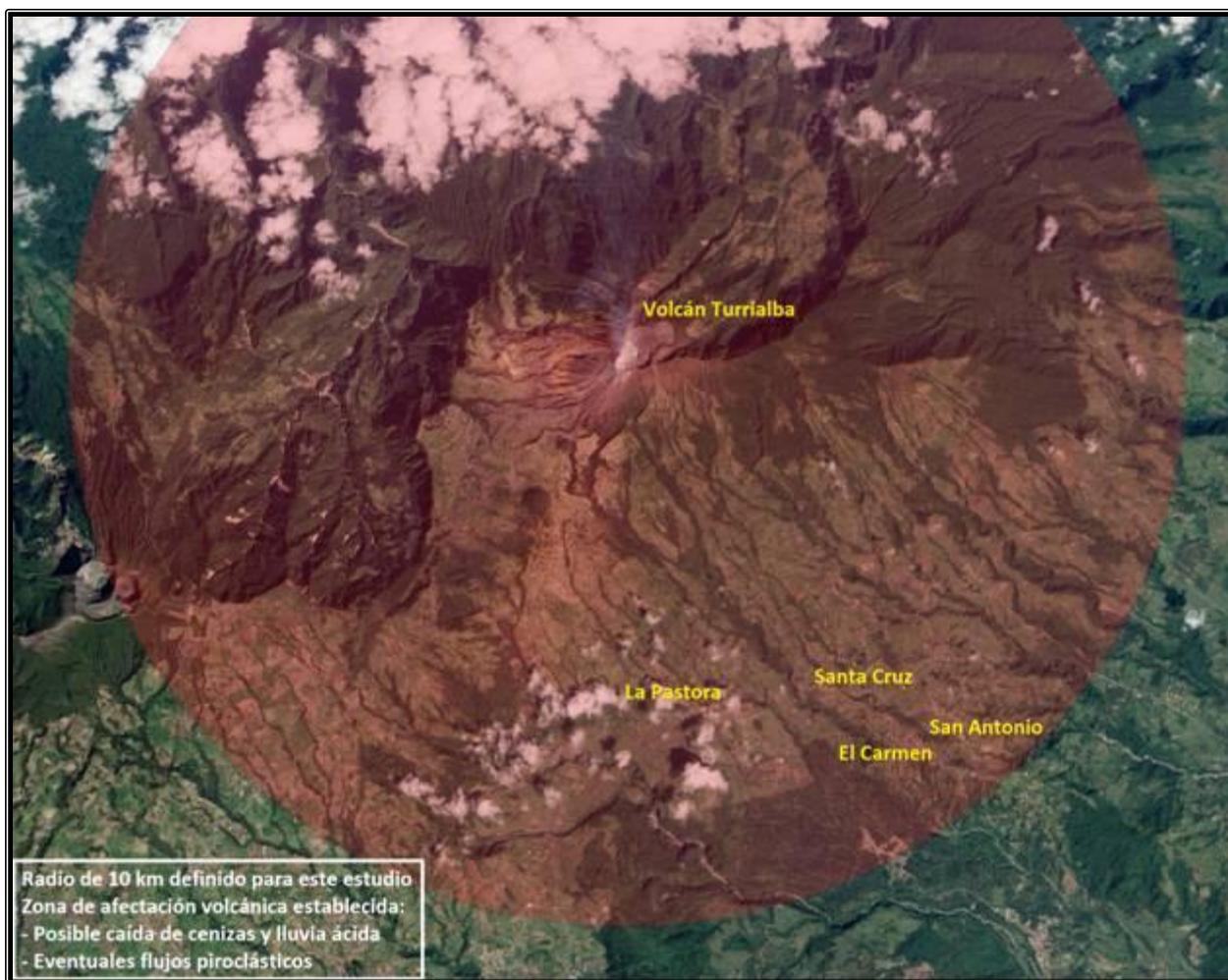
Mapa 21: Riesgo asociado a la caída de cenizas, lluvia ácida y material piroclástico, radio definido para este estudio (Mapa SIG, colaboración Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga-ICE)

Para este estudio se logró determinar un radio de afectación de 10 km para el caso de caída de cenizas, lluvia ácida y erupciones de flujo piroclástico. Las zonas que se verían afectadas por el flujo piroclástico, corresponden con un radio de 3.5 km para el material con tamaño igual o superior a 30 cm, y un radio de hasta 10 km para material de menor tamaño. Este radio contempla los poblados evaluados.



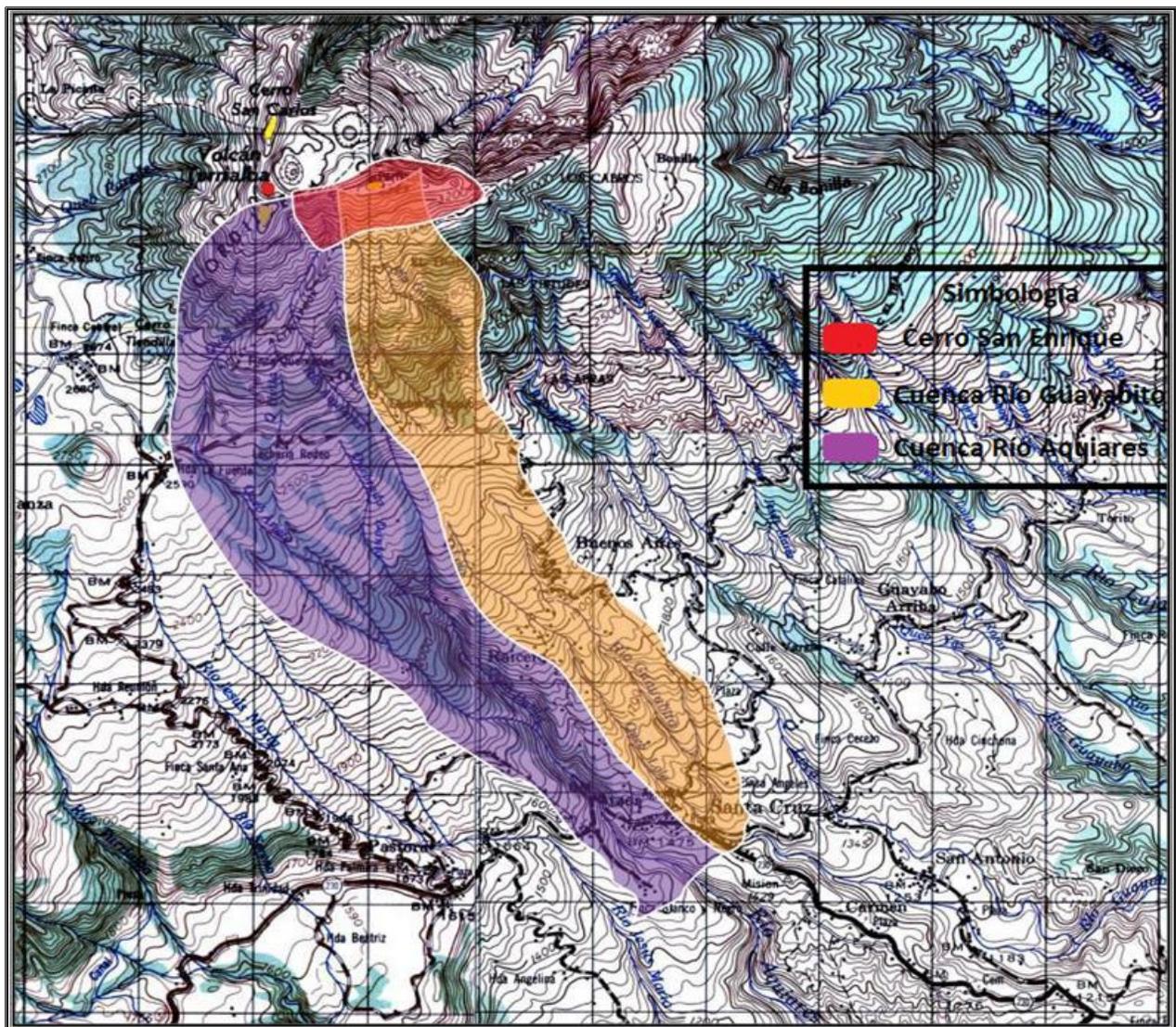
Mapa 22: Afectación volcánica para un radio de 10 kilómetros (Modificado de: Hojas cartográficas escala 1:50.000, colaboración del Sr. Leonardo Malavassi Piedra)

De acuerdo con el análisis de la información histórica de varios estudios revisados, se logró determinar un escenario de riesgo de 10 km de radio para la afectación de posibles caída de cenizas y lluvia ácida, así como la eventual ocurrencia de flujos piroclásticos.



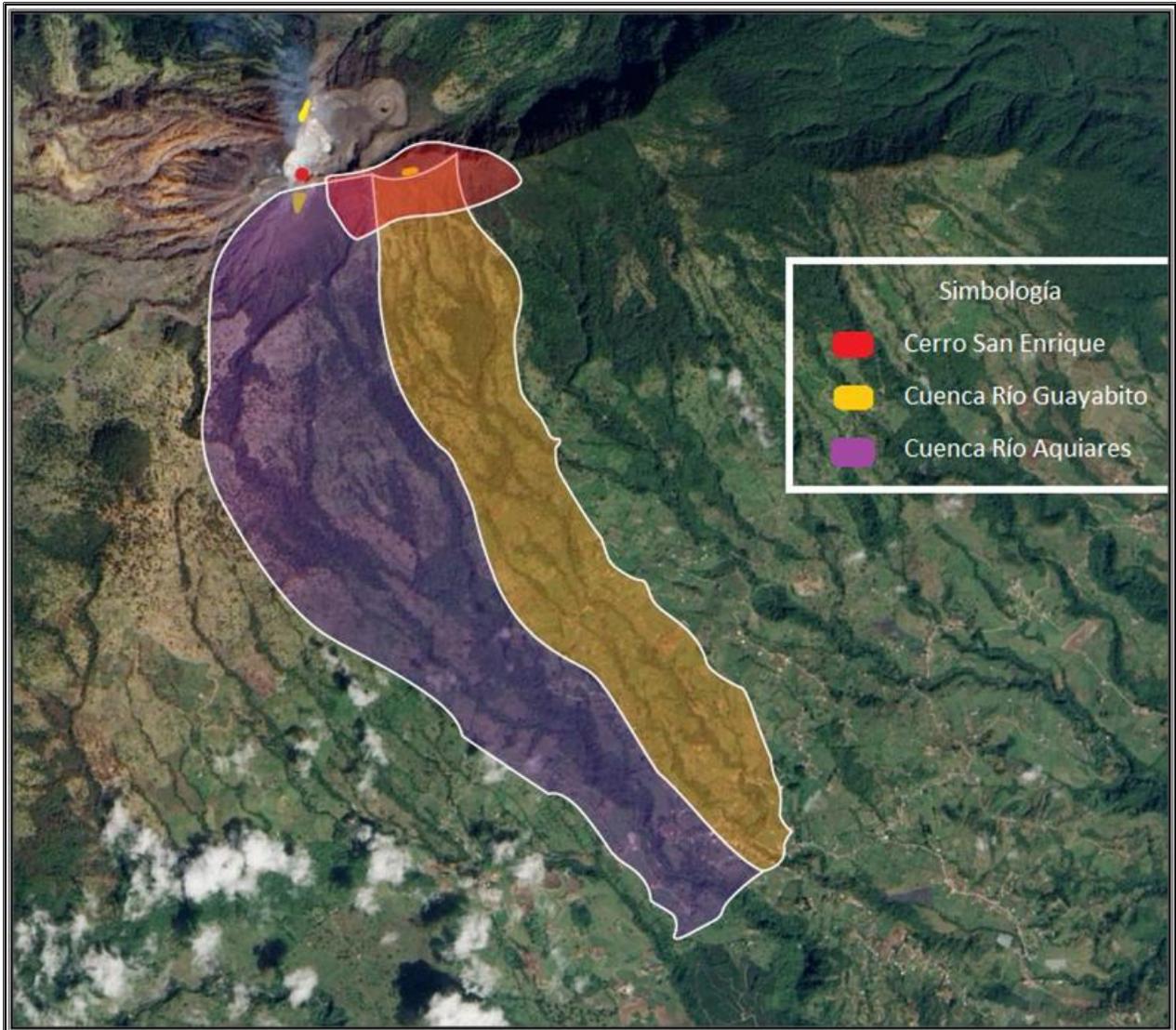
Mapa 23: Afectación Volcánica para un radio de 10 kilómetros (Modificado de: Imagen satelital, NASA Earth Observatory image by Robert Simmon, using EO-1 ALI data provided by the NASA EO-1 team. Caption by Robert Simmon. Instrument: EO-1 – ALI, colaboración del Sr. Leonardo Malavassi Piedra)

Con la determinación de la zona de afectación en el mapa 22, se definen los poblados en estudio y se traslada el área determinada al mapa 23 para una mejor interpretación, con el fin de definir con mayor claridad el riesgo por la afectación volcánica.



Mapa 24: Definición de las cuencas de los Ríos Guayabito y AQUIARES, material del Cerro San Enrique (Modificado de: Hojas cartográficas escala 1:50.000, colaboración del Sr. Leonardo Malavassi Piedra)

Con el fin de evaluar uno de los escenarios de riesgo más críticos, en el que un evento sísmico o vulcanológico se pueda ver incrementado por la acción de las lluvias, o que se produzca el “Efecto Cinchona”, es que se estableció el mapa 24 con la definición de las cuencas de los Ríos Guayabito y AQUIARES, así como la zona del Cerro San Enrique que se encuentra fracturada en el costado sur este del cráter del Volcán Turrialba.



Mapa 25: Definición de las cuencas de los Ríos Guayabito y Aquiares, material del cerro San Enrique (Modificado de: Imagen satelital, NASA Earth Observatory image by Robert Simmon, using EO-1 ALI data provided by the NASA EO-1 team. Caption by Robert Simmon. Instrument: EO-1 – ALI, colaboración del Sr. Leonardo Malavassi Piedra)

Luego de ubicar esas zonas en el mapa 24, se trasladaron al mapa 25 para una mejor interpretación, para lograr establecer la información para realizar los cálculos requeridos que muestren el riesgo por la combinación de estos fenómenos naturales. A continuación se establecen los cálculos pertinentes, así como los perfiles promedio para cada uno de los ríos.

