

Evaluación del Impacto Ingenieril de un Terremoto en la Península de Nicoya



INFORME FINAL Volumen III

Preparado por
Programa de Ingeniería Sísmica, LANAMME
Universidad de Costa Rica
Coordinador del Proyecto: Ing. Guillermo Santana, Ph.D.

para
Comisión Nacional de Emergencias

Setiembre 1999

TABLA DE CONTENIDOS

VOLUMEN I

1. Descripción del proyecto	1-1
1.1 Introducción	1-1
1.2 Beneficiarios	1-1
1.3 Objetivos	1-1
1.3.1 Objetivo general	1-1
1.3.2 Objetivos específicos	1-2
1.4 Productos	1-2
1.5 Esquema organizativo	1-2
1.6 Tareas específicas	1-3
1.7 Instituciones y personas contactadas	1-5
1.8 Programa de giras de comprobación de campo	1-7
1.9 Evaluación de parte del WSSI	1-8
1.10 Clasificación de instalaciones	1-8
2. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	2-1
2.1 Definición de un SIG	2-1
2.2 Ejemplos de aplicaciones de SIG	2-1
2.3 Paquetes SIG disponibles en el mercado	2-2
2.4 Atributos y componentes de un SIG	2-3
2.4.1 Captura de datos	2-3
2.4.2 Análisis	2-4
2.4.3 Manipulación	2-6
2.4.4 Indagación	2-7
2.4.5 Despliegue y reporte	2-8
2.5 Características de los datos de un SIG	2-9
2.6 Estructura de base de datos	2-11
3. Esquema de Análisis de Amenaza Sísmica	3-1
3.1 Método general	3-1
3.2 Tipo de análisis	3-1
3.3 Modelaje de sismicidad y fallas	3-1
3.4 Modelaje de la frecuencia sísmica	3-3
3.5 Modelaje del movimiento del suelo	3-3
3.6 Estimación de la Amenaza en Sitio	3-4
3.7 Análisis de incertidumbre	3-6
3.8 Efectos locales del sitio	3-6
3.9 Amenazas colaterales	3-8

4.	Determinación de la Amenaza Sísmica mediante SIG	4-1
4.1	Datos digitales requerido	4-1
4.2	Modelaje del movimiento del suelo	4-1
4.2.1	Análisis probabilístico	4-1
4.2.2	Análisis determinístico	4-2
4.3	Efectos locales del sitio	4-3
4.3.1	Modificación del movimiento del suelo	4-3
4.3.2	Licuefacción	4-4
4.3.3	Deslizamientos	4-5
4.3.4	Ruptura del suelo	4-5
4.4	Amenazas colaterales	4-6
4.4.1	Inundación	4-6
4.4.2	Incendios debidos a sismo	4-7
5.	Referencias y figuras	5-1
6.	Ilustraciones	6-1
7.	Anexos. Fórmulas de investigación de campo.	7-1

VOLUMEN II

1.	Generalidades	1-1
1.1	Introducción	1-1
1.2	Objetivos	1-2
1.2.1	Objetivo general	1-2
1.2.2	Objetivos específicos	1-2
1.3	Alcance	1-3
1.4	Antecedentes	1-3
2.	Aspectos teóricos	2-1
2.1	Consideraciones sobre ingeniería sísmica	2-1
2.1.1	Tectónico global y origen de los terremotos	2-1
2.1.2	Transmisión de la energía sísmica	2-2
2.1.3	Características principales de los sismos	2-3
2.1.3.1	Magnitud del sismo	2-3
2.1.3.2	Foco y epicentro	2-5
2.1.3.3	Intensidad	2-5
2.1.3.4	Momento Sísmico	2-6

2.1.3.5 Energía Sísmica	2-6
2.2 Sistemas de Información Geográfica	2-6
2.2.1 Definición y características	2-6
2.2.2 Atributos de un SIG	2-7
2.2.2.1 Captura de datos	2-7
2.2.2.2 Análisis	2-7
2.2.2.3 Manipulación	2-8
2.2.2.4 Selección	2-9
2.2.2.5 Despliegue	2-9
3. Distribución de la aceleración del sismo de Nicoya	3-1
3.1 Ubicación y características del sismo	3-1
3.2 Propagación de la onda sísmica	3-2
3.3 Distribución de la aceleración pico para el sismo de Nicoya	3-5
4. Evaluación de daños en carreteras	4-1
4.1 Licuación	4-1
4.1.1 Probabilidad de licuación	4-3
4.1.2 Zonas con probabilidad de licuación	4-4
4.1.3 Deformación permanente del suelo por licuación	4-5
4.1.4 Deformaciones en la zona de Guanacaste	4-6
4.2 Deslizamientos	4-6
4.2.1 Desplazamientos permanentes del terreno por deslizamiento	4-7
4.2.2 Determinación de deformaciones en la zona de Guanacaste	4-8
4.3 Determinación de daños en carreteras	4-8
4.4 Daños esperados en las carreteras de Guanacaste	4-10
5. Determinación de daños en puentes	5-1
5.1 Metodología de análisis de daños	5-1
5.2 Otros enfoques existentes	5-1
5.3 Descripción del método del "Risk Management Solutions, Inc"	5-3
5.3.1 Clasificación de puentes	5-4
5.3.2 Definición de los estados de daños	5-5
5.3.3 Funciones de daños en puentes	5-5
5.4 Revisión de la metodología para el sismo de Limón	5-6
5.5 Daños causados por el efecto de la aceleración	5-7
5.6 Daños esperados debido a la licuación	5-8
5.7 Daños ocasionados por la combinación de efecto de la aceleración y la licuación	5-9
6. Conclusiones y recomendaciones	6-1

6.1 Conclusiones	6-1
6.2 Recomendaciones	6-2
7. Referencias	7-1
Anexo A: Relaciones de atenuación	A-1
Anexo B: Mapas de aceleración, geología y pendientes	B-1
Anexo C: Estratigrafía de Guanacaste	C-1
Anexo D: Curvas de fragilidad	D-1
Anexo E: Clasificación, daños calculados y daños observados observados para los principales puentes de la zona de Limón	E-1
Anexo F: Clasificación, descripción y daños esperados para los puentes de Guanacaste.	F-1
Anexo G: Definición y componentes de los puentes	G-1

VOLUMEN III

1. Generalidades	1-1
1.1 Introducción	1-1
1.2 Objetivos	1-3
1.2.1 Objetivo general	1-3
1.2.2 Objetivos específicos	1-3
1.3 Alcance del proyecto	1-4
1.4 Antecedentes teórico y/o prácticos del problema	1-5
2. Antecedentes	2-1
2.1 Aspectos Generales sobre desastres naturales	2-1
2.1.1 Efectos de los desastres	2-1
2.1.2 Definiciones	2-2
2.1.3 Amenaza y Riesgo Sísmico	2-3
2.2 Peligros Geológicos	2-4
2.2.1 Visión general del proceso de la planificación para el desarrollo	2-4

2.2.2 Terremotos	2-5
3. La Zona de Estudio	3-1
3.1 Delimitación	3-1
3.2 Historia Sísmica	3-3
4. Metodología para la Estimación de Daño para Edificios en General	4-1
4.1 Descripción de la metodología	4-1
4.1.1 Datos de Entrada Requeridos para el Análisis	4-2
4.1.2 Funciones de Daño	4-2
4.2 Descripción de los tipos de modelos para edificios	4-5
4.2.1 Sistemas Estructurales	4-6
4.3 Daño Estructural	4-9
4.4 Daño en edificios debido al movimiento del terreno	4-18
4.4.1 Generalidades	4-18
4.4.2 Curvas de Capacidad	4-18
4.4.3 Curvas de Fragilidad	4-20
4.4.4 Curvas de Fragilidad Estructural para PGA	4-21
4.5 Daño en Edificios debido a falla del terreno	4-21
4.5.1 Generalidades	4-21
4.5.2 Curvas de Fragilidad–Desplazamiento permanente del terreno	4-21
4.5.3 Asentamiento del terreno	4-23
5. Distribución de la Aceleración Pico en la Zona en Estudio	5-1
5.1 Generalidades	5-1
5.2 Relaciones de atenuación de Youngs et al	5-1
6. Caracterización de las Estructuras de los Centros Educativos y de Salud	6-1
6.1 Problemas de configuración en las edificaciones	6-1
6.1.1 Longitud	6-2
6.1.2 Flexibilidad	6-3
6.1.3 Falta de Redundancia	6-3
6.1.4 Torsión	6-4
6.1.5 Flexibilidad del diafragma	6-5
6.1.6 Concentración de esfuerzo en planta	6-6
6.1.7 Concentración de masa	6-6
6.1.8 Columnas débiles	6-7
6.1.9 Pisos débiles	6-7

6.2 Infraestructura de los Centros Educativos	6-8
6.2.1 Aspectos generales	6-8
6.2.2 Centros Educativos en estudio	6-9
6.3 Infraestructura de los Centros de Salud	6-15
6.3.1 Aspectos generales	6-15
6.3.2 Centros de Salud en estudio	6-15
6.4 Descripción de las estructuras analizadas	6-18
7. Daños en los Centro Educativos y de Salud	7-1
7.1 Aspectos generales	7-1
7.2 Descripción de daños de las estructuras considerando el PGA	7-2
7.2.1 Daños esperados para los Centros Educativos	7-2
7.2.2 Descripción de daños en Centros de Salud	7-7
7.3 Daños por deslizamiento del terreno	7-10
7.4 Daños por licuación en las estructuras	7-10
7.5 Daños esperados en las estructuras de los centros educativos y de salud	4-10
8. Conclusiones y Recomendaciones	8-1
8.1 Conclusiones	8-1
8.2 Recomendaciones	8-6
9. Referencias Bibliográficas	9-1
Anexo A:	
Matriculas en escuela de la zona en estudio	A-1
Colegios de la zona de estudio	A-20
Anexo B: Escuelas y clínicas evaluadas en el estudio	
Escuelas de Puntarenas	B-1
Escuelas de Guanacaste	B-12
Colegios de Puntarenas	B-37
Colegios de Guanacaste	B-51
Clínicas de Puntarenas	B-79
Clínicas de Guanacaste	B-86