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Guayabito hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 20 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,400	3,300	1,900	7,513	0.25	Pastos y veget. ligera	6,500,000	20	37	65	90	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m3/s) = $\frac{c \cdot i \cdot A}{3,600,000}$				Caudal Q (m3/s) = 81.25							
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos en la cuenca											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Sección del río que ocuparía el material (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	650,000	325,000	0	300	24,375	41,438	41,438	58.47	709	80.44%	7.14
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = <input type="text" value="0%"/>											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$				$V = C\sqrt{R \cdot S}$							
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = <input type="text" value="881"/>											
El perímetro mojado (P, en m) = <input type="text" value="96.81"/>											

Tabla 44: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito con período de retorno de 20 años sin aporte de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Guayabito hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 20 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escurrentía (c)
1,400	3,300	1,900	7,513	0.25	Pastos y veget. ligera	6,500,000	20	37	65	90	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m3/s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$						Caudal Q (m3/s) = 81.25					
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	650,000	325,000	41,250,000	300	24,375	41,291,438	41,438	58.47	706,207	0.1248%	2.14
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = <input type="text" value="25%"/>											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \Rightarrow V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $\Rightarrow R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = <input type="text" value="881"/>											
El perímetro mojado (P, en m) = <input type="text" value="96.81"/>											

Tabla 45: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 20 años con aporte del 25 % de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Guayabito hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 20 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,400	3,300	1,900	7,513	0.25	Pastos y veget. ligera	6,500,000	20	37	65	90	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m3/s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$		➡		Caudal Q (m3/s) = 81.25							
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	650,000	325,000	82,500,000	300	24,375	82,541,438	41,438	58.47	1,411,705	0.0624%	2.14
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 50%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$		➡		$V = C\sqrt{R \cdot S}$							
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico ➡ $R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 881											
El perímetro mojado (P, en m) = 96.81											

Tabla 46: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 20 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Guayabito hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 50 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,400	3,300	1,900	7,513	0.25	Pastos y veget. ligera	6,500,000	50	37	76	103	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m3/s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$						Caudal Q (m3/s) = 92.99					
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos en la cuenca											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Sección del río que ocuparía el material (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	650,000	325,000	0	300	27,896	47,423	47,423	58.47	811	92.06%	7.14
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = <input type="text" value="0%"/>											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \Rightarrow V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $\Rightarrow R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = <input type="text" value="881"/>											
El perímetro mojado (P, en m) = <input type="text" value="96.81"/>											

Tabla 47: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito con período de retorno de 50 años sin aporte de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Guayabito hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 50 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,400	3,300	1,900	7,513	0.25	Pastos y veget. ligera	6,500,000	50	37	76	103	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m3/s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$						Caudal Q (m3/s) = 92.99					
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	650,000	325,000	41,250,000	300	27,896	41,297,423	47,423	58.47	706,309	0.1247%	2.14
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 25%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$						$V = C\sqrt{R \cdot S}$					
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $\Rightarrow R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 881											
El perímetro mojado (P, en m) = 96.81											

Tabla 48: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 50 años con aporte del 25 % de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Guayabito hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 50 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,400	3,300	1,900	7,513	0.25	Pastos y veget. ligera	6,500,000	50	37	76	103	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m3/s) = $\frac{c \cdot i \cdot A}{3,600,000}$		➡		Caudal Q (m3/s) = 92.99							
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	650,000	325,000	82,500,000	300	27,896	82,547,423	47,423	58.47	1,411,808	0.0624%	2.14
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 50%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$		➡		$V = C\sqrt{R \cdot S}$							
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico ➡ $R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 881											
El perímetro mojado (P, en m) = 96.81											

Tabla 49: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 50 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Guayabito hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 100 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,400	3,300	1,900	7,513	0.25	Pastos y veget. ligera	6,500,000	100	37	84	112	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m3/s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$		➡		Caudal Q (m3/s) = 101.11							
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos en la cuenca											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Sección del río que ocuparía el material (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	650,000	325,000	0	300	30,333	51,567	51,567	58.47	882	100.11%	7.14
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = <input type="text" value="0%"/>											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$		➡		$V = C\sqrt{R \cdot S}$							
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico ➡ $R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = <input type="text" value="881"/>											
El perímetro mojado (P, en m) = <input type="text" value="96.81"/>											

Tabla 50: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito con período de retorno de 100 años sin aporte de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Guayabito hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 100 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,400	3,300	1,900	7,513	0.25	Pastos y veget. ligera	6,500,000	100	37	84	112	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m3/s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$		➡		Caudal Q (m3/s) = 101.11							
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	650,000	325,000	41,250,000	300	30,333	41,301,567	51,567	58.47	706,380	0.1247%	2.14
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 25%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$		➡		$V = C\sqrt{R \cdot S}$							
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico ➡ $R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 881											
El perímetro mojado (P, en m) = 96.81											

Tabla 51: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 100 años con aporte del 25 % de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Guayabito hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 100 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,400	3,300	1,900	7,513	0.25	Pastos y veget. ligera	6,500,000	100	37	84	112	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m3/s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$				Caudal Q (m3/s) = 101.11							
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	650,000	325,000	82,500,000	300	30,333	82,551,567	51,567	58.47	1,411,879	0.0624%	2.14
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 50%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$				$V = C\sqrt{R \cdot S}$							
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 881											
El perímetro mojado (P, en m) = 96.81											

Tabla 52: Análisis de riesgo por influencia del Río Guayabito período de retorno de 100 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique

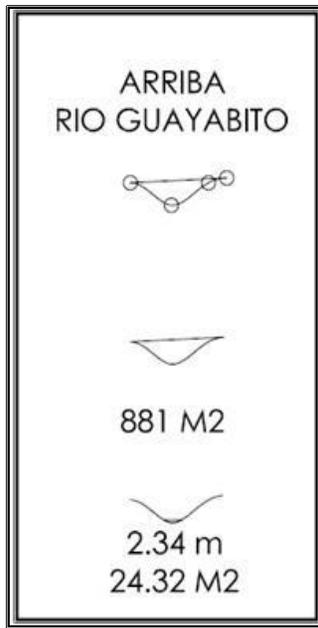


Figura 88: Perfil promedio para estimación de riesgo debido al Río Guayabito

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río AQUIARES hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 20 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,300	3,300	2,000	9,027	0.22	Pastos y veget. ligera	11,000,000	20	37	65	90	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m ³ /s) = $\frac{c \cdot i \cdot A}{3,600,000}$						Caudal Q (m ³ /s) = 137.50					
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos en la cuenca											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Sección del río que ocuparía el material (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	1,100,000	550,000	0	300	41,250	70,125	70,125	73.64	952	33.35%	7.04
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 0%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \Rightarrow V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $\Rightarrow R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 2,855											
El perímetro mojado (P, en m) = 201.55											

Tabla 53: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES con período de retorno de 20 años sin aporte de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río AQUIARES hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 20 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escurrentía (c)
1,300	3,300	2,000	9,027	0.22	Pastos y veget. ligera	11,000,000	20	37	65	90	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m3/s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$						Caudal Q (m3/s) = 137.50					
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	1,100,000	550,000	41,250,000	300	41,250	41,320,125	70,125	73.64	561,072	0.5088%	2.04
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 25%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \Rightarrow V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $\Rightarrow R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 2,855											
El perímetro mojado (P, en m) = 201.55											

Tabla 54: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 20 años con aporte del 25% de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Aquiares hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 20 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,300	3,300	2,000	9,027	0.22	Pastos y veget. ligera	11,000,000	20	37	65	90	0.50
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.											
Caudal Q (m ³ /s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$						Caudal Q (m ³ /s) = 137.50					
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	1,100,000	550,000	82,500,000	300	41,250	82,570,125	70,125	73.64	1,121,192	0.2546%	2.04
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 50%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \Rightarrow V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $\Rightarrow R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 2,855											
El perímetro mojado (P, en m) = 201.55											

Tabla 55: Análisis de riesgo por influencia del Río Aquiares período de retorno de 20 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río AQUIARES hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 50 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,300	3,300	2,000	9,027	0.22	Pastos y veget. ligera	11,000,000	50	37	76	103	0.50
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.											
Caudal Q (m ³ /s) = $\frac{c \cdot i \cdot A}{3,600,000}$  Caudal Q (m ³ /s) = 157.36											
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos en la cuenca											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Sección del río que ocuparía el material (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	1,100,000	550,000	0	300	47,208	80,254	80,254	73.64	1,090	38.17%	7.04
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 0%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \quad \img alt="blue arrow" data-bbox="221 444 274 464"/> \quad V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico  $R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 2,855											
El perímetro mojado (P, en m) = 201.55											

Tabla 56: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 50 años sin aporte de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Aquiares hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 50 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,300	3,300	2,000	9,027	0.22	Pastos y veget. ligera	11,000,000	50	37	76	103	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m ³ /s) = $\frac{c \cdot i \cdot A}{3,600,000}$						Caudal Q (m ³ /s) = 157.36					
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	1,100,000	550,000	41,250,000	300	47,208	41,330,254	80,254	73.64	561,210	0.5087%	2.04
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 25%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \Rightarrow V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $\Rightarrow R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 2,855											
El perímetro mojado (P, en m) = 201.55											

Tabla 57: Análisis de riesgo por influencia del Río Aquiares período de retorno de 50 años con aporte del 25 % de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río Aquiares hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 50 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,300	3,300	2,000	9,027	0.22	Pastos y veget. ligera	11,000,000	50	37	76	103	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m ³ /s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$						Caudal Q (m ³ /s) = 157.36					
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	1,100,000	550,000	82,500,000	300	47,208	82,580,254	80,254	73.64	1,121,329	0.2546%	2.04
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 50%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \Rightarrow V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $\Rightarrow R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 2,855											
El perímetro mojado (P, en m) = 201.55											

Tabla 58: Análisis de riesgo por influencia del Río Aquiares período de retorno de 50 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río AQUIARES hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 100 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Área (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,300	3,300	2,000	9,027	0.22	Pastos y veget. ligera	11,000,000	100	37	84	112	0.50
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.											
Caudal Q (m ³ /s) = $\frac{c \cdot i \cdot A}{3,600,000}$ Caudal Q (m ³ /s) = 171.11											
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos en la cuenca											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Área (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Sección del río que ocuparía el material (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	1,100,000	550,000	0	300	51,333	87,267	87,267	73.64	1,185	41.50%	7.04
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 0%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \quad \img alt="blue arrow" style="vertical-align: middle;"/> \quad V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 2,855											
El perímetro mojado (P, en m) = 201.55											

Tabla 59: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 100 años sin aporte de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río AQUIARES hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 100 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,300	3,300	2,000	9,027	0.22	Pastos y veget. ligera	11,000,000	100	37	84	112	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m ³ /s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$						Caudal Q (m ³ /s) = 171.11					
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	1,100,000	550,000	41,250,000	300	51,333	41,337,267	87,267	73.64	561,305	0.5086%	2.04
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 25%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \Rightarrow V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $\Rightarrow R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 2,855											
El perímetro mojado (P, en m) = 201.55											

Tabla 60: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 100 años con aporte del 25 % de material del Cerro San Enrique

Análisis de riesgo en el distrito de Santa Cruz de Turrialba											
Estimación del caudal Q del Río AQUIARES hasta el poblado de Santa Cruz (Tiempo Retorno = 100 años)											
Punto estudio (MSNM)	Punto más alejado (MSNM)	Elevación (metros)	Longitud (metros)	Pendiente SP (m/m)	Uso del suelo	Area (A) (m ²)	Tiempo retorno (años)	Tiempo concentración (minutos)	Lluvia máxima / 1 hora (mm)	Tormenta de diseño (i)	Coefficiente escorrentía (c)
1,300	3,300	2,000	9,027	0.22	Pastos y veget. ligera	11,000,000	100	37	84	112	0.50
							Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1967.				
Caudal Q (m ³ /s) = $\frac{c * i * A}{3,600,000}$						Caudal Q (m ³ /s) = 171.11					
Escenario crítico para posible evento sísmico o vulcanológico ante precipitaciones importantes											
"Efecto Cinchona" y estimación de aportes de material al río por deslizamientos y un porcentaje del Cerro San Enrique											
Capa vegetal m/m ²	Aporte 10% del Area (m ²)	Material de aporte márgenes del río (m ³)	Aporte del Cerro San Enrique (m ³)	Río represado 5 minutos (seg.)	Agua de aporte (m ³)	Material Total aportado al río (m ³)	Relación, Material (70% del agua) (m ³)	Velocidad según fórmula de Bazin y Chezy (m/s)	Sección del río requerida (m ²)	Material que puede acarrear el río (%)	Tiempo de llegada a Santa Cruz (minutos)
0.50	1,100,000	550,000	82,500,000	300	51,333	82,587,267	87,267	73.64	1,121,425	0.2546%	2.04
Notas:											
Se asume que el "Efecto Cinchona" aporta material en un 10% del área total de la cuenca, con un espesor de 50 centímetros.											
Material total aproximado del Cerro San Enrique (m ³) = 165,000,000											
Porcentaje de aporte del Cerro San Enrique en este caso = 50%											
Para la estimación se asume un represamiento de 5 minutos.											
La relación del material con respecto al agua represada se establece en un 70%.											
Se define velocidad media con la fórmula de Bazin y Chezy, aplicando un factor de fricción por arrastre de material sólido = 0.7											
$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \Rightarrow V = C\sqrt{R \cdot S}$											
donde:											
C = coeficiente de Chezy. Una de las posibles formulaciones de este coeficiente se debe a Bazin											
m = parámetro que depende de la rugosidad de la pared (este caso, canal de tierra muy rugoso, maleza y cantos rodados) = 1.75											
S = la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m											
V = velocidad media del agua en m/s											
R = radio hidráulico $\Rightarrow R = \frac{A}{P}$ El área mojada (A, en m ²) = 2,855											
El perímetro mojado (P, en m) = 201.55											

Tabla 61: Análisis de riesgo por influencia del Río AQUIARES período de retorno de 100 años con aporte del 50 % de material del Cerro San Enrique

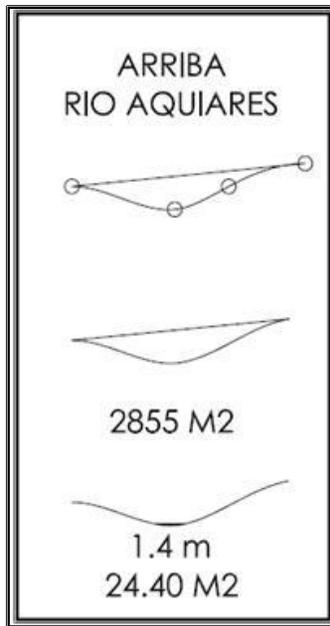


Figura 89: Perfil promedio para estimación de riesgo debido al Río Aquiares

Con los cálculos realizados para los períodos de retorno de veinte, cincuenta y cien años, se establece que en caso de sismo que provoque el “Efecto Cinchona”, un 10% del área total de la cuenca de cada río, estaría aportando material de la capa vegetal con un espesor de 50 cm, esto generaría un represamiento del río que se definió para cinco minutos. Se asume que una vez liberado el represamiento el material estará conformado por el agua del caudal estimado más el 50% de ese dato en material aportado, se podría determinar según los perfiles promedio de los ríos que:

Para el caso del Río Aquiares, el porcentaje máximo de ocupación del río sería de un 41,5%, para un período de retorno de cien años.

En el caso del Río Guayabito el porcentaje de ocupación para un período de retorno de cien años sería de 100,11%, lo que provocaría el desbordamiento del río.

Otros dos escenarios se establecen evaluados para cada río en los tres períodos de retorno mencionados, en los que se estima la suma del aporte de material de un 25% y 50% respectivamente del Cerro San Enrique ubicado al sureste del cráter principal del Volcán Turrialba. En estos seis escenarios la capacidad de cada uno de los ríos para mantener el material encausado no alcanza siquiera el 1%, lo que supone un desbordamiento total de los ríos en las zonas más próximas al Volcán Turrialba al ocasionar la posible afectación de los poblados en estudio.

Los datos obtenidos del cálculo reflejan un dato alarmante, sobre todo si se tiene presente que ambos ríos presentan tramos en los que el perfil se estrecha y el material podría alcanzar alturas considerables. Esto es muy claro en los tres puentes evaluados en el poblado de Santa Cruz, cuyas imágenes se encuentran en la sección de anexos.