VOLUMEN IV

1. Introducción	1-1
1.1 Justificación	1-1
1.2 Objetivos	1-4
1.3 Ubicación del área de estudio	1-5
1.4 Metodología	1-6
2. Marco geológico	2-1
2.1 Antecedentes sobre el origen y emplazamiento del Complejo de Nicoya y la cobertura sedimentaria	2-1
2.2 Estratigrafía Regional	2-4
2.2.1 Complejo de Nicoya	2-5
2.2.2 Formación Sabana Grande	2-6
2.2.3 Formación Conglomerado Barbudal	2-6
2.2.4 Formación Rivas o Curú	2-7
2.2.5 Rocas clásticas y bioclásticas	2-8
2.2.5.1 Formación Barra Honda	2-8
2.2.5.2 Formación Brito	2-8
2.2.6 Formación Masachapa	2-9
2.2.7 Rocas volcánicas	2-9
2.2.7.1 Formación Bagaces	2-10
2.2.7.2 Formación Liberia	2-10
2.2.8 Manglares y Pantanos	2-11
2.2.9 Depósitos Recientes	2-11
2.3 Aspectos geomorfológicos y neotectónicos	2-14
2.3.1 Consideraciones generales	2-14
2.3.2 Formas de origen volcánico denudacional	2-16
2.3.2.1 Serranías de la Península de Nicoya	2-16
2.3.2.2 Meseta volcánica de Santa Rosa	2-17
2.3.3 Formas de origen sedimentario denudacional	2-17
2.3.4 Formas de origen fluvial	2-18
2.3.5 Consideraciones sobre Neotectónica	2-18
2.4 Aspectos de geología estructural	2-20
3. Aspectos sismológicos	3-1
3.1 Sismotectónica	3-1
3.2 Sismicidad en la región del Pacífico norte de Costa Rica	3-10
4. Generalidades sobre amplificación de la señal sísmica en el subsuelo	4-1

4.1	Introducción	4-1
4.2	Características del movimiento sísmico del terreno	4-2
4.2.1	Parámetros de amplitud	4-2
4.2.2	Parámetros de contenido de frecuencias	4-4
4.2.2.1	Espectro del movimiento sísmico del terreno	4-5
4.2.2.2	Parámetros espectrales	4-7
4.2.2.3	Razón v_{\max}/a_{\max}	4-8
4.2.3	Duración	4-8
4.2.4	Discusión	4-9
4.3	Factores que afectan el movimiento sísmico del terreno	4-10
4.4	Influencia de las condiciones del suelo en las características del movimiento sísmico del terreno	4-12
5.	Programa de análisis de respuesta sísmica del terreno	5-1
5.1	Limitaciones que presenta el programa SHAKE (NORAD-CEPREDENAC, 1997)	5-1
5.2	Modelo matemático del SHAKE	5-2
5.3	El efecto de las propiedades del semi-espacio elástico	5-7
5.4	Transformada de Fourier	5-8
5.5	Comportamiento no lineal del suelo	5-9
5.6	Método lineal equivalente	5-9
5.7	Método de solución exacta	5-11
6.	Análisis de la información obtenida	6-1
6.1	Mapa geológico	6-1
6.2	Mapa tipos de suelos	6-2
6.3	Mapa geológico y sondeos geofísicos	6-4
6.4	Determinación de los parámetros geofísicos del suelo y roca a utilizar en el análisis	6-9
7.	Resultados del programa de análisis de respuesta sísmica terreno	7-1
7.1	Movimientos sísmicos de entrada y su influencia en la amplificación sísmica	7-1
7.2	Resultados generales del programa	7-3
7.3	Métodos espectrales y funciones de transferencia	7-4
7.4	Espectros de respuesta propuestos y funciones de transferencia	7-5
7.5	Resultados generales de los tres grupos de pozos estudiados	7-29
7.6	Espectros de diseño propuestos	7-33
7.7	Limitaciones	7-40
8.	Conclusiones	8-1

8.1 Conclusiones	8-1
8.2 Recomendaciones	8-5
9. Bibliografía	9-1
<u>ANEXO 1</u> Información general de los movimientos sísmicos utilizados	A1
<u>ANEXO 2</u> Perfiles geológicos de los pozos utilizados en los tres grupos de estudio y resultados del programa	A2-1
• Primer grupo de estudio	A2-2
• Segundo grupo de estudio	A2-3
• Tercer grupo de estudio	A2-4
• Grupo A	A2-5
• Grupo B	A2-6