8.3 Estimación de posibles pérdidas económicas

Para determinar el valor por tipo de edificación, se tomó en cuenta el dato del “Manual de valores base unitarios por tipología constructiva” para el año 2007, por lo que fue necesario actualizar su valor por medio de la siguiente tabla:

ÍNDICE DE PRECIOS DE INSUMOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA, BASE ENERO 1976			ÍNDICE DE PRECIOS DE INSUMOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS, BASE ENERO 1976		
Índice y variación porcentual mensual Enero 2008 - Febrero 2011			Índice y variación porcentual mensual Enero 2008 - Febrero 2011		
Año	Mes	Variación (%)	Año	Mes	Variación (%)
2008	Enero	3,88	2008	Enero	5,02
2008	Febrero	1,72	2008	Febrero	0,85
2008	Marzo	1,15	2008	Marzo	0,63
2008	Abril	1,91	2008	Abril	1,19
2008	Mayo	2,34	2008	Mayo	1,53
2008	Junio	1,61	2008	Junio	1,42
2008	Julio	4,94	2008	Julio	5,24
2008	Agosto	2,03	2008	Agosto	1,75
2008	Septiembre	0,46	2008	Septiembre	0,14
2008	Octubre	0,24	2008	Octubre	0,35
2008	Noviembre	-0,36	2008	Noviembre	- 0,30
2008	Diciembre	-2,15	2008	Diciembre	0,03
2009	Enero	-0,64	2009	Enero	1,63
2009	Febrero	-0,50	2009	Febrero	- 0,32
2009	Marzo	-0,18	2009	Marzo	- 0,11
2009	Abril	-0,04	2009	Abril	- 0,32
2009	Mayo	0,07	2009	Mayo	0,00
2009	Junio	0,24	2009	Junio	0,34
2009	Julio	0,01	2009	Julio	1,19
2009	Agosto	0,40	2009	Agosto	0,60
2009	Septiembre	0,27	2009	Septiembre	0,58
2009	Octubre	-1,13	2009	Octubre	- 0,24
2009	Noviembre	-0,15	2009	Noviembre	0,12
2009	Diciembre	0,00	2009	Diciembre	- 0,21
2010	Enero	1,28	2010	Enero	2,16
2010	Febrero	0,13	2010	Febrero	0,10
2010	Marzo	0,03	2010	Marzo	0,65
2010	Abril	0,03	2010	Abril	0,18
2010	Mayo	0,02	2010	Mayo	- 0,09
2010	Junio	0,00	2010	Junio	0,05
2010	Julio	1,28	2010	Julio	1,48
2010	Agosto	-0,30	2010	Agosto	- 0,12
2010	Setiembre	0,01	2010	Septiembre	0,02
2010	Octubre	0,02	2010	Octubre	0,04
2010	Noviembre	0,00	2010	Noviembre	0,07
2010	Diciembre	0,10	2010	Diciembre	- 0,06
2011	Enero	0,71	2011	Enero	1,22
2011	Febrero	1,38	2011	Febrero	0,52

Fuente: INEC, Unidad de Indices de Precios

Acumulado %	20,81	Acumulado %	27,34
Promedio incremento a febrero 2011	24,08		

Tabla 62: Inflación para insumos de construcción período enero 2008 a febrero 2011

Con estos datos se logró determinar el costo de la infraestructura del distrito de Santa Cruz de Turrialba como se muestra:

Tabla de clasificación de construcciones														
Evaluación de Construcciones														
Santa Cruz, Turrilalba														
Código zona	Utilización	Clasificación	Niveles	Años de construida	Tipo de Construcción	Código LANAMI	Dimensión	Unidad	Valor unitario 2007	Valor 2011 (25% inflación)	Valor Total	Valor conten. edificaciones	Vida útil (años)	Índice de vida útil (IVU)
SC-1	Lechería	Industrial	1	30	Metal y zócalo	S2	1500	m ²	\$105.000	\$131.250	\$196.875.000	\$35.070.000	40	0,25
SC-2	Vivienda	Residencial	2	20	Mampostería, madera	W2	150	m ²	\$220.000	\$275.000	\$41.250.000	\$3.750.000	50	0,60
SC-3	Hotel	Comercial	3	8	Mampostería, madera y metal	RM1	2000	m ²	\$310.000	\$387.500	\$775.000.000	\$50.000.000	60	0,87
SC-4	Bodega veterinaria	Industrial	1	20	Zócalo	URM	80	m ²	\$195.000	\$243.750	\$19.500.000	\$4.000.000	60	0,67
SC-5	Tanque de agua	Línea Vital	1	12	Concreto	C1	65	m ³	\$216.000	\$216.000	\$14.040.000	\$0	60	0,80
SC-6	Tubería acueducto	Línea Vital	1	12	PVC	--	3	km	\$6.100.000	\$7.625.000	\$22.875.000	\$0	30	0,60
SC-7	Escuela	Educacional	1	6	Zócalo y prefabricada	PC1	800	m ²	\$220.000	\$275.000	\$220.000.000	\$8.000.000	50	0,88
SC-8	Escuela / abandonada	Educacional	1	124	Zócalo	W1	500	m ²	\$120.000	\$150.000	\$75.000.000	\$0	100	-0,24
SC-9	Iglesia	Centro Comunal	1	35	Mampostería	RM1	500	m ²	\$250.000	\$250.000	\$125.000.000	\$5.000.000	60	0,42
SC-10	Centro de salud	Línea Vital	1	25	Mampostería	RM1	250	m ²	\$195.000	\$243.750	\$60.937.500	\$5.000.000	60	0,58
SC-11	Vivienda	Residencial	1	45	Madera	W1	100	m ²	\$130.000	\$162.500	\$16.250.000	\$2.500.000	40	-0,13
SC-12	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	RM1	120	m ²	\$220.000	\$275.000	\$33.000.000	\$3.000.000	60	0,67
SC-13	Tanque quiebra gradientes	Línea Vital	1	45	Concreto	C1	6	m ³	\$216.000	\$216.000	\$1.296.000	\$0	60	0,25
SC-14	Central telefónica	Línea Vital	1	8	Mampostería	RM1	50	m ²	\$195.000	\$243.750	\$12.187.500	\$200.000.000	60	0,87
SC-15	Torre de telecomunicaciones	Línea Vital	1	8	Metal	S2	1	c/u	\$50.000.000	\$50.000.000	\$50.000.000	\$0	60	0,87
SC-16	Puente 1 Río Guayabito	Línea Vital	1	70	Concreto	C1	30	m ³	\$216.000	\$216.000	\$6.480.000	\$0	60	-0,17
SC-17	Camino acceso a San Antonio	Línea Vital	1	1	Lastre	--	4	km	\$22.400.000	\$28.000.000	\$112.000.000	\$0	5	0,80
SC-18	Oficina de Acueducto	Comercial	1	15	Prefabricado	PC1	56	m ²	\$195.000	\$243.750	\$13.650.000	\$1.120.000	60	0,75
SC-19	Líneas telefónicas	Línea Vital	1	20	Madera	W1	6	km	\$4.000.000	\$4.000.000	\$24.000.000	\$0	40	0,50
SC-20	Carretera acceso a La Pastora	Línea Vital	1	20	Asfalto	--	2	km	\$49.000.000	\$61.250.000	\$122.500.000	\$0	15	-0,33
SC-21	Vivienda	Residencial	1	5	Mampostería	RM1	64	m ²	\$160.000	\$200.000	\$12.800.000	\$1.600.000	50	0,90
SC-22	Salón parroquial antiguo	Centro Comunal	1	70	Madera, zócalo	W1	500	m ²	\$105.000	\$131.250	\$65.625.000	\$0	40	-0,75
SC-23	Salón parroquial nuevo	Centro Comunal	1	0	Mampostería	RM1	300	m ²	\$200.000	\$250.000	\$75.000.000	\$1.500.000	60	1,00
SC-24	Puente 2 Río Guayabito	Línea Vital	1	70	Concreto	C1	24	m ³	\$216.000	\$216.000	\$5.184.000	\$0	60	-0,17
SC-25	Salón comunal	Centro Comunal	1	40	Mampostería	RM1	370	m ²	\$170.000	\$212.500	\$78.625.000	\$1.850.000	50	0,20
SC-26	Puente Río Acajales	Línea Vital	1	60	Concreto	C1	35	m ³	\$216.000	\$216.000	\$7.560.000	\$0	60	0,00
SC-27	Vivienda	Residencial	1	55	Madera	W1	49	m ²	\$130.000	\$162.500	\$17.912.500	\$1.125.000	40	-0,38
SC-28	Bar	Comercial	1	45	Madera	W1	140	m ²	\$105.000	\$131.250	\$18.375.000	\$2.100.000	40	-0,13
SC-29	Centro Comercial	Comercial	1	9	Mampostería	RM1	120	m ²	\$185.000	\$231.250	\$27.750.000	\$6.000.000	50	0,82
SC-30	Vivienda	Residencial	2	25	Mampostería	RM1	220	m ²	\$160.000	\$200.000	\$44.000.000	\$5.500.000	50	0,50
SC-31	Vivienda / Taller	Residencial / Comercial	2	25	Madera, metal	S1	230	m ²	\$160.000	\$200.000	\$46.000.000	\$5.750.000	50	0,50
SC-32	Vivienda	Residencial	1	25	Mampostería	RM1	80	m ²	\$195.000	\$243.750	\$19.500.000	\$2.000.000	60	0,58
SC-33	Agro-veterinaria	Comercial	1	22	Mampostería	RM1	48	m ²	\$160.000	\$200.000	\$9.600.000	\$3.000.000	50	0,56
SC-34	Ferretería	Comercial	1	19	Zócalo	W1	84	m ²	\$105.000	\$131.250	\$11.025.000	\$10.000.000	40	0,53
SC-35	Líneas Eléctricas	Línea Vital	1	10	Prefabricado	PC1	10	km	\$23.000.000	\$23.000.000	\$23.000.000	\$0	40	0,75
EC-1	Vivienda	Residencial	1	40	Madera	W1	80	m ²	\$130.000	\$162.500	\$13.000.000	\$2.000.000	40	0,00
EC-2	Vivienda	Residencial	1	15	Mampostería	RM1	100	m ²	\$220.000	\$275.000	\$27.500.000	\$2.500.000	60	0,75
EC-3	Iglesia	Centro Comunal	1	25	Mampostería	RM1	120	m ²	\$200.000	\$250.000	\$30.000.000	\$1.200.000	60	0,58
EC-4	Escuela	Educacional	1	20	Mampostería	RM1	350	m ²	\$220.000	\$275.000	\$96.250.000	\$3.500.000	50	0,60
EC-5	Abastecedor	Comercial	1	35	Madera	W1	50	m ²	\$105.000	\$131.250	\$6.562.500	\$4.000.000	40	0,13
EC-6	Salón Parroquial	Centro Comunal	1	35	Madera y metal	W1	80	m ²	\$105.000	\$131.250	\$10.500.000	\$400.000	40	0,13
EC-7	Vivienda	Residencial	1	20	Prefabricado	PC1	60	m ²	\$160.000	\$200.000	\$12.000.000	\$1.500.000	50	0,60
EC-8	Vivienda	Residencial	1	18	Prefabricado	PC1	64	m ²	\$160.000	\$200.000	\$12.800.000	\$1.600.000	50	0,64
EC-9	Vivienda	Residencial	1	16	Prefabricado	PC1	54	m ²	\$160.000	\$200.000	\$10.800.000	\$1.350.000	50	0,68
EC-10	Vivienda	Residencial	1	17	Prefabricado	PC1	72	m ²	\$160.000	\$200.000	\$11.400.000	\$1.800.000	50	0,66
EC-11	Cancha Escuela	Educacional	1	20	Concreto	C1	180	m ²	\$15.000	\$18.750	\$1.375.000	\$0	20	0,00
EC-12	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	15	Prefabricado	PC1	6	km	\$23.000.000	\$23.000.000	\$138.000.000	\$0	40	0,63
EC-13	Carretera acceso Santa Cruz	Línea Vital	1	20	Asfalto	--	3	km	\$49.000.000	\$61.250.000	\$183.750.000	\$0	15	-0,33
EC-14	Salón de actos	Educacional	1	20	Mampostería	RM1	80	m ²	\$130.000	\$162.500	\$13.000.000	\$400.000	40	0,50
EC-15	Vivienda	Residencial	2	25	Mampostería, madera	RM1	190	m ²	\$160.000	\$200.000	\$38.000.000	\$4.750.000	50	0,50
SA-1	Escuela	Educacional	1	35	Mampostería y metal	RM1	250	m ²	\$220.000	\$275.000	\$68.750.000	\$2.500.000	50	0,30
SA-2	Iglesia	Centro Comunal	1	90	Madera, Metal	W2	350	m ²	\$200.000	\$250.000	\$87.500.000	\$3.500.000	60	-0,50
SA-3	Vivienda	Residencial	1	10	Prefabricado	PC1	56	m ²	\$160.000	\$200.000	\$11.200.000	\$1.400.000	50	0,80
SA-4	Vivienda	Residencial	1	12	Prefabricado	PC1	56	m ²	\$160.000	\$200.000	\$11.200.000	\$1.400.000	50	0,76
SA-5	Vivienda	Residencial	1	15	Prefabricado	PC1	64	m ²	\$160.000	\$200.000	\$12.800.000	\$1.600.000	50	0,70
SA-6	Vivienda	Residencial	1	9	Prefabricado	PC1	72	m ²	\$160.000	\$200.000	\$11.400.000	\$1.800.000	50	0,82
SA-7	Vivienda	Residencial	1	11	Prefabricado	PC1	64	m ²	\$160.000	\$200.000	\$12.800.000	\$1.600.000	50	0,78
SA-8	Vivienda	Residencial	1	30	Madera	W1	60	m ²	\$130.000	\$162.500	\$9.750.000	\$1.500.000	40	0,25
SA-9	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	RM1	70	m ²	\$160.000	\$200.000	\$14.000.000	\$1.750.000	50	0,60
SA-10	Vivienda	Residencial	1	15	Madera, fibrolit	W1	64	m ²	\$160.000	\$200.000	\$12.800.000	\$1.600.000	50	0,70
SA-11	Salón Parroquial	Centro Comunal	1	50	Mampostería y madera	RM1	240	m ²	\$105.000	\$131.250	\$31.500.000	\$1.200.000	40	-0,25
SA-12	Taller	Comercial	1	20	Metal	S2	260	m ²	\$105.000	\$131.250	\$134.250.000	\$3.000.000	40	0,50
SA-13	Camino acceso a Verbena Norte	Línea Vital	1	12	Asfalto	--	2	km	\$49.000.000	\$61.250.000	\$122.500.000	\$0	15	0,20
SA-14	Camino acceso por Santa Cruz	Línea Vital	1	5	Lastre	--	2	km	\$22.400.000	\$28.000.000	\$56.000.000	\$0	5	0,00
SA-15	Puente 3 Río Guayabito	Línea Vital	1	60	Concreto	C1	50	m ³	\$216.000	\$216.000	\$10.800.000	\$0	60	0,00
SA-16	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	RM1	65	m ²	\$160.000	\$200.000	\$13.000.000	\$1.625.000	50	0,60
SA-17	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	18	Prefabricado	PC1	8	km	\$23.000.000	\$23.000.000	\$184.000.000	\$0	40	0,55
SA-18	Tanque Quiebra Gradientes	Línea Vital	1	22	Concreto	C1	5	m ³	\$216.000	\$216.000	\$1.080.000	\$0	60	0,63
SA-19	Salón Comunal	Centro Comunal	1	20	Mampostería	RM1	220	m ²	\$170.000	\$212.500	\$46.750.000	\$1.100.000	50	0,60
SA-20	Oficina	Comercial	2	20	Mampostería	RM1	140	m ²	\$195.000	\$243.750	\$34.125.000	\$2.800.000	60	0,67
SA-21	Vivienda / pulpería	Comercial / Residencial	1	30	Madera	W1	70	m ²	\$130.000	\$162.500	\$11.375.000	\$1.750.000	40	0,25
SA-22	Lechería	Industrial	1	15	Metal	S2	160	m ²	\$105.000	\$131.250	\$21.000.000	\$3.740.800	40	0,63
SA-23	Vivienda	Residencial	1	14	Mampostería	RM1	56	m ²	\$160.000	\$200.000	\$11.200.000	\$1.400.000	50	0,72
SA-24	Vivienda	Residencial	2	18	Mampostería	RM1	120	m ²	\$160.000	\$200.000	\$24.000.000	\$3.000.000	50	0,64
SA-25	Vivienda	Residencial	2	23	Mampostería, fibrolit	RM1	90	m ²	\$160.000	\$200.000	\$18.000.000	\$2.250.000	50	0,54
LP-1	Escuela	Educacional	1	60	Metal, mampostería	S2	500	m ²	\$220.000	\$275.000	\$137.500.000	\$5.000.000	50	-0,20
LP-2	Salón de Actos	Educacional	1	60	Mampostería, madera	RM1	180	m ²	\$105.000	\$131.250	\$23.625.000	\$900.000	40	-0,50
LP-3	Iglesia	Centro Comunal	1	75	Mampostería, madera	RM1	230	m ²	\$200.000	\$250.000	\$57.500.000	\$2.300.000	60	-0,25
LP-4	Tanque 1 quiebra gradientes	Línea Vital	1	17	Concreto	C1	2	m ³	\$216.000	\$216.000	\$432.000	\$0	60	0,72
LP-5	Vivienda	Residencial	1	8	Prefabricado	PC1	75	m ²	\$195.000	\$243.750	\$18.375.000	\$1.875.000	60	0,87
LP-6	Lechería	Industrial	1	20	Mampostería, metal	RM1	1300	m ²	\$105.000	\$131.250	\$170.625.000	\$30.398.000	40	0,50
LP-7	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	16	Prefabricado	PC1	5	km	\$23.000.000	\$23.000.000	\$115.000.000	\$0	40	0,60
LP-8	Vivienda	Residencial	1	14	Prefabricado	PC1	80	m ²	\$160.000	\$200.000	\$16.000.000	\$2.000.000	50	0,72
LP-9	Vivienda	Residencial	1	23	Mampostería	RM1	65	m ²	\$160.000	\$200.000	\$13.000.000	\$1.625.000	50	0,54
LP-10	Vivienda	Residencial	1	37	Madera	W1	80	m ²	\$105.000	\$131.250	\$10.500.000	\$2.000.000	40	0,08</