VOLUMEN V

1. Introducción	1-1
1.1 Justificación	1-1
1.2 Objetivos	1-2
1.3 Alcance y limitaciones	1-2
1.4 Metodología	1-3
2. Vulnerabilidad sísmica y tipos de daños en puentes	2-1
2.1 Generalidades	2-1
2.2 Tipos de daños en puentes debidos a terremotos	2-1
2.2.1 Desplazamientos	2-1
2.2.2 Daños en columnas	2-4
2.2.3 Fallas en las uniones	2-5
2.2.4 Falla en las fundaciones	2-5
3. Estimación de la demanda sísmica	3-1
3.1 Antecedentes	3-1
3.2 Medición de los sismos	3-1
3.3 Atenuación de la aceleración del terreno	3-3
3.4 Aplicación de las relaciones de atenuación al terremoto de Nicoya	3-5
3.5 Determinación del espectro de respuesta para el análisis	3-7
4. Descripción de la estructura	4-1
4.1 Localización	4-1
4.2 Generalidades	4-1
4.3 Especificaciones	4-1
4.3.1 Diseño y construcción	4-1
4.3.2 Materiales	4-2
4.3.2.1 Concreto	4-2
4.3.2.2 Acero de refuerzo	4-2
4.4 Descripción de la superestructura	4-2
4.4.1 Tramo de vigas de concreto postensado	4-2
4.4.2 Tramo de vigas tipo canaleta	4-3
4.5 Descripción de la subestructura	4-3
4.5.1 Bastiones	4-4
4.5.2 Pila	4-4
4.6 Apoyos y conexiones	4-4
4.6.1 Claros de vigas tipo I postensadas	4-5
4.6.2 Claro de vigas pretensadas tipo canaleta	4-5

5.	Consideraciones acerca del modelo y método de análisis	5-1
5.1	Descripción del programa SEISAB	5-1
5.1.1	Introducción	5-1
5.1.2	Características del modelo generado	5-1
5.1.3	Métodos de análisis	5-3
5.1.4	Combinación de respuestas modales	5-3
5.1.5	Combinaciones de carga	5-4
5.2	Modelo de la superestructura	5-4
5.3	Modelo de la pila	5-5
5.4	Modelo de bastiones y fundaciones	5-6
5.4.1	Efecto del suelo en placas aisladas	5-6
5.4.2	Efecto del suelo en los bastiones	5-9
6.	Análisis de resultados	6-1
6.1	Discusión acerca del modelo utilizado	6-1
6.2	Caracterización modal	6-2
6.3	Revisión de desplazamientos	6-3
6.3.1	Desplazamientos en los bastiones	6-3
6.3.2	Desplazamientos en las conexiones pila-superestructura	6-5
6.4	Revisión de la columna de la pila	6-6
6.4.1	Flexocompresión	6-6
6.4.2	Cortante	6-8
6.5	Revisión de la placa de fundación de la pila	6-9
6.6	Revisión de conexiones	6-11
6.6.1	Llaves de cortante	6-11
6.6.2	Dovelas	6-11
7.	Conclusiones y recomendaciones	7-1
7.1	Conclusiones	7-1
7.2	Recomendaciones	7-4
8.	Referencias	8-1
Anexo A:	Detalles constructivos para los componentes principales del puente sobre el Río Nosara.	A-1
Anexo B:	Diagramas para la estimación de α y β	B-1

Indice de Figuras

Figura 4.1:	Curvas de Fragilidad.....	4-3
Figura 5.1:	Comportamiento de la ecuación de Youngs.....	5-5
Figura 6.1:	Relación entre la onda del sismo y la longitud de la estructura	6-2
Figura 6.2:	Redundancia de las estructuras.....	6-4
Figura 6.3:	Zonas potenciales de concentración de esfuerzos.....	6-6
Figura 6.4:	Escuelas de la zona de estudio.....	6-12
Figura 6.5:	Colegios de la zona de estudio.....	6-12
Figura 6.6:	Organización de los Centros de Salud.....	6-17

Índice de Tablas

Tabla 2.1:	Relación aproximada entre magnitud, intensidad, aceleración, liberación de energía e incidencia de un terremoto.....	2-8
Tabla 2.2 :	Relación del tipo de humedad con el tipo de movimientos.....	2-10
Tabla 4.1:	Tipos de estructuras propuestos por la metodología HAZUS.....	4-5
Tabla 4.2:	Relaciones de daños para PGD – Cimentaciones Superficiales...	4-22
Tabla 4.3:	Clasificación de susceptibilidad para la licuación.....	4-23
Tabla 4.4:	Asentamiento del terreno por Licuación según las categorías de susceptibilidad.....	4-24
Tabla 6.1:	Análisis para las escuelas de la zona de estudio.....	6-10
Tabla 6.2:	Análisis para los colegios de la zona de estudio.....	6-10
Tabla 6.3:	Escuelas incluidas en el análisis.....	6-13
Tabla 6.4:	Colegios incluidas en el análisis.....	6-14
Tabla 6.5:	Clínicas de la zona de estudio.....	6-16
Tabla 7.1:	Criterios de demanda sísmica.....	7-1
Tabla 7.2:	Aceleración base según la zona de estudio.....	7-1
Tabla 7.3:	Daño en escuelas por PGA, con corrección de Z_t a los 50 km.....	7-3
Tabla 7.4:	Daño en colegios por PGA, con corrección de Z_t a los 50 km.....	7-4
Tabla 7.5:	Daño en clínicas por PGA, con corrección de Z_t a los 50 km.....	7-8
Tabla 7.6:	Daño por deslizamientos en centros educativos y de salud.....	7-12
Tabla 7.7:	Daño por licuación en centros educativos y de salud.....	7-13