Estimación de la actividad económica de Santa Cruz de Turrialba					
Producción de leche y sus derivados (95% de la zona)					
Datos promedio para el año 2008					
Fincas	Hectáreas / finca	Animales / finca	Leche (Kg o litros)	Costo unitario	Costo total
500	5	15	31,000,000	₡332	₡10,302,540,000

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Turrialba.
Nota: El costo unitario corresponde al periodo 2009.

Tabla 64: Estimación de la actividad económica anual del distrito de Santa Cruz de Turrialba

Al tomar los dos datos de las tablas anteriores y el factor de colapso obtenido de la curva de fragilidad, se estiman las posibles pérdidas económicas y la afectación a la población en caso del escenario de colapso. Esta estimación podría verse incrementada debido a los daños que puedan causar estos eventos en los puentes y vías terrestres, y causar el aislamiento de algunas poblaciones.

Posible colapso por evento sísmico en Santa Cruz de Turrialba				
Estimación de posibles pérdidas económicas				
Infraestructura	Actividad económica	Total	Factor de colapso	Pérdidas totales
₡39,609,382,640	₡10,302,540,000	₡49,911,922,640	0.36	₡17,968,292,150

Tabla 65: Estimación de pérdidas económicas

Las estimaciones de las ganancias no percibidas y de afectación a la población se realizan con los datos de un evento sísmico y el factor de colapso aplicado, así como para la afectación reciente y la proyección de la actividad volcánica. Para la estimación de las ganancias no percibidas se consideran las ganancias de la producción de leche y sus derivados que representan el 95% de la actividad económica de la zona, así como seis posibles períodos de afectación que van desde un día hasta los seis meses (180 días).

Paralización de la actividad económica de Santa Cruz de Turrialba						
Estimación de posible escenario debido a evento sísmico						
Cantidad de días	Cantidad de vacas	kg de leche / día	Ganancia / kg	Proyección de ganancia total	Factor de colapso	Ganancia no percibida por posible colapso
1	7,500	9.4	₡82.34	₡5,822,383	0.36	₡2,096,058
7				₡40,756,681		₡14,672,405
15				₡87,335,744		₡31,440,868
30				₡174,671,488		₡62,881,736
90				₡524,014,465		₡188,645,207
180				₡1,048,028,930		₡377,290,415

Tabla 66: Estimación de posible escenario debido a evento sísmico

Paralización de la actividad económica de Santa Cruz de Turrialba						
Escenario debido a actividad volcánica reciente						
Cantidad de días	Cantidad de vacas	kg de leche / día	Ganancia / kg	Proyección de ganancia total	Afectación reciente *	Ganancia no percibida por afectación reciente
1	7,500	9.4	₡82.34	₡5,822,383	0.14	₡829,107
7				₡40,756,681		₡5,803,751
15				₡87,335,744		₡12,436,610
30				₡174,671,488		₡24,873,220
90				₡524,014,465		₡74,619,660
180				₡1,048,028,930		₡149,239,320

* 1068 animales afectados de un total de 7.500, radio de afectación hasta 5 km según SENASA

Tabla 67: Escenario debido a actividad volcánica reciente

Paralización de la actividad económica de Santa Cruz de Turrialba						
Escenario posible debido a actividad volcánica proyectada						
Cantidad de días	Cantidad de vacas	kg de leche / día	Ganancia / kg	Proyección de ganancia total	Afectación proyectada *	Ganancia no percibida por afectación reciente
1	7,500	9.4	₡82.34	₡5,822,383	0.57	₡3,316,429
7				₡40,756,681		₡23,215,005
15				₡87,335,744		₡49,746,440
30				₡174,671,488		₡99,492,880
90				₡524,014,465		₡298,478,639
180				₡1,048,028,930		₡596,957,278

* Radio de afectación proyectada de 20 km según este trabajo (aplica únicamente a la zona de estudio)

Tabla 68: Escenario posible debido a actividad volcánica proyectada

8.4 Estimación de posible afectación a la población

La afectación de la comunidad se estimó teniendo en cuenta la población del distrito de Santa Cruz de Turrialba al año 2011, así como el factor de colapso calculado anteriormente, estimado en 1.292 el número de afectados. Esta afectación es de tipo general y comprende los efectos que pueda causar un posible evento sísmico, al considerar el colapso de la infraestructura, personas heridas, atrapadas y víctimas fatales.

Posible colapso por evento sísmico en Santa Cruz de Turrialba		
Posible afectación a la población		
Población al año 2011	Factor de colapso	Número de afectados
3,590	0.36	1,292

Tabla 69: Estimación de afectación a la población

Con el factor de colapso también es posible calcular el número esperado de víctimas potenciales, además de determinar diferentes medidas de impacto social del evento tales como:

- Número de heridos: presenta cierta correlación con el número de víctimas.
- Número de personas sin trabajo: personas que ocupan los predios del tipo comercial, industrial e institucional.
- Número de personas afectadas: personas o familias que requieren ser reubicadas en viviendas temporales o definitivas.

Para estimar el número de víctimas (NVi), para el edificio i ubicado en la región afectada por un terremoto j se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$NVi = Ocupantes\ i \times Atrapados\ (\%) \times Fatalidad\ (\%) \times FC\ j$$

Donde:

Ocupantes: número total de personas que están presentes en el edificio i , se calcula para el área construida de cada edificación, con la densidad promedio de habitantes por metros cuadrado.

Atrapados: porcentaje de ocupantes del edificio que quedan atrapadas con vida debajo de los escombros de la edificación.

Fatalidad: número estimado de atrapados que eventualmente mueren por el colapso o los daños en la edificación.

FC_j : Factor de Colapso, de cero a uno, es una estimación de la probabilidad de colapso de la estructura a partir del daño de ésta.

El cálculo de víctimas por medio de la metodología expuesta, se basa en las suposiciones de que no habrá otro evento asociado al sismo, la atención de la emergencia será inmediata y con los recursos necesarios y no considera muertes por causas de pánico.

Tabla de clasificación de construcciones														
Definición de índice de daños y posibles víctimas														
Santa Cruz, Turrialba														
Código zona	Utilización	Clasificación	Niveles	Años de construida	Código LANAME	Dimensión	Unidad	Daño General	Daño Total	Daño Promedio	Ocupación (l)	Atrapados (%)	Fatalidad (%)	NVI
SC-1	Lechería	Industrial	1	30	Metal y zócalo	S2	1500 m ²	23%	22%	22,5%	38	7%	25%	0,24
SC-2	Vivienda	Residencial	2	20	Mampostería, madera	W2	150 m ²	23%	22%	22,5%	5	7%	20%	0,03
SC-3	Hotel	Comercial	3	8	Mampostería, madera y metal	RM1	2000 m ²	23%	22%	22,5%	111	5%	15%	0,30
SC-4	Bodega veterinaria	Industrial	1	20	Zócalo	URM	80 m ²	23%	22%	22,5%	2	7%	20%	0,01
SC-5	Tanque de agua	Línea Vital	1	12	Concreto	C1	65 m ³	25%	25%	25,0%				
SC-6	tubería acueducto	Línea Vital	1	12	PVC	--	3 km	0%	40%	40,0%				
SC-7	Escuela	Educacional	1	6	Zócalo y prefabricada	PC1	800 m ²	23%	22%	22,5%	533	10%	15%	2,88
SC-8	Escuela / abandonada	Educacional	1	124	Zócalo	W1	500 m ²	12%	65%	38,5%				
SC-9	Iglesia	Centro Comunal	1	35	Mampostería	RM1	500 m ²	23%	22%	22,5%	1000	20%	40%	28,80
SC-10	Centro de salud	Línea Vital	1	25	Mampostería	RM1	250 m ²	23%	22%	22,5%	83	5%	15%	0,23
SC-11	Vivienda	Residencial	1	45	Madera	W1	100 m ²	23%	22%	22,5%	5	7%	20%	0,03
SC-12	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	RM1	120 m ²	23%	22%	22,5%	6	5%	15%	0,02
SC-13	Tanque quiebra gradientes	Línea Vital	1	45	Concreto	C1	6 m ³	25%	25%	25,0%				
SC-14	Central telefónica	Línea Vital	1	8	Mampostería	RM1	50 m ²	23%	22%	22,5%	1	5%	15%	0,00
SC-15	Torre de telecomunicaciones	Línea Vital	1	8	Metal	S2	1 c/u	42%	18%	30,0%				
SC-16	Puente 1 Río Guayabito	Línea Vital	1	70	Concreto	C1	30 m ³	0%	85%	85,0%				
SC-17	Camino acceso a San Antonio	Línea Vital	1	1	Lastre	C1	4 km	0%	2,7%	2,7%				
SC-18	Oficina de Acueducto	Comercial	1	15	Prefabricado	PC1	56 m ²	23%	22%	22,5%	8	10%	15%	0,04
SC-19	Líneas telefónicas	Línea Vital	1	20	Madera	W1	6 km	42%	0%	42,0%				
SC-20	Carretera acceso a La Pastora	Línea Vital	1	20	Asfalto	--	2 km	0%	4,7%	4,7%				
SC-21	Vivienda	Residencial	1	5	Mampostería	RM1	64 m ²	23%	22%	22,5%	3	5%	15%	0,01
SC-22	Salón parroquial antiguo	Centro Comunal	1	70	Madera, zócalo	W1	500 m ²	23%	22%	22,5%	500	7%	20%	2,52
SC-23	Salón parroquial nuevo	Centro Comunal	1	0	Mampostería	RM1	300 m ²	23%	22%	22,5%	300	5%	15%	0,81
SC-24	Puente 2 Río Guayabito	Línea Vital	1	70	Concreto	C1	24 m ³	0%	85%	85,0%				
SC-25	Salón comunal	Centro Comunal	1	40	Mampostería	RM1	370 m ²	23%	22%	22,5%	370	5%	15%	1,00
SC-26	Puente Río Aquiares	Línea Vital	1	60	Concreto	C1	35 m ³	0%	85%	85,0%				
SC-27	Vivienda	Residencial	1	55	Madera	W1	49 m ²	23%	22%	22,5%	3	7%	20%	0,02
SC-28	Bar	Comercial	1	45	Madera	W1	140 m ²	23%	22%	22,5%	93	7%	20%	0,47
SC-29	Centro Comercial	Comercial	1	9	Mampostería	RM1	120 m ²	23%	22%	22,5%	40	5%	15%	0,11
SC-30	Vivienda	Residencial	2	25	Mampostería	RM1	220 m ²	23%	22%	22,5%	7	5%	15%	0,02
SC-31	Vivienda / Taller	Residencial / Comercial	2	25	Madera, metal	S1	230 m ²	23%	22%	22,5%	8	7%	25%	0,05
SC-32	Vivienda	Residencial	1	25	Mampostería	RM1	80 m ²	23%	22%	22,5%	4	5%	15%	0,01
SC-33	Agro-veterinaria	Comercial	1	22	Mampostería	RM1	48 m ²	23%	22%	22,5%	16	5%	15%	0,04
SC-34	Ferretería	Comercial	1	19	Zócalo	W1	84 m ²	23%	22%	22,5%	28	7%	20%	0,14
SC-35	Líneas Eléctricas	Línea Vital	1	10	Prefabricado	PC1	10 km	42%	0%	42,0%				
EC-1	Vivienda	Residencial	1	40	Madera	W1	80 m ²	23%	22%	22,5%	4	7%	20%	0,02
EC-2	Vivienda	Residencial	1	15	Mampostería	RM1	100 m ²	23%	22%	22,5%	5	5%	15%	0,01
EC-3	Iglesia	Centro Comunal	1	25	Mampostería	RM1	120 m ²	23%	22%	22,5%	240	20%	40%	6,91
EC-4	Escuela	Educacional	1	20	Mampostería	RM1	350 m ²	23%	22%	22,5%	233	5%	15%	0,63
EC-5	Abastecedor	Comercial	1	35	Madera	W1	50 m ²	23%	22%	22,5%	17	7%	20%	0,08
EC-6	Salón Parroquial	Centro Comunal	1	35	Madera y metal	W1	80 m ²	23%	22%	22,5%	80	7%	20%	0,40
EC-7	Vivienda	Residencial	1	20	Prefabricado	PC1	60 m ²	23%	22%	22,5%	4	10%	15%	0,02
EC-8	Vivienda	Residencial	1	18	Prefabricado	PC1	64 m ²	23%	22%	22,5%	3	10%	15%	0,02
EC-9	Vivienda	Residencial	1	16	Prefabricado	PC1	54 m ²	23%	22%	22,5%	4	10%	15%	0,02
EC-10	Vivienda	Residencial	1	17	Prefabricado	PC1	72 m ²	23%	22%	22,5%	4	10%	15%	0,02
EC-11	Cancha Escuela	Educacional	1	20	Concreto	C1	180 m ²	23%	22%	22,5%				
EC-12	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	15	Prefabricado	PC1	6 km	42%	0%	42,0%				
EC-13	Carretera acceso Santa Cruz	Línea Vital	1	20	Asfalto	--	3 km	0%	4,7%	4,7%				
EC-14	Salón de actos	Educacional	1	20	Mampostería	RM1	80 m ²	23%	22%	22,5%	80	5%	15%	0,22
EC-15	Vivienda	Residencial	2	25	Mampostería, madera	RM1	190 m ²	23%	22%	22,5%	6	5%	15%	0,02
SA-1	Escuela	Educacional	1	35	Mampostería y metal	RM1	250 m ²	23%	22%	22,5%	167	5%	15%	0,45
SA-2	Iglesia	Centro Comunal	1	90	Madera, Metal	W2	350 m ²	23%	22%	22,5%	700	7%	20%	3,53
SA-3	Vivienda	Residencial	1	10	Prefabricado	PC1	56 m ²	23%	22%	22,5%	4	10%	15%	0,02
SA-4	Vivienda	Residencial	1	12	Prefabricado	PC1	56 m ²	23%	22%	22,5%	4	10%	15%	0,02
SA-5	Vivienda	Residencial	1	15	Prefabricado	PC1	64 m ²	23%	22%	22,5%	3	10%	15%	0,02
SA-6	Vivienda	Residencial	1	9	Prefabricado	PC1	72 m ²	23%	22%	22,5%	4	10%	15%	0,02
SA-7	Vivienda	Residencial	1	11	Prefabricado	PC1	64 m ²	23%	22%	22,5%	3	10%	15%	0,02
SA-8	Vivienda	Residencial	1	30	Madera	W1	60 m ²	23%	22%	22,5%	4	7%	20%	0,02
SA-9	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	RM1	70 m ²	23%	22%	22,5%	4	5%	15%	0,01
SA-10	Vivienda	Residencial	1	15	Madera, fibrolit	W1	64 m ²	23%	22%	22,5%	3	7%	20%	0,02
SA-11	Salón Parroquial	Centro Comunal	1	50	Mampostería y madera	RM1	240 m ²	23%	22%	22,5%	240	5%	15%	0,65
SA-12	Taller	Comercial	1	20	Metal	S2	260 m ²	23%	22%	22,5%	7	7%	25%	0,04
SA-13	Camino acceso a Verbena Norte	Línea Vital	1	12	Asfalto	--	2 km	0%	4,7%	4,7%				
SA-14	Camino acceso por Santa Cruz	Línea Vital	1	5	Lastre	--	2 km	0%	2,7%	2,7%				
SA-15	Puente 3 Río Guayabito	Línea Vital	1	60	Concreto	C1	50 m ³	0%	85%	85,0%				
SA-16	Vivienda	Residencial	1	20	Mampostería	RM1	65 m ²	23%	22%	22,5%	3	5%	15%	0,01
SA-17	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	18	Prefabricado	PC1	8 km	42%	0%	42,0%				
SA-18	Tanque Quiebra Gradientes	Línea Vital	1	22	Concreto	C1	5 m ³	25%	25%	25,0%				
SA-19	Salón Comunal	Centro Comunal	1	20	Mampostería	RM1	220 m ²	23%	22%	22,5%	220	5%	15%	0,59
SA-20	Oficina	Comercial	2	20	Mampostería	RM1	140 m ²	23%	22%	22,5%	20	5%	15%	0,05
SA-21	Vivienda / pulpería	Comercial / Residencial	1	30	Madera	W1	70 m ²	23%	22%	22,5%	4	7%	20%	0,02
SA-22	Lechería	Industrial	1	15	Metal	S2	160 m ²	23%	22%	22,5%	4	7%	25%	0,03
SA-23	Vivienda	Residencial	1	14	Mampostería	RM1	56 m ²	23%	22%	22,5%	4	5%	15%	0,01
SA-24	Vivienda	Residencial	2	18	Mampostería	RM1	120 m ²	23%	22%	22,5%	6	5%	15%	0,02
SA-25	Vivienda	Residencial	2	23	Mampostería, fibrolit	RM1	90 m ²	23%	22%	22,5%	5	5%	15%	0,01
LP-1	Escuela	Educacional	1	60	Metal, mampostería	S2	500 m ²	23%	22%	22,5%	333	7%	25%	2,10
LP-2	Salón de Actos	Educacional	1	60	Mampostería, madera	RM1	180 m ²	23%	22%	22,5%	180	5%	15%	0,49
LP-3	Iglesia	Centro Comunal	1	75	Mampostería, madera	RM1	230 m ²	23%	22%	22,5%	460	20%	40%	13,25
LP-4	Tanque 1 quiebra gradientes	Línea Vital	1	17	Concreto	C1	2 m ³	25%	25%	25,0%				
LP-5	Vivienda	Residencial	1	8	Prefabricado	PC1	75 m ²	23%	22%	22,5%	4	10%	15%	0,02
LP-6	Lechería	Industrial	1	20	Mampostería, metal	RM1	1300 m ²	23%	22%	22,5%	33	7%	25%	0,20
LP-7	Líneas eléctricas y telefónicas	Línea Vital	1	16	Prefabricado	PC1	5 km	42%	0%	42,0%				
LP-8	Vivienda	Residencial	1	14	Prefabricado	PC1	80 m ²	23%	22%	22,5%	4	10%	15%	0,02
LP-9	Vivienda	Residencial	1	23	Mampostería	RM1	65 m ²	23%	22%	22,5%	3	5%	15%	0,01
LP-10	Vivienda	Residencial	1	37	Madera	W1	80 m ²	23%	22%	22,5%	4	7%	20%	0,02
LP-11	Tanque 2 quiebra gradientes	Línea Vital	1	13	Concreto	C1	10 m ³	25%	25%	25,0%				
LP-12	Vivienda	Residencial	2	11	Madera	W1	240 m ²	23%	22%	22,5%	8	7%	20%	0,04
LP-13	Camino acceso volcán Turrialba	Línea Vital	1	30	Asfalto y material volcánico	--	6 km	0%	4,7%	4,7%				
LP-14	Vivienda	Residencial	1	16	Prefabricado	PC1	56 m ²	23%	22%	22,5%	4	10%	15%	0,02
LP-15	Vivienda	Residencial	1	21	Metal, madera	W1	60 m ²	23%	22%	22,5%	4	7%	20%	0,02
LP-16	Bodega Agropecuaria	Industrial	1	13	Mampostería	RM1	150 m ²	23%	22%	22,5%	4	7%	20%	0,02
LP-17	Puente Río Turrialba acceso a Pacayas	Línea Vital	1	60	Metal y Concreto	S2	1 c/u	0%	85%	85,0%				
LP-18	Vivienda	Residencial	1	35	Zócalo	RM1	75 m ²	23%	22%	22,5%	4	5%	15%	0,01
LP-19	Carretera acceso a Pacayas	Línea Vital	1	20	Asfalto	--	4 km	0%	4,7%	4,7%				
LP-20	Vivienda	Residencial	2	27	Mampostería, madera	RM1	180 m ²	23%	22%	22,5%	6	5%	15%	0,02
LP-21	Vivienda	Residencial	1	17	Mampostería	RM1	60 m ²	23%	22%	22,5%	4	5%	15%	0,01
LP-22	Vivienda	Residencial	1	18	Mampostería	RM1	80 m ²	23%	22%	22,5%	4	5%	15%	0,01
LP-23	Vivienda	Residencial	1	16	Prefabricado	PC1	64 m ²	23%	22%	22,5%	3	10%	15%	0,02
LP-24	Vivienda	Residencial	1	21	Mampostería	RM1	56 m ²	23%	22%	22,5%	4	5%	15%	0,01
LP-25	Bodega abandonada	Industrial	1	50	Madera, metal	W1	120 m ²	23%	22%	22,5%				

Nota: La estimación de las posibles víctimas, se realizó utilizando la metodología establecida por Vulnerabilidad humana ante eventos extremos, teniendo en cuenta los valores de la tabla de carga de ocupación establecidos por Asesorías de Arquitectura y Construcción.

Índice daño general 26%
Factor de colapso 0,36
Víctimas posibles (NVI) 68

Tabla 70: Estimación del número de

La tabla anterior se utilizó para determinar el número potencial de personas afectadas físicamente, con la que se obtuvo una cantidad de sesenta y ocho víctimas mortales o heridos, sin embargo existen otras metodologías para estimar esas cifras, como se muestra continuación:

CALIFICACIÓN VULNERABILIDAD	CÓDIGO DE COLOR PARA MAPEO	DESCRIPCIÓN
MÍNIMA	VERDE	Se esperan pérdidas materiales menores a un 5% del área construida del edificio, y un potencial número de muertes y heridos menor al 10% de los habitantes del edificio
SIGNIFICATIVA	AMARILLO	Se esperan pérdidas materiales hasta del 33% del área construida del edificio, un potencial número de muertes del 25% de los habitantes de la estructura y un 25% de heridos.
ALTA	ANARANJADO	Se esperan pérdidas materiales hasta del 66% del área construida del edificio, un potencial número de muertes del 30% de los habitantes de la estructura y un 30% de heridos.
MUY ALTA	ROJO	Se esperan pérdidas materiales totales, un potencial número de muertes del 60% de los habitantes de la estructura y un 20% de heridos.

Tabla 71: Potencial número de víctimas o heridos según porcentaje de daño estructural (Modificado de: Farfán & Díaz, 2009)

La tabla 71 presenta la metodología para el cálculo de víctimas o heridos basada en el porcentaje de daño estructural asociado a la vulnerabilidad, con lo que se logró otra estimación de acuerdo con las tablas 72 y 73.

Posible afectación física a los habitantes de Santa Cruz de Turrialba		
Estimación según metodología de Farfán & Díaz		
Número de afectados	Daño estructural esperado	Potencial de afectados
1.292	26,00%	336

Tabla 72: Potencial afectación física a los habitantes de Santa cruz de Turrialba

Posibles muertos y heridos en Santa Cruz de Turrialba		
Estimación según metodología de Farfán & Díaz		
Potencial de afectados	Porcentaje de muertos y heridos según daño	Potencial número de muertos o heridos
336	25,00%	84

Tabla 73: Potencial número de muertos o heridos en Santa Cruz de Turrialba

Con la vulnerabilidad significativa obtenida de acuerdo con el porcentaje de daño determinado del 26%, se logró establecer en ochenta y cuatro el potencial número de víctimas o heridos.

Con los dos datos estimados se estableció en setenta y seis el potencial número de víctimas o heridos en Santa Cruz de Turrialba, para un posible evento sísmico de magnitud considerable.

8.5 Confiabilidad de los datos

Los datos presentados en este capítulo, son el resultado de un trabajo investigativo que se basó en la consulta de información histórica relacionada, trabajo de campo, interpretación de datos existentes, entrevistas y otros, que respaldan la información utilizada para realizar los cálculos, sin embargo, debido a que no fue posible obtener la totalidad de las referencias necesarias para establecer las estimaciones de acuerdo con las metodologías aplicadas, como planos constructivos, pruebas de materiales, planes de ordenamiento, entre otros, se estableció la confiabilidad de los datos en un 70%, basándose para ello en la siguiente tabla:

CONFIABILIDAD	RANGO	CRITERIO
Alta	$C.A. \geq 95\%$	Certeza de que los datos son reales porque se ha tenido acceso a fuentes confiables como estadísticas, planos, entrevistas y son fácilmente comprobables.
Media	$60\% > C.M. < 95\%$	Los datos son estimados ciertos puesto que son evidentes y estimables según el criterio del inspector, aunque no se haya tenido acceso a fuentes de información.
Baja	$C.A. \leq 60\%$	De los datos obtenidos pueden llegar a dudarse, pero se ha considerado en la evaluación distintas situaciones y se ha elegido la más crítica.

Tabla 74: Confiabilidad de los datos presentados (Modificado de: Farfán, 2009)

CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

El distrito de Santa Cruz de Turrialba está ubicado en una zona en la que la amenaza sísmica es considerable, logrando establecer períodos en los que los eventos sísmicos de diversa magnitud y profundidad, relacionados con la tectónica de placas y con el fallamiento local, conforman enjambres de importancia como en el caso del reinicio de la actividad volcánica en enero del año 2010.

La evaluación de la infraestructura del distrito de Santa Cruz de Turrialba demostró que la vulnerabilidad se estableció con un índice para cada tipo de estructura de acuerdo con las funciones de vulnerabilidad utilizadas, sin embargo este valor fue afectado por la infraestructura que presenta irregularidades, tal es el caso de construcciones en zonas de deslizamiento, o viviendas de dos pisos irregulares en planta y elevación. Esta vulnerabilidad se podría disminuir considerablemente si se hace conciencia en la población, acerca del riesgo al que está expuesta.

La exposición ante eventuales eventos sísmicos o vulcanológicos seguirán existiendo en la zona de estudio, mientras las autoridades tanto municipales como instituciones involucradas no determinen medidas oportunas para mitigar el riesgo causado por el incremento en la vulnerabilidad que provocan las construcciones empíricas que surgen en el lugar.

Con respecto del riesgo, se logró determinar que el principal elemento que podría incrementarlo es la amenaza sísmica de la zona, aunado a la vulnerabilidad que presenta, no obstante, se logró establecer que para el riesgo ante eventos de otra naturaleza, el Volcán Turrialba y los Ríos Guayabito y Aquiares tienen un papel preponderante, por lo que, las autoridades competentes deben tener muy en cuenta este factor en caso de un evento sísmico considerable.

La actividad del Volcán Turrialba, ha sido monitoreada por expertos de otras latitudes desde hace varios años, en la actualidad algunas instituciones del Estado realizan estudios y seguimientos constantes de su comportamiento, con lo que en este trabajo se logra determinar que el riesgo por amenaza volcánica para los poblados evaluados del distrito de Santa Cruz de Turrialba se define como bajo para el caso de caída de cenizas y lluvia ácida, medio para el caso de flujos piroclásticos y coladas de lava, alto para avalanchas y lahares.

Es importante destacar que existe un alto riesgo de que se presenten avalanchas en el Volcán Turrialba, esto debido a que como se determinó en esta investigación, el Cerro San Enrique ubicado hacia el sureste del cono volcánico se encuentra fracturado, y debido a la pendiente del terreno, la posible saturación del material en épocas de lluvia intensa, o una erupción, podría aportar cantidades considerables de material volcánico a los ríos debido a su volumen, según los cálculos obtenidos en los diferentes escenarios que se presentan en esta investigación.

En este trabajo se realizó un estudio de los factores que intervienen en la definición del riesgo sísmico y vulcanológico, se estableció la vulnerabilidad de la zona en estudio, se desarrolló una metodología de evaluación para la zona, se logró la creación de gráficos y mapas de riesgo para

ubicar las vulnerabilidades del distrito y finalmente se estimó el impacto socioeconómico por pérdidas materiales y posibles víctimas humanas entre heridos, atrapados y fallecidos.

La metodología de evaluación se basó principalmente en históricos de información de referencia sísmica y vulcanológica, levantamiento de información de campo como el formulario ATC-20 y registros fotográficos de la infraestructura evaluada, la fotointerpretación satelital, la aplicación de mapas de isoaceleraciones de Costa Rica y las curvas de fragilidad para cada tipo de infraestructura, generación de gráficos y mapas, y la estimación de las pérdidas.