Índice de Mapas

Mapa 3.1:	Posible Área de ruptura del terremoto de Nicoya.....	3-5
Mapa 3.2:	Densidades poblacionales de los Distritos de Costa Rica para El mes de setiembre de 1997.....	3-6
Mapa 3.3:	Densidad de población de los Distritos de Costa Rica y delimitaciones de importancia.....	3-7
Mapa 3.4:	Ubicación de la Zona de Estudio.....	3-8
Mapa 3.5:	Detalle 1 de la Zona de Estudio.....	3-9
Mapa 3.6:	Detalle 2 de la Zona de Estudio.....	3-10
Mapa 3.7:	Detalle 3 de la Zona de Estudio.....	3-11
Mapa 3.8:	Densidad de población de los Distritos de la Zona de Estudio..	3-12
Mapa 5.1:	Formaciones Geológicas de la Zona de Estudio.....	5-6
Mapa 5.2:	Distribución espacial de la aceleración pico para la zona de Estudio.....	5-7
Mapa 5.3:	Aceleración del terreno en las zonas cercanas a Nicoya y Santa Cruz ...	5-8
Mapa 5.4:	Deformaciones permanentes del terreno por licuación.....	5-9
Mapa 5.5:	Deformaciones permanentes del terreno por deslizamiento.....	5-10
Mapa 6.1:	Ubicación de los Centros de Educación Primaria para la zona de estudio.....	6-22
Mapa 6.2:	Ubicación de los Centros de Educación Secundaria para la zona de estudio.....	6-23
Mapa 6.3:	Ubicación de los Centros de Educación Primaria en estudio.....	6-24
Mapa 6.4:	Ubicación de los Centros de Educación Secundaria en estudio..	6-25
Mapa 6.5:	Areas de Influencia para los Centros de Educación de Enseñanza Secundaria con más de 500 estudiantes.....	6-26
Mapa 6.6:	Areas de Influencia para los Centros de Educación de Enseñanza Primaria con más de 500 estudiantes.....	6-27
Mapa 6.7:	Zonas de influencia de los hospitales y las clínicas en el área de estudio.....	6-28

Mapa 6.8:	Clínicas y Hospitales presentes en la zona de estudio.....	6-29
Mapa 6.9:	Centros de Salud según su tipo.....	6-30
Mapa 7.1:	Deformaciones presentes en las estructuras por el PGD.....	7-14
Mapa 7.2:	Daño en las estructuras debido al PGD.....	7-15
Mapa 7.3:	Deformaciones en las estructuras que presentan licuación.....	7-16
Mapa 7.4:	Daño en las estructuras debido a la licuación.....	7-17
Mapa 7.5:	Daño para estructuras tipo C1L.....	7-18
Mapa 7.6:	Daños en Centros de Salud. Estructuras tipo C3L.....	7-19
Mapa 7.7:	Daños en Colegios. Estructuras tipo C3L.....	7-20
Mapa 7.8:	Daños en Escuelas. Estructuras tipo C3L.....	7-21
Mapa 7.9:	Daño para estructuras tipo C2H.....	7-22
Mapa 7.10:	Daños en Centros de Salud. Estructuras tipo PC2L.....	7-23
Mapa 7.11:	Daños en Colegios. Estructuras tipo PC2L.....	7-24
Mapa 7.12:	Daños en Escuelas. Estructuras tipo PC2L.....	7-25
Mapa 7.13:	Daños en Centros de Salud. Estructuras tipo S1L.....	7-26
Mapa 7.14:	Daños en Colegios. Estructuras tipo S1L.....	7-27
Mapa 7.15:	Daños en Escuelas. Estructuras tipo S1L.....	7-28
Mapa 7.16:	Daño para estructuras tipo S2L.....	7-29
Mapa 7.17:	Daño en colegios y clínicas. Estructuras tipo S3L.....	7-30
Mapa 7.18:	Daños en Escuelas. Estructuras tipo S3L.....	7-31
Mapa 7.19:	Daño en colegios y clínicas. Estructuras tipo URML.....	7-32
Mapa 7.20:	Daños en Escuelas. Estructuras tipo URML.....	7-33
Mapa 7.21:	Daño para estructuras tipo W1L.....	7-34
Mapa 7.22:	Daños en Colegios. Estructuras tipo W2L.....	7-35
Mapa 7.23:	Daños en Escuelas. Estructuras tipo W2L.....	7-36

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Introducción

Costa Rica a lo largo de su historia, ha sido sacudida frecuentemente por grandes sismos debido a que se encuentra ubicada en una de las regiones más sísmicas del mundo, el “Cinturón de Fuego del Pacífico”. Algunos ejemplos de estos sismos que han afectado el territorio nacional son: Cartago en 1910, Cóbano en 1991, Limón en 1991 y Alajuela en 1992.