El potencial número de víctimas o heridos dentro del área de estudio se establece en setenta y seis. Para este cálculo se utilizó el promedio obtenido de las dos metodologías empleadas. Una es por colapsos parciales o totales de estructuras por eventuales acontecimientos sísmicos, al utilizar para esta proyección de cálculo el factor de colapso establecido de acuerdo con el índice de daño de las edificaciones y por medio del método de vulnerabilidad humana ante eventos extremos. La otra es el producto de aplicar el porcentaje potencial de muertos o heridos, asociado con el porcentaje de daño de las estructuras y el total de personas afectadas.

El aspecto ambiental no fue evaluado en este estudio como tal, sin embargo se establecen criterios de evaluación de daño importantes para otro tipo de análisis, tal es el caso de la definición de zonas afectadas de vegetación, pastizales y cultivos, además de los efectos en las fuentes de agua y los animales.

En la zona de estudio están definidas algunas escuelas o algunos salones como albergues en casos de emergencia, sin embargo no cuentan siquiera con un tanque de agua potable que pueda utilizarse para la atención inmediata de niños, ancianos y heridos, por lo que es sumamente necesaria la integración interdisciplinaria para la conformación de comisiones que colaboren en este tema.

9.2 Recomendaciones

Aunque es prácticamente imposible definir el día y la hora en la que ocurrirá un evento sísmico, si es posible minimizar la vulnerabilidad para reducir el riesgo y el impacto que pueden ocasionar este tipo de fenómenos. Por lo que es recomendable que las entidades involucradas para otorgar los permisos de construcción, presten la atención necesaria a la revisión del diseño de la infraestructura y el lugar donde se ubicará, con el fin de otorgar los permisos pertinentes, ajustándose a los estudios preliminares establecidos para este fin.

Se debe fomentar a través del gobierno local y de las instituciones que corresponda, la organización de las comunidades, con el fin de que se preparen para prevenir y atenuar los efectos de las amenazas naturales. Es fundamental dar a conocer este tipo de investigaciones, para concientizar a los pobladores de las zonas de estudio, acerca de las amenazas que les rodean para que se puedan organizarse y disminuir la vulnerabilidad de afectación directa a la población.

Aportar por parte de las entidades del Estado, los recursos necesarios para desarrollar estudios detallados con respecto de los riesgos que se presenten en zonas de interés, ejecutados por

profesionales en diferentes disciplinas, con el fin de abarcar aspectos tanto de diseño y construcción, como sociales, ambientales, económicas, entre otros, de manera que se establezcan planes específicos para prevenir y mitigar las posibles afectaciones que se generen ante un fenómeno natural.

Es recomendable la aplicación obligatoria de normativas constructivas y el empleo de materiales que cumplan con los estándares de calidad requeridos, que se realicen pruebas de calidad durante el proceso constructivo, por medio de la supervisión de un profesional, con el fin de mitigar la vulnerabilidad, sobre todo en casos en los que se da por la acción directa del hombre como un diseño o una ubicación inadecuados de la infraestructura.

Una acción prioritaria es que los Gobiernos Locales establezcan en forma urgente, una política para la creación y puesta en marcha de Planes Reguladores, con el propósito de realizar un ordenamiento territorial adecuado y que se disminuya la vulnerabilidad. El distrito de Santa Cruz pertenece al Municipio de Turrialba, el cual no cuenta con ningún levantamiento que ayude a lograr este objetivo.

Asegurar a la posible población afectada sitios que funcionen como albergues que aseguren un nivel de vida adecuado ante una emergencia, y establecer en estos lugares planes para el suministro de alimentos, abastecimientos de agua, medicamentos básicos, entre otros. Se propone que se adecuen infraestructuras para este fin con la capacidad necesaria para alojar a la población que lo requiera, capacitar a líderes comunales, hasta que se presente en el sitio ayuda profesional.

Desarrollar planes y programas técnicos y efectivos de comunicación por parte de las instituciones definidas para este fin como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), para educar a la población ante la realidad a la que está expuesta por los posibles incidentes que los afecten, con el fin de reducir la vulnerabilidad individual y colectiva ante eventuales situaciones extremas, ya que es de vital importancia la participación proactiva de la comunidad en posibles emergencias.

Es urgente desarrollar estudios de vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica en el país, con el propósito de estimar los daños potenciales y priorizar recursos en reducir la vulnerabilidad. Imprescindible realizar evaluaciones detalladas en todas las edificaciones que alberguen más de 50 personas, pues esta cantidad constituye un número alto de elementos humanos en riesgo, tal es el caso de Centros de Salud, Hospitales, Escuelas, entre otros.

Los estudios se pueden basar en la metodología de evaluación establecida en esta investigación, en donde se vuelven fundamentales para el análisis de los datos y los resultados, los registros históricos, la fotointerpretación, la aplicación de curvas de fragilidad, la generación de gráficos y la utilización del SIG y otros métodos para la creación de mapas, información que cuando se combina presenta una excelente opción para la interpretación correcta de la información.

Es prioritario definir los efectos provocados por las pérdidas económicas que los sismos ocasionan, sin embargo es de vital importancia proteger a las personas tanto de sufrir accidentes como de morir durante estos eventos. Esta es una labor fundamental que debe estar a cargo tanto por parte de los gobiernos como por parte de la sociedad y las personas.

CAPÍTULO X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abarca S., (2010). MONITOREO DE LA ZONA DE INFLUENCIA DE LLUVIA Y CENIZA DEL VOLCÁN TURRIALBA, POR EL AUMENTO DE ACTIVIDAD A PARTIR DE ENERO DE 2010. INFORME DE ACTIVIDADES TÉCNICAS. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. 2 DE JUNIO DE 2010.

Aguiar R. & Bolaños D., (n.d.). Evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica en edificios de hormigón armado. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador.

Alerta Tierra, (2005-2011). Tipo e intensidad de las erupciones volcánicas. Obtenida el 23 de enero de 2011, de <http://www.alertatierra.com/volErup.htm>

Alvarado G., Soto G. & Rojas W., 2010. VOLCÁN TURRIALBA: Despierta después de casi 144 años de dormir. Red Sismológica Nacional (RSN: UCR-ICE).

América central Turismo Viajes, (n.d.). Mapa de Costa Rica. Obtenida el 01 de abril de 2011, de http://www.01centralamerica.com/america_central/costa-rica/mapa-de-costa-rica/

Asesorías de Arquitectura y Construcción, (n.d.). Tabla de carga de ocupación. Obtenida el 04 de febrero de 2011, de <http://www.asesoriasayc.cl/2009/05/carga-de-ocupacion.html>

ASOPROA-SC, (2006). PLAN ANUAL DE TRABAJO (PERÍODO JULIO 2006-JUNIO 2007). ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS DE SANTA CRUZ, DE TURRIALBA.

Astromía, (n.d.). Partes de una falla. Obtenida el 10 de octubre de 2010, de www.astromia.com/tierraluna/fallas.htm

Barquero R. (2010). VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA ICE ANTE LAS AMENAZAS NATURALES. Área Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica C.S. Exploración Subterránea UEN PySA, ICE (Presentación).

Barquero R. (2011). INFORME ANUAL SISMOS SENTIDOS Y ACTIVIDAD VOLCÁNICA 2010. Área Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica. Instituto Costarricense de Electricidad. Enero 2011.

Bedoya D., (2005) Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona-España.

Bibliotecadigital.ilce.edu.mx, (n.d.). Los Volcanes. Obtenida el 06 de noviembre de 2010, de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/54/htm/sec_8.html

CEPAL, (2003). Manual para la Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental de los Desastres. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. LC/MEX/G.5. LC/L.1874.

Código Sísmico de Costa Rica, (2002). Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. Tercera edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2003.

Defensa Civil Maimón, (2009). Los Desastres Naturales. Obtenida el 06 de noviembre de 2010, de <http://defensacivilmaimon.wordpress.com/2009/03/09/los-desastres-naturales/>

Denyer P., Montero W. & Alvarado G., 2003. Atlas tectónico de Costa Rica. Serie reportes técnicos. Universidad de Costa Rica.

Díaz A., (n.d.). Volcanes. Obtenida el 23 de enero de 2011, de <http://www.monografias.com/trabajos/volcanes/volcanes.shtml>

Duarte E., (2009). Avance de grietas y de efectos por gases volcánicos en el V. Turrialba. (Informe de Campo, 20, 26 y 31 de agosto de 2009: Volcanes Irazú y Turrialba). Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica. OVSICORI-UNA.

Duarte E., (2010). Cambios Morfológicos y Avalanchas Incandescentes del 24 de Mayo en el Volcán Arenal. (Reporte de campo, 31 de Mayo de 2010). Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica. OVSICORI-UNA.

ELMUNDO.es, (2010). ¿Richter o Mercalli? Obtenida el 09 de octubre de 2010, de <http://www.elmundo.es/america/2010/02/27/noticias/1267269758.html>

Enciclopedia.us.es, (n.d.). Partes de una falla. Obtenida el 10 de noviembre de 2010, de [http://enciclopedia.us.es/index.php/Falla_\(geolog%C3%ADa\)](http://enciclopedia.us.es/index.php/Falla_(geolog%C3%ADa))

Federal Emergency Management Agency, 1999. HAZUS®99, User's Manual, ArcView® Version. EARTHQUAKE LOSS ESTIMATION METHODOLOGY. Washington, D.C.

Farfán & Díaz, (2009). Estudio de vulnerabilidad sísmica estructural en un sector de la zona 12, de la Ciudad de Guatemala. Trabajo de Graduación. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.

FOPAE, (n.d.). Fondo de prevención y atenuación de emergencias. Bogotá, Colombia. Presentación.

Fortunecity, (n.d.). La Vulcanología. Obtenida el 10 de octubre de 2010, de <http://members.fortunecity.com/chema/vulca/vulca.htm>

FUNVISIS, (n.d.). Partes de una falla. Obtenida el 23 de enero de 2011, de http://www.funvisis.gob.ve/glosario_.php

García M., (2009). Volcanes. Obtenida el 23 de enero de 2011, de <http://tere-blogdegeografia.blogspot.com/2009/04/volcanes.html>

Google Earth, (2011). Imágenes. Obtenidas el 23 de enero del 2011, de Google Earth.

Griem W., (1999). Tipos de fallas tectónicas I. Obtenida el 28 de diciembre de 2010, de www.geovirtual.cl/.../gestr04a.htm

INSIVUMEH, (n.d.). Clasificación de los volcanes. Obtenida el 06 de noviembre de 2010, de <http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/programa.htm>

Linkimer L. & Schmidt V., (2002). Amenaza Sísmica de la zona central de Costa Rica, en coordinación con el Instituto Nacional de Seguros. 731-A1-079. Informe final de investigación. Laboratorio de Ingeniería Sísmica. Instituto de Investigaciones en Ingeniería. Universidad de Costa Rica.

Linkimer L., (2003). Neotectónica del extremo oriental del Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica.

Linkimer L., (2008). Relationship between peak ground acceleration and modified mercalli intensity in Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 38:81-94, 2008. ISSN: 0256-

7024. Laboratorio de Ingeniería Sísmica. Instituto de Investigaciones en Ingeniería. Universidad de Costa Rica.

López A., (2010). ASAT-009-2010. Informe. AGENCIA DE SERVICIOS AGROPECUARIOS DE TURRIALBA. DIRECCION REGIONAL CENTRAL ORIENTAL. MAG.

López A., (2010). ASAT-018-2010. Informe. AGENCIA DE SERVICIOS AGROPECUARIOS DE TURRIALBA. DIRECCION REGIONAL CENTRAL ORIENTAL. MAG.

MAG, INTA, UCR, FITOSANITARIO, SENASA, 2010. Plan de Acción Agropecuario para la Mitigación de la Actividad Freática en el Área de Influencia del Volcán. Turrialba, Costa Rica.

Ministerio de Agricultura y Ganadería & Servicio Nacional de Salud Animal, 2010. INFORME DE ACTIVIDADES DE LA EMERGENCIA VOLCÁN TURRIALBA. 14 de enero del 2010.

NASA. Earth Observatory image by Robert Simmon, using EO-1 ALI data provided by the NASA EO-1 team. Caption by Robert Simmon. Instrument: EO-1 - ALI). Obtenida el 22 de noviembre de 2010, de http://earthobservatory.nasa.gov/images/imagerecords/42000/42425/turrialba_ali_2010021_lrg.j pg.

Pacheco J., Protti M., Brenes J., Martínez M. & González V., 2010. Actividad del volcán Turrialba entre el 4 y el 8 de enero del 2010. Reporte. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI). Universidad Nacional (UNA).

Reagan M, Duarte E, Soto G & Fernández E, (2006). The eruptive history of Turrialba volcano, Costa Rica, and potential hazards from future eruptions. Geological Society of America, Special Paper, 412. Printed in the USA. 2006.

Rojas W. (2009). La alta vulnerabilidad sísmica de Costa Rica. Red Sismológica Nacional (RSN: UCR-ICE).

Soto G., (n.d.). Geología y vulcanología del Volcán Turrialba, Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología-Red Sismológica Nacional. Universidad de Costa Rica. Figuras.

Soto G. & Alvarado G. (2010). El Volcán Turrialba y su amenaza. Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica C.S. Exploración Subterránea, PySA (ICE) Instituto Costarricense de Electricidad (Presentación).

Tripod, (n.d.). Los Volcanes. Obtenida el 23 de enero de 2011, de http://misterios1.tripod.com/los_volcanes.htm

UNESCO, (2000). Estudio preliminar de amenazas naturales en la cuenca del Río Turrialba, cantón Turrialba, Costa Rica. Informe de RAPCA. Turrialba, Julio 2000.

Urban R., (2002). Seismic hazard and vulnerability assessment in Turrialba, Costa Rica. Estudio de vulnerabilidad. Figuras.

Van Westen C., Woldai T., Slob S. & Vargas R. (n.d.). Introducción a la evaluación de la amenaza sísmica. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede. The Netherlands.

Vargas A., (2010). El acero se deshace en un año en alrededores del Volcán Turrialba. Humedad del entorno y gases del coloso aceleran proceso de oxidación. Según normativa mundial la atmósfera del sitio se considera “muy agresiva”. Estudio del Instituto Tecnológico y la Universidad Nacional. La Nación, 23 de mayo de 2010. <http://www.nacion.com/2010-05-23/AldeaGlobal/NotaPrincipal/AldeaGlobal2372723.aspx>.

Villalón M., 2003. Guía para la Elaboración de inventarios de Elementos en Riesgo en Áreas Vulnerables a Inundaciones y Sismos en Costa Rica. Individual Final Assignment, Professional Master in Natural hazard Studies. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede. The Netherlands.

Volcanoes of Ecuador, (2010). Volcanes del Ecuador. Obtenida el 23 de enero de 2011, de <http://volcanoesofecuador.blogspot.com/>

Voskuil R. (n.d.). Amenaza Volcánica: Introducción. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede. The Netherlands.