Es importante mencionar que la mayoría de daños que sufren las estructuras durante los eventos sísmicos, se deben al mal comportamiento de estas, lo cual causa un fuerte impacto en la economía de un país debido a las pérdidas que se generaran.

Por lo anterior se considera de vital importancia los estudios de vulnerabilidad sísmica para nuestro país, encontrándose Costa Rica en la imposibilidad financiera para afrontar los costos de reconstrucción generados por los daños ante un terremoto. Un estudio de riesgo sísmico reducirá notablemente los impactos que podría causar un evento sísmico mediante el mejoramiento de prácticas de diseño y construcción en las zonas clasificadas de alto riesgo y servirá para implementar programas apropiados, que instruyan a las personas ubicadas en estas zonas, tendientes a lograr un comportamiento humano adecuado ante el evento.

El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI) sostiene que un terremoto de magnitud cercana a 7,5 podría producirse frente a las costas de la Península de Nicoya en los próximos 10 años. El movimiento telúrico sería generado por la subducción de la placa Cocos en la Placa del Caribe, y se ubicaría aproximadamente frente a la costa, en las cercanías de playa Sámara.

Para esto, el OVSICORI se basa en un estudio del comportamiento sísmico durante el presente siglo (Ref. 22), el cual divide en tres ciclos de aproximadamente 10 años donde han producido eventos que han iniciado en Golfito y finalizado frente a las costas de Nicoya. El primer ciclo se inició en 1916 y el segundo en 1941. Según ese

estudio el tercer ciclo se inició en 1983, pero no se ha cerrado aún, y deberá hacerlo con otro movimiento en Nicoya.

De acuerdo con el comportamiento de la liberación de energía en nuestro país, el sismo conclusivo deberá suceder en Nicoya en los próximos años, pues el proceso de carga y descarga es de 35 ± 7 años. De acuerdo con observaciones realizadas por el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI), la placa Cocos se mueve aproximadamente 9 cm por año por debajo de la placa Caribe, debido al proceso de subducción. En la zona de Nicoya no se ha presentado un sismo de gran magnitud desde 1950, lo cual hace suponer que existe una gran cantidad de energía no liberada.

El daño ocasionado por un terremoto con estas características, sobre las estructuras de los centros educativos y de salud pueden crear grandes conflictos debido a que estas estructuras son componentes claves para enfrentar una emergencia de este tipo.

Los centros educativos son edificaciones que debido a su función, se encuentran distribuidas en las diferentes poblaciones de una determinada zona. Por otro lado, es muy común que después de un evento sísmico, las escuelas y colegios que se encuentren en las zonas afectadas, sirvan de refugio masivo para brindar techo y alimento a las personas cuyas viviendas resultaron destruidas o declaradas inhabitables debido al sismo.

Luego de la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, los centros de salud juegan un papel de gran importancia. Esto debido a que la preocupación principal durante la emergencia es la de salvar vidas, y esta actividad se centra en los hospitales y clínicas. Por lo anterior es de vital importancia tomar las medidas necesarias para procurar que dichas estructuras presenten un adecuado comportamiento sísmico y mantengan su funcionalidad.

La Comisión Nacional de Emergencia (CNE) decidió financiar el estudio del efecto nocivo que tendría un eventual terremoto en la Península de Nicoya, por medio del proyecto del Programa de Ingeniería Sísmica del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME). El presente proyecto de graduación forma parte de dicho programa, y se centra en la predicción y evaluación de los posibles daños causados en las estructuras de los Centros Educativos y de Salud ante la ocurrencia del sismo que pronostica el OVSICORI.

1-2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General.

Realizar un Análisis de Riesgo Sísmico (ARS) sistémico, basado en un Sistema de Información Geográfica (SIG), cuyo resultado sirva como instrumento de apoyo en la toma de decisiones para la planificación de las políticas de reforzamiento estructural de los Centros Educativos y de Salud ubicados en la zona de estudio.

1-2.2 Objetivos Específicos.

- Determinar el efecto que provoca el tipo de suelo de la zona sobre el comportamiento de estructuras, ante la ocurrencia de un sismo específico, incluyendo las posibles amplificaciones que puedan sufrir las ondas sísmicas.
- Hacer un análisis del daño causado en las estructuras de escuelas, colegios y hospitales de la zona por el terremoto máximo creíble, para determinar su vulnerabilidad sísmica.
- Determinar la distribución espacial en la zona de estudio de los daños sobre la estructura de escuelas, colegios y hospitales, de acuerdo con la magnitud de éstos.