Capra_wiki, (n.d.). Vulnerabilidad humana ante eventos extremos. Obtenida el 04 de febrero de 2011 de http://www.ecapra.org/capra_wiki/es_wiki/index.php?title=VULNERABILIDAD_HUMANA_ANTE_EVENTOS_EXTREMOS

Wikipedia, (n.d.). Escala sismológica de Richter. Obtenida el 09 de octubre de 2010, de http://es.wikipedia.org/wiki/Escala_sismol%C3%B3gica_de_Richter

Wikipedia, (n.d.). Escala sismológica de Mercalli. Obtenida el 09 de octubre de 2010, de http://es.wikipedia.org/wiki/Escala_sismol%C3%B3gica_de_Mercalli

Wikipedia, (n.d.). Formación de los volcanes. Obtenida el 10 de octubre de 2010, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Vulcanolog%C3%ADa>

Wikipedia, (n.d.). Formula de Bazin. Obtenida el 04 de febrero de 2011, de http://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_de_Bazin

Wikipedia, (n.d.). Formula de Chezy. Obtenida el 04 de febrero de 2011, de http://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_de_Ch%C3%A9zy

Wikipedia, (n.d.). Geografía de Costa Rica. Obtenida el 06 de noviembre de 2010, de es.wikipedia.org/wiki/Geografía_de_Costa_Rica

Wikipedia, (n.d.). Radio Hidráulico. Obtenida el 04 de febrero de 2011, de http://es.wikipedia.org/wiki/Radio_hidr%C3%A1ulico

Wikipedia, (n.d.). Subducción. Obtenida el 10 de octubre de 2010, de es.wikipedia.org/wiki/Subducción

Wikipedia, (n.d.). Volcán. Obtenida el 23 de enero de 2011, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Vulcanismo>

ANEXOS

Anexo 1 Levantamiento fotográfico Poblado Santa Cruz (SC)

SC-1 Lechería



SC-2 Vivienda



SC-3 Hotel





SC-4 Bodega



SC-5 Tanque de agua principal



SC-6 Tubería acueducto



SC-7 Escuela



SC-8 Escuela abandonada



SC-9 Iglesia



SC-10 Centro de Salud



SC-11 Vivienda



SC-12 Vivienda



SC-13 Tanque quiebra gradientes



SC-14 Central Telefónica



SC-15 Torre Telecomunicaciones





SC-16 Puente 1 Río Guayabito



SC-17 Camino de lastre a San Antonio



SC-18 Oficina Acueducto



SC-19 Líneas telefónicas



SC-20 Carretera acceso a La Pastora



SC-21 Vivienda



SC-22 Salón Parroquial Antiguo





SC-23 Salón Parroquial Nuevo



SC-24 Puente 2 Río Guayabito



SC-25 Salón Comunal



SC-26 Puente Río AQUIARES



SC-27 Vivienda





SC-28 Bar



SC-29 Centro Comercial



SC-30 Vivienda



SC-31 Vivienda



SC-32 Vivienda



SC-33 Agroveterinaria



SC-34 Ferretería



SC-35 Líneas eléctricas



Anexo 2 Levantamiento fotográfico Poblado El Carmen (EC)

EC-1 Vivienda



EC-2 Vivienda



EC-3 Iglesia



EC-4 Escuela





EC-5 Abastecedor





EC-6 Salón Parroquial



EC-7 Vivienda (sin registro fotográfico)

EC-8 Vivienda (sin registro fotográfico)

EC-9 Vivienda (sin registro fotográfico)

EC-10 Vivienda (sin registro fotográfico)

EC-11 Cancha multiuso de la Escuela



EC-12 Líneas eléctricas y telefónicas



EC-13 Carretera acceso a Santa Cruz



EC-14 Salón de Actos Escuela



EC-15 Vivienda



Anexo 3 Levantamiento fotográfico Poblado San Antonio (SA)

SA-1 Escuela



SA-2 Iglesia



SA-3 Vivienda



SA-4 Vivienda



SA-5 Vivienda



SA-6 Vivienda (sin registro fotográfico)

SA-7 Vivienda (sin registro fotográfico)

SA-8 Vivienda



SA-9 Vivienda



SA-10 Vivienda (sin registro fotográfico)

SA-11 Sal3n Parroquial





SA-12 Taller



SA-13 Camino acceso por Verbena Norte



SA-14 Camino acceso por Santa Cruz



SA-15 Puente 3 Río Guayabito



SA-16 Vivienda



SA-17 Líneas eléctricas y telefónicas



SA-18 Tanque quiebra gradientes





SA-19 Sal3n Comunal



SA-20 Oficinas SINAC



SA-21 Vivienda y pulpería



SA-22 Lechería



SA-23 Vivienda



SA-24 Vivienda



SA-25 Vivienda



Anexo 4 Levantamiento fotográfico Poblado La Pastora (LP)

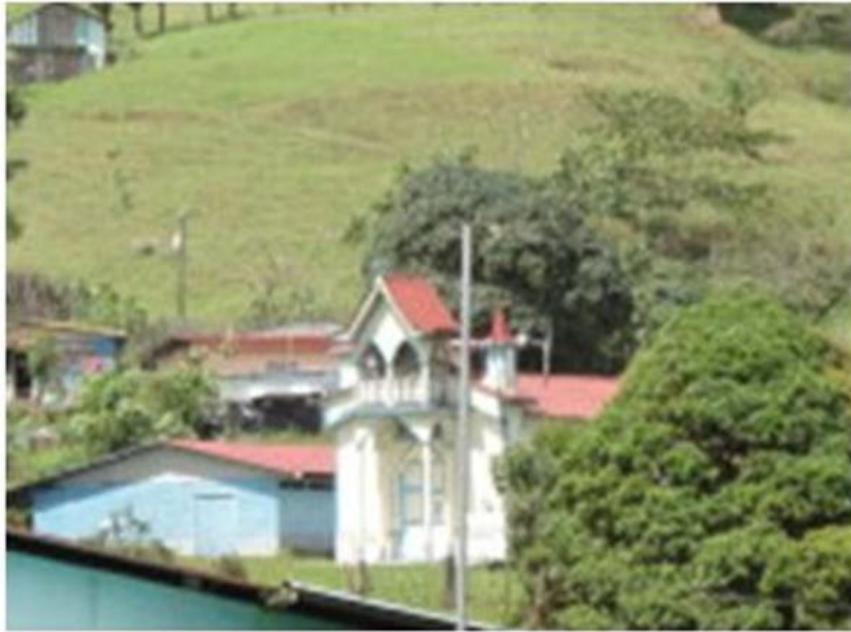
LP-1 Escuela



LP-2 Salón de Actos Escuela



LP-3 Iglesia



LP-4 Tanque 1 Quebra gradientes



LP-5 Vivienda



LP-6 Lechería



LP-7 Líneas eléctricas y telefónicas



LP-8 Vivienda



LP-9 Vivienda



LP-10 Vivienda



LP-11 Tanque 2 Quebra gradientes



LP-12 Vivienda



LP-13 Carretera acceso Volcán Turrialba



LP-14 Vivienda



LP-15 Vivienda



LP-16 Bodega agropecuaria



LP-17 Puente Río Turrialba (acceso a Pacayas)



LP-18 Vivienda



LP-19 Carretera acceso a Pacayas



LP-20 Vivienda



LP-21 Vivienda



LP-22 Vivienda



LP-23 Vivienda



LP-24 Vivienda



LP-25 Bodega abandonada



Anexo 5 Tabla de Daño Estructural según LANAME

TIPO DE ESTRUCTURA	SIGLA	DAÑO ESTRUCTURAL LEVE	DAÑO ESTRUCTURAL MODERADO	DAÑO ESTRUCTURAL GENERAL	DAÑO ESTRUCTURAL TOTAL
Madera Marco Menores	W 1	Pequeñas fisuras en intersecciones de las paredes y techos, en los enchapes	Grietas tamaño medio en cielos de Gypsum , esquinas , marcos de puertas y ventanas	Grietas grandes en muros, desplazamientos permanentes de pisos y techos, agrietamientos en fundaciones, colapso parcial de configuraciones de piso	Grandes desplazamientos laterales, puede colapsar por falla de sistema resistente de cargas laterales, el 5% puede colapsar
Madera Marco Mayores	W2	Grietas pequeñas en esquinas de puertas y ventanas e intersecciones entre muros y techo, se aflojan conexiones atornilladas	Grietas en esquinas de puertas y ventanas. Pequeñas grietas diagonales en muros de corte, se presentan grietas pequeñas en juntas atornilladas	Grietas diagonales grandes en los paneles de los muros de corte, se aflojan los arriostres laterales. Fisuras en fundaciones, colapso parcial en las configuraciones de piso blando	Desplazamientos laterales grandes y colapsara o peligro inminente de colapso, grandes grietas y fallas en fundaciones un 5% del 'área total presente colapso
Marco de Acero no	S1	Deformaciones menores en	Miembros de acero alcanzan su	Muchos de los miembros de	Una parte significativa de los

Arriostrados		conexiones, fisuras pequeñas en algunas soldaduras	capacidad de fluencia, rotaciones permanentes en las conexiones , algunas conexiones presentan grietas grandes en la soldadura, tornillos rotos o huecos de tornillos alargados	acero han excedido su capacidad de fluencia, causando deformaciones laterales en la estructura, rotaciones importantes en las conexiones, las alas de los elementos se pandean y fallan las conexiones, colapso parcial de sectores de la estructura por falla de elementos o conexiones críticas.	elementos han excedido su capacidad ultima y algunos elementos y conexiones criticas han fallado causando desplazamientos permanentes peligrosos, colapso parcial o total. Edificios de menos de 3 plantas se espera el colapso de aproximadamente un 20% del área.
Marcos de Acero Arriostrados	S2	Arriostres esbeltos pandeados o alargados, grietas menores en conexiones soldadas y deformaciones en conexiones	Algunos arriostres han alcanzado la fluencia, mostrando elongaciones y pandeos importantes, soldaduras fisuradas y falla	La mayor parte de los arriostres han alcanzado la fluencia y algunos miembros críticos han fallado, colapso parcial de la estructura debido a la falla	Elementos alcanzando su capacidad ultima y fallas en algunos miembros, conexiones criticas causando deflexiones permanentes

		atornilladas	de algunas conexiones soldadas	de miembros y conexiones criticas	peligrosas sobre la estructura, para edificios de menos de tres pisos colapse aproximadamente el 20% del área total
Marcos de Acero Livianos	S3	Algunos arriostres han alcanzado su capacidad de fluencia, miembros pandeados y elongados, marcos principales fisurados menores en soldaduras y deformaciones menores en conexiones atornilladas	Muchos arriostres de acero han alcanzado la fluencia, dejando ver pandeos importantes, conexiones con fallas, fisuramientos en soldaduras	Deformaciones laterales permanentes de magnitud importante, fallas de arriostres y pernos de anclaje de las columnas elongados, conexiones de techo y muros al marco principal con fallas	La estructura colapsa o se encuentra en peligro inminente de colapso por fallas de elementos de arriostramiento lateral, pernos de anclaje de las columnas y conexiones, colapso del 25%de la estructura.
Marcos de acero con muros de concreto colados en sitio	S4	Grietas diagonales pequeñas se presentan los muros de corte	Superficie de los muros de corte presenta grietas diagonales, algunos muros han excedido la capacidad de	Muros de corte han excedido su capacidad de fluencia, algunos han excedido su capacidad última, grietas que	Peligro de colapso por falla de los muros cortantes, perdida de estabilidad de los marcos de acero, en estructuras de

			fluencia	atraviesan el muro, colapso parcial debido a conexiones de los muros con los marcos de acero.	menos de tres plantas pueden presentar el colapso de un 20% del área total.
Marcos de acero con muros de mampostería confinada sin reforzar	S5	Grietas diagonales menores en la mayor parte de los muros de mampostería	Mayor parte de muros con grietas diagonales u horizontales considerables, algunos muros presentan bloques fallados cerca de las conexiones viga-columna	Grietas grandes en los muros, algunos muros pueden fallar o caer. Algunas conexiones de los marcos pueden haber fallado. La estructura puede presentar deformaciones permanentes considerables o bien colapso debido a la falla de miembros críticos	La estructura colapsa o se encuentra en riesgo de colapso por falla de los muros y pérdida de estabilidad del marco principal, un 25% del área total de la estructura podrá presentar colapso.
Marcos de concreto reforzado	C1	Grietas leves de flexión en algunas vigas, columnas y nudos	Muchas de las vigas y las columnas muestran grietas leves, en marcos dúctiles se habrá alcanzado el límite plástico,	Algunos elementos del marco principal han alcanzado su última capacidad, marcos dúctiles se observan grietas de flexión,	La estructura colapsa o en riesgo inminente de colapso por falla frágil de elementos poco dúctiles o pérdida de estabilidad del

			mostrando grietas de flexión y descascaramiento del concreto, marcos menos dúctiles mostraran mayores grietas de cortante y descascaramiento	descascaramiento del concreto y refuerzo pandeado, marcos menos dúctiles presentan fallas por cortante, fallas por adherencia en el refuerzo, pandeo refuerzo principal que puede producir colapso parcial de la estructura	marco, estructuras de menos de tres pisos pueden colapsar aproximadamente el 20% del área total.
Muros de cortante de concreto	C2	Fisuras diagonales en la mayor parte de los muros de corte, descascaramiento menor del concreto en algunos sectores	La mayor parte de la superficie de los muros muestra agrietamiento diagonal, algunos muros alcanzaran capacidad de fluencia al presentar grietas diagonales y descascaramiento del concreto en los bordes de los muros	La mayor parte de los muros de corte han sobrepasado su capacidad de fluencia y presentan grietas diagonales grandes que atraviesan los muros, descascaramiento extensivo del concreto y el refuerzo se	La estructura ha colapsado o en peligro inminente de colapso por falla de la mayor parte de los muros de corte y algunas vigas y columnas criticas, en estructuras de menos de tres pisos, puede colapsar el 20% del área

				encuentra visiblemente pandeado, colapso parcial por falla de columnas poco dúctiles o no diseñadas para resistir cargas laterales	
Marcos de concreto con muros de mampostería sin reforzar	C3	Agrietamiento leve en muros y uniones del muro con el marco	La mayoría de los muros muestran grietas diagonales u horizontales, algunos muros muestran bloques fallados a compresión cerca de las uniones viga-columna, en vigas y columnas muestran grietas de cortante	La mayor parte de muros mampostería con grietas grandes, algunos bloques pueden caer del muro y algunos muros pueden tener desplazamientos hacia fuera del plano, algunos muros pueden colapsar parcial o totalmente, algunas vigas o columnas pueden fallar por cortante y la estructura presentara deformación	La estructura ha colapsado o en riesgo inminente de colapsar debido a una combinación del colapso de los muros y la falla de vigas y columnas poco dúctiles, aproximadamente el 25% del total del área de las estructuras de menos de tres pisos podrá colapsar

				lateral permanente	
Muros de concreto prefabricados	PC1	Grietas diagonales menores en los muros, grietas de mayor tamaño cerca de marcos de puertas y ventanas, descascaramiento menor del concreto en algunos lugares	Mayor parte de los muros con grietas diagonales, especialmente cerca de puertas y ventanas, algunos muros han alcanzado su capacidad de fluencia.	La mayoría de los muros han excedido su capacidad de fluencia, grandes grietas diagonales que atraviesan los muros, colapso parcial del techo	La estructura ha colapsado o en riesgo de colapso por falla de conexiones entre techo y muros, en edificaciones de menos de tres plantas, se presenta el colapso de aproximadamente un 25% del total del área
Marcos de concreto prefabricado con muros de corte	PC2	Grietas diagonales menores en los muros, descascaramiento leve del concreto en algunas conexiones de los miembros prefabricados	La mayor parte de los muros muestran grietas diagonales, algunos muros de corte han excedido su capacidad de fluencia y presentan grietas mayores así como descascaramiento del concreto en los borde de los muros, algunas	La mayor parte de los muros de concreto han excedido su capacidad de fluencia, se presentan grietas diagonales que atraviesan los muros, descascaramiento del concreto extensivo y refuerzo visiblemente	La estructura ha colapsado o en riesgo inminente de colapsar por falla de los muros de cortante y conexiones prefabricadas de los marcos, en edificaciones de menos de tres plantas se presenta el colapso de aproximadamente