1-3 Alcance del proyecto.

- La zona de estudio comprende gran parte de la provincia de Guanacaste, toda la Península de Nicoya y la parte norte de la provincia de Puntarenas. El límite norte de la zona de estudio queda delimitado por la Ruta Provincial 914 pasando por el poblado de Cuajiniquil, hasta llegar a la Ruta Nacional 1. Luego se extiende hacia el sur paralelo a la Ruta Nacional 1 a una distancia de 10 kilómetros de esta, hasta la intersección de la Ruta Nacional 1 con la Ruta Nacional 17. Luego de esta intersección el límite continúa paralelo a la costa, a una distancia de 15 kilómetros de la misma hasta llegar al río Tulín, donde finaliza.
- El proyecto estudia el daño que causará un terremoto de magnitud 7.5 causado por subducción, de acuerdo con las características que sugiere los estudios del OVSICORI. Los resultados no son aplicables a un sismo con diferente ubicación del epicentro, magnitud, tipo de fuente, u otros.
- El estudio es de tipo determinístico, en el sentido de que parte de un terremoto específico, por lo que no se harán estudios probabilísticos de los sismos de la región, ya que quedan fuera del alcance de este proyecto.
- Se considerarán los daños causados en las estructuras de centros educativos y de salud que son de vital importancia ante la ocurrencia de un sismo. Esto incluye las principales escuelas y colegios (aquellas que tengan matrícula superior a 500 estudiantes para el período lectivo de 1997), así como los hospitales y las clínicas de la Caja Costarricense del Seguro Social presentes en el área en estudio. Quedan excluidas del estudio cualquier otro tipo de infraestructura de la zona.
- Para correlacionar las características estructurales de las obras y las condiciones de suelo locales los daños esperados, se utilizarán tecnologías recientemente desarrolladas tales como las derivadas por el Risk Management Solutions, Federal Emergency Management Agency (FEMA), National Institute of Building Sciences (NIBS) y el Applied Technology Council (ATC)- para la región de California, Estados

Unidos. Dichas metodologías ya fueron aplicadas en nuestro país para el terremoto de Limón ocurrido en abril de 1991 y los resultados obtenidos se ajustan satisfactoriamente a los daños reales de los puentes de la zona. En ese sentido y para este estudio se supondrá que al igual que para puentes, dichas metodologías son aplicables a edificios para la zona en estudio.

1-4 Antecedentes teóricos y/o prácticos del problema.

El 25 de marzo de 1990 un terremoto de magnitud $M_w = 7.0$ ocurrió en la entrada del Golfo de Nicoya, produciendo daño considerable en la parte central de Costa Rica. A partir de este momento la preocupación del riesgo sísmico en la Península de Nicoya ha aumentado, he aquí la importancia del proyecto, la que radica en determinar los posibles daños que pueden sufrir la infraestructura de los centros educativos y de salud, para poder afrontar la emergencia.

A pesar de que no es sino hasta hace poco que los estudios de vulnerabilidad sísmica se han venido realizando mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica (Refs. 4 y 9), se ha dado un gran auge en el empleo de estas metodologías, debido a los éxitos obtenidos. Esto gracias a las grandes ventajas que presenta en cuanto a la facilidad de manejo de datos para obtener daños esperados ante un evento sísmico. Además estas metodologías presentan gran adaptabilidad a la hora de presentar los resultados del análisis, así como modificar y actualizar la información de las bases de datos. Es por esta razón que diferentes gobiernos alrededor del mundo han estado adoptando estas metodologías para el estudio del impacto sísmico en diversas zonas sísmicamente activas (Refs. 1, 6, 7, 8 y 15).

Uno de los primeros proyectos en emplear estas metodologías fue el realizado por el Departamento de Conservación del Estado de California en Estados Unidos en 1987. Este trabajo determinó el posible daño que un sismo de magnitud 7.5 en la escala de Richter podría producir en la infraestructura más importante de la ciudad de Oakland al producirse la ruptura de la falla Hayward en una longitud de aproximadamente 100 kilómetros. Se analizaron separadamente los efectos del evento sísmico sobre las autopistas, puentes, aeropuertos, ferrocarriles, líneas de conducción eléctrica, de agua

potable, agua residual, gas e infraestructura portuaria. Además se estudió el comportamiento esperado de edificaciones que cumplirían una función durante y después del evento sísmico: las escuelas y hospitales.

Trabajos similares se han venido desarrollando en diferentes urbes alrededor del mundo en las cuales existe un alto riesgo sísmico. Este es el caso de la ciudad de Tokio en Japón, una de las zonas más densamente pobladas del mundo, donde los científicos han calculado que existe una probabilidad de 93% de que antes del año 2009 ocurra un terremoto de 7.4 en la escala de Richter (Ref. 7).

A pesar de las limitaciones financieras que tienen los países latinoamericanos en vías de desarrollo para destinar fondos a proyectos de investigación, recientemente se han realizado estudios en el campo de la estimación de daños y la prevención en algunas de estas naciones. Este es el caso de Ecuador, donde la fundación "Geo Hazards International" realizó en 1995, un estudio destinado a determinar la vulnerabilidad sísmica de las escuelas públicas en la ciudad de Quito .

Una situación similar, pero en esta ocasión preocupada por la mitigación de la amenaza sísmica hacia los centros de salud, se ha venido desarrollando por parte de la Organización Panamericana de la Salud (Ref. 20), quienes han implementado programas de investigación en muchos países ubicados en zonas sísmicamente activas. Tal es el caso de México, Colombia, Guatemala, Panamá, Perú y El Salvador, entre otros.

Como se ha explicado, actualmente se está trabajando en muchos lugares del mundo en determinar la vulnerabilidad sísmica de diferentes tipos de estructuras que de una u otra forma deben conservar su funcionamiento, pues de ellas depende la capacidad de respuesta de la comunidad ante la ocurrencia de un sismo de altas proporciones.

Recientemente Bravo y Calvo (Ref. 4) realizaron una evaluación de los daños que podría producir un terremoto sobre las vías principales y los puentes de la zona, como parte del proyecto antes mencionado. Además se aplicó la metodología al terremoto de Limón de 1991 con el propósito de comparar los daños que el método predice con los que realmente ocurrieron. Esta fue la primera vez en que se aplicó el método en Costa Rica y los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios, ya que acertaron en el nivel de daño en 8 de cada 10 puentes analizados, mientras que en los que no acertaron, fue solamente por un rango en los niveles de daños.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1 Aspectos Generales sobre desastres naturales

Un desastre puede definirse como un evento o suceso que ocurre en la mayoría de los casos en forma repentina e inesperada causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas, representadas en la pérdida de la vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y daños severos en el medio ambiente. Esta situación significa la desorganización de los patrones normales de vida generando adversidad, desamparo y sufrimiento en las personas, efectos sobre la estructura socioeconómica de una región o un país y la modificación del medio ambiente, lo cual determina la necesidad de asistencia y de intervención inmediata (Ref. 21).

Los desastres pueden ser originados por la manifestación de un fenómeno natural, provocados por el hombre o como consecuencia de una falla de carácter técnico en sistemas de industrias o bélicos.

Algunos desastres de origen natural corresponden a amenazas que no se pueden neutralizar debido a que difícilmente su mecanismo de origen pueda ser intervenido. Algunos ejemplos de estos tipos de desastres son: terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis y huracanes.

2.1.1 Efectos de los desastres

Los efectos que puede causar un desastre varían dependiendo de las características propias de los elementos expuestos y de la naturaleza del evento sísmico. El impacto puede causar diferentes tipos de alteraciones. En general pueden considerarse como elementos bajo riesgo: la población, el medio ambiente y la estructura física representada por la vivienda, la industria, el comercio y los servicios públicos.

En un amplio número de países en desarrollo, como los países de América Latina, se han presentado desastres en los cuales han muerto miles de personas, y se han perdido cientos de millones de dólares en veinte o treinta segundos. Cifras en muchos casos

incalculables en eventos cuyos costos directos y también indirectos pueden llegar a un inmenso porcentaje de su Producto Interno Bruto. Debido a la recurrencia de diferentes tipos de desastres, en varios países del continente, se puede llegar a tener un significativo porcentaje promedio anual en pérdidas por desastres naturales con respecto al Producto Nacional Bruto. Situación que, como es obvio, se traduce en empobrecimiento de la población y estancamiento, puesto que implica llevar a cabo gastos no previstos que afectan la balanza de pagos y en general el desarrollo económico de los mismos.

Las medidas de prevención contra los efectos de los desastres deben considerarse como parte fundamental de los procesos de desarrollo integral a nivel regional y urbano, con el fin de reducir el nivel de riesgo existente. Dado que eventos de estas características pueden causar grave impacto en el desarrollo de las comunidades expuestas, es necesario enfrentar la ejecución de medidas preventivas versus la recuperación posterior a los desastres, e incorporar los análisis de riesgo a los aspectos sociales y económicos de cada región o país.

2.1.2 Definiciones

- Amenaza o peligro: definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.
- Vulnerabilidad: como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia un evento desastroso, expresada en una escala de 0 o sin daño a 1 o pérdida total. Puede entenderse como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas, y por lo tanto su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso.
- Riesgo: o daño, destrucción, o pérdida esperada obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo.

2.1.3 Amenaza y Riesgo Sísmico

Los sismos consisten en liberaciones súbitas de energía de deformación de la tierra, acumulada durante años en los sitios de la corteza terrestre en los cuales tiene lugar esa deformación. Las causas principales de las deformaciones de la corteza se encuentran en las fuerzas