			fallas en conexiones soldadas y coladas en sitio	pandeado, algunas conexiones prefabricadas criticas pueden haber fallado	un 25% del total del área
Muros de mampostería reforzada tipo cajón	RM1	Grietas diagonales en los muros de mampostería, grietas mayores cerca de marcos de puertas y ventanas , desplazamiento relativo leve entre techo y muros	La mayor parte de los muros presentan grietas diagonales, algunos muros de corte han excedido su capacidad de fluencia lo cual se evidencia por grietas de mayor tamaño, desplazamiento relativo visible entre el muro y el techo	La mayor parte de los muros han excedido su capacidad de fluencia otros han excedido su ultima capacidad evidenciado por grandes grietas que atraviesan los muros y pandeo visible de las barras de refuerzo, presenta colapso parcial del techo por falla de anclajes del techo con los muros y conexiones de las vigas y muros	La estructura ha colapsado o se encuentra en inminente peligro de colapso debido a los anclajes del muro o falla frágil de los paneles prefabricados (baldosas), aproximadamente un 20% del área de las estructuras de menos de 3 pisos puede colapsar.
Muros de mampostería reforzada con diafragmas	RM2	Grietas diagonales leves en los muros, grietas mayores	La mayor parte de los muros presentan grietas diagonales,	La mayor parte de los muros han excedido su capacidad de	La estructura ha colapsado o se encuentra inminente peligro

de concreto		cerca de los marcos de puertas y ventanas	algunos muros han excedido su capacidad de fluencia, lo cual se evidencia por grietas mayores	fluencia, otros han excedido su capacidad última lo cual se evidencia por la presencia de grandes grietas que atraviesan los muros y pandeo visible de las barras de refuerzo	de colapso debido al colapso de los muros, aproximadamente un 20% del área de las estructuras de menos de 3 pisos puede colapsar.
Muros de mampostería sin reforzar	URM	Grietas diagonales leves en los muros, grietas mayores cerca de marcos de puertas y ventanas	Muchos muros muestran grietas diagonales , muros de mampostería presentan separación de diafragmas, algunos bloques pueden caer de los muros	Agrietamiento considerable, caída de parapetos, vigas y armaduras se han desplazado de sus soportes	La estructura ha colapsado o se encuentra en inminente peligro de colapso por la falla de los muros hacia fuera del plano, aproximadamente un 20% del área de las estructuras de menos de 3 pisos puede colapsar
Casas móviles	MH	Daño en las entradas, escaleras y otros componentes	La casa se mueve de sus soportes produciendo daños en estos	La casa móvil se ha movido de sus soportes y se dañan las líneas de agua y	Se ha movido totalmente de los soportes, se han dañado las líneas eléctricas y

		externos	soportes	electricidad	tuberías, colapsa el 5% del área de la casa móvil
--	--	----------	----------	--------------	---

Fuente: Evaluacion del impacto, Metodologia para la estimación del daño para edificios en general , LANAME, UCR.

Anexo 6 Tabla para la determinación de atrapados y fatalidad por tipo de edificación

Cod	Descripcion	Atrapados [%]	Fatalidad [%]
A1	Adobe / tapia	2	10
A2	Bahareque	5	15
MS1	Mam posteria simple sin diafragma	5	15
MS2B	Mam posteria simple con diafragma rígido - Bajos	5	15
MS2M	Mam posteria simple con diafragma rígido - Medios	5	15
MSC1	Mam posteria semi confinada sin diafragma	5	15
MSC1	Mam posteria semi confinada con diafragma rígido	5	15
MC2B	Mam posteria confinada sin diafragma - Bajos	5	15
MC3B	Mam posteria confinada con diafragma - Bajos	5	15
MC3M	Mam posteria confinada con diafragma - Medios	5	15
MR1L	Mam posteria Reforzada diafragma flexible (madera, acero o prefab.) - Bajos	5	15
MR1M	Mam posteria Reforzada diafragma flexible (madera, acero o prefab.) - Medios	5	15
MR2L	Mam posteria Reforzada Diafragma "rígido" - Bajos	5	15
MR2M	Mam posteria Reforzada Diafragma "rígido" - Medios	5	15
MR2H	Mam posteria Reforzada Diafragma "rígido" - Altos	5	15
W1	Madera Pórticos Livianos	7	20
W2	Madera Comercial-Industrial	7	20
S1L	Apero-Pórticos Resistentes a Momento - Bajos	2	10
S1M	Apero-Pórticos Resistentes a Momento - Medios	2	10
S1H	Apero-Pórticos Resistentes a Momento - Altos	2	10
S2L	Apero-Pórticos arriostrados - Bajos	7	25
S2M	Apero-Pórticos arriostrados - Medios	7	25
S2H	Apero-Pórticos arriostrados - Altos	7	25
S3	Marcos de acero livianos	7	25
S4L	Pórticos de acero con muros mamposteria simple - Bajos	30	50
S4M	Pórticos de acero con muros mamposteria simple - Medios	30	50
S4H	Pórticos de acero con muros mamposteria simple - Altos	30	50
C1L	Concreto-Pórticos resistentes a momentos Acabados flexibles - Bajos	30	50
C1M	Concreto-Pórticos resistentes a momentos Acabados flexibles - Medios	30	50
C1H	Concreto-Pórticos resistentes a momentos Acabados flexibles - Altos	30	50
C2L	Concreto-Pórticos resistentes a momentos Acabados frágiles - Bajos	30	50
C2M	Concreto-Pórticos resistentes a momentos Acabados frágiles - Medios	30	50
C2H	Concreto-Pórticos resistentes a momentos Acabados frágiles - Altos	30	50
C3L	Concreto- Muros mamposteria - Bajos	30	50
C3M	Concreto- Muros mamposteria - Medios	30	50
C3H	Concreto- Muros mamposteria - Altos	30	50
CP1	Concreto prefabricado - Tilt-up	10	15
CP2L	Concreto prefabricado en porticos con muros estructurales de concreto - Bajos	15	30
CP2M	Concreto prefabricado en porticos con muros estructurales de concreto - Medios	15	30
CP2H	Concreto prefabricado en porticos con muros estructurales de concreto - Altos	15	30
CLC	Sistema losa-columna (Reticular celulado)	50	50
BAC	Bodega - cerchas sobre estructura metálica con cerramiento ligero	7	20
BAL	Bodega - cerchas sobre estructura metálica con cerramiento ligero	7	20
BCC	Bodega - cercha sobre columnas y vigas concreto con muros mamposteria	7	20
BCL	Bodega - cercha sobre columnas y vigas concreto con muros mamposteria	7	20
I	Iglesias en mamposteria simple	20	40

Anexo 7 Tabla de cargas de ocupación de acuerdo con la utilización de las edificaciones

Destino	m ² x persona	Destino	m ² x persona
Vivienda (superficie útil):		Salud (Hospitales y Clínicas):	
Unidades de hasta 60 m ²	15,0	Áreas de servicios ambulatorios y diagnóstico	6,0
Unidades de más de 60 m ² hasta 140 m ²	20,0	Sector de habitaciones (superficie total)	8,0
Unidades de más de 140 m ²	30,0	Oficinas administrativas	10,0
Oficinas (superficie útil):	10,0	Áreas de tratamiento a pacientes internos	20,0
Comercio (locales en general) :		Salud (Consultorios, Policlínicos) :	
Salas de venta niveles -1 , 1 y 2	3,0	Salas de espera	0,8
Salas de venta en otros pisos	5,0	Consultas	3,0
Supermercados (área de público)	3,0	Otros :	
Supermercados (trastienda)	15,0	Recintos de espectáculos (área para espectadores de pie)	0,25
Mercados y Ferias (área de público)	1,0	Capillas, Discotecas	0,5
Mercados y Ferias (puestos de venta)	4,0	Salones de reuniones	0,8
Comercio (Malls) :		Área para público en bares, cafeterías, pubs	1,0
Locales comerciales, en niveles con acceso exterior	10,0	Restaurantes (comedores), salones de juego	1,5
Pasillos entre locales, en niveles con acceso exterior	5,0	Salas de exposición	3,0
Locales comerciales, otros niveles	14,0	Hogares de niños	3,0
Pasillos entre locales, otros niveles	7,0	Gimnasios, Academias de danza	4,0
Patios de comida y otras áreas comunes con mesas	1,0	Hogares de ancianos	6,0
Educación:		Estacionamientos de uso común o públicos (superficie total)	16,0
Salones, auditorios	0,5	Hoteles (superficie total)	18,0
Salas de uso múltiple, casino	1,0	Bodegas, Archivos	40,0
Salas de clase	1,5		
Camarines, gimnasios	4,0		
Talleres, Laboratorios, Bibliotecas	5,0		
Oficinas administrativas	7,0		
Cocina	15,0		

TABLA DE CARGA DE OCUPACION

asesorías de arquitectura y construcción



Anexo 8 Evaluación de la infraestructura del Distrito Santa Cruz (Formulario ATC-20)

Código zona SC-1 , código LANAME S2

ATC-20 Detailed Evaluation Safety Assessment Form

Inspection
 Inspector ID: Jarlim Rojas Fallas
 Affiliation: —
 Inspection date and time: 13-11-2010, 10:00 AM PM

Final Posting from page 2
 Inspected
 Restricted Use
 Unsafe

Building Description

Building name: Lechería Blanco y Negro
 Address: Santa Cruz Turrialba
300 m. oeste de Guayabo Labe
 Building contact/phone: Diana / 2538-8187
 Number of stories above ground: — below ground: —
 Approx. "Footprint area" (square feet): 1500 m²
 Number of residential units: —
 Number of residential units not habitable: 4

Type of Construction

Wood frame
 Steel frame
 Tilt-up concrete
 Concrete frame

Concrete shear wall
 Unreinforced masonry
 Reinforced masonry
 Other: —

Primary Occupancy

Dwelling
 Other residential
 Public assembly
 Emergency services

Commercial
 Offices
 Industrial
 Other: —

Government
 Historic
 School

Evaluation

Investigate the building for the conditions below and check the appropriate column. There is room on the second page for a sketch.

	Minor/None	Moderate	Severe	Comments
Overall hazards:				
Collapse or partial collapse	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Building or story leaning	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Structural hazards:				
Foundations	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Roofs, floors (vertical loads)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Columns, pilasters, corbels	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Diaphragms, horizontal bracing	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Walls, vertical bracing	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Precast connections	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Nonstructural hazards:				
Parapets, ornamentation	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Cladding, glazing	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ceilings, light fixtures	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Interior walls, partitions	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Elevators	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Stairs, exits	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Electric, gas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Geotechnical hazards:				
Slope failure, debris	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ground movement, fissures	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
General Comments: <u>No presenta daños de ningún tipo.</u>				

Continue on page 2

Building name: Hotel Guayabo Lodge Inspector ID: Jarlim Rojas Fallas

Sketch (optional)

Provide a sketch of the building or damaged portions. Indicate damage points.

Estimated Building Damage

If requested by the jurisdiction, estimate building damage (repair cost + replacement cost, excluding contents).

- None
- 0-1%
- 1-10%
- 10-30%
- 30-60%
- 60-100%
- 100%

Posting

If there is an existing posting from a previous evaluation, check the appropriate box.

Previous posting: INSPECTED RESTRICTED USE UNSAFE Inspector ID: _____ Date: _____

If necessary, revise the posting based on the new evaluation and team judgment. *Severe* conditions endangering the overall building are grounds for an Unsafe posting. Local *Severe* and overall *Moderate* conditions may allow a Restricted Use posting. Indicate the current posting below and at the top of page one.

INSPECTED (Green placard) **RESTRICTED USE** (Yellow placard) **UNSAFE** (Red placard)

Record any use and entry restrictions exactly as written on placard: _____

Further Actions Check the boxes below only if further actions are needed.

Barricades needed in the following areas: _____

Engineering Evaluation recommended: Structural Geotechnical Other: _____

Other recommendations: _____

Comments: Hotel de 2 y 3 niveles con 8 y 4 años de construido respectivamente, en buen estado

© Copyright 1995-07, Applied Technology Council. Permission is granted for unlimited, non-exclusive, non-commercial use and distribution of ATC evaluation forms, provided that this Copyright Notice appears on all copies and the Applied Technology Council name shall not be used in any advertising or publicity of Licensee product. Permission is further subject to the following conditions: (1) Licensee does not reprint, repackage or offer this form for sale or license; and (2) no material gain or financial profit is to be made from any sale or license of this form. Placards may be used without restrictions for their intended use as building postings. All rights not specifically granted to Licensee are herein reserved by ATC.

Código zona SC-6 , código LANAME -

ATC-20 Detailed Evaluation Safety Assessment Form

Inspection

Inspector ID: Jarlim Rojas Fallas
 Affiliation: _____
 Inspection date and time: 13-11-2010, 10:45 AM PM

Final Posting from page 2

- Inspected
 Restricted Use
 Unsafe

Building Description

Building name: Tubería Arveducto
 Address: Tanque de Agua principal hasta El Carmen
 Building contact/phone: _____
 Number of stories above ground: — below ground: —
 Approx. "Footprint area" (square feet): 3 km
 Number of residential units: —
 Number of residential units not habitable: 2

Type of Construction

- Wood frame Concrete shear wall
 Steel frame Unreinforced masonry
 Tilt-up concrete Reinforced masonry
 Concrete frame Other: PVC

Primary Occupancy

- Dwelling Commercial Government
 Other residential Offices Historic
 Public assembly Industrial School
 Emergency services Other: _____

Evaluation

Investigate the building for the conditions below and check the appropriate column. There is room on the second page for a sketch.

	Minor/None	Moderate	Severe	Comments
Overall hazards:				
Collapse or partial collapse	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<u>Zona de deslizamiento cercana al Tanque principal</u>
Building or story leaning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Structural hazards:				
Foundations	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Roofs, floors (vertical loads)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Columns, pilasters, corbels	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Diaphragms, horizontal bracing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Walls, vertical bracing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Precast connections	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Nonstructural hazards:				
Parapets, ornamentation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Cladding, glazing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ceilings, light fixtures	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Interior walls, partitions	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Elevators	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Stairs, exits	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Electric, gas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Geotechnical hazards:				
Slope failure, debris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ground movement, fissures	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____

General Comments: El deslizamiento del terreno podría fracturar las tuberías.

Continue on page 2

Building name: Tubería Acueducto Inspector ID: Jarlim Rojas Fallas

Sketch (optional)

Provide a sketch of the building or damaged portions. Indicate damage points.

Estimated Building Damage

If requested by the jurisdiction, estimate building damage (repair cost + replacement cost, excluding contents).

- None
- 0-1%
- 1-10%
- 10-30%
- 30-60%
- 60-100%
- 100%

Posting

If there is an existing posting from a previous evaluation, check the appropriate box.

Previous posting: INSPECTED RESTRICTED USE UNSAFE Inspector ID: _____ Date: _____

If necessary, revise the posting based on the new evaluation and team judgment. *Severe* conditions endangering the overall building are grounds for an Unsafe posting. Local *Severe* and overall *Moderate* conditions may allow a Restricted Use posting. Indicate the current posting below and at the top of page one.

INSPECTED (Green placard) **RESTRICTED USE** (Yellow placard) **UNSAFE** (Red placard)

Record any use and entry restrictions exactly as written on placard: _____

Further Actions Check the boxes below only if further actions are needed.

Barricades needed in the following areas: _____

Engineering Evaluation recommended: Structural Geotechnical Other: _____

Other recommendations: _____

Comments: Es recomendable colocar muro de gaviones en la zona de deslizamiento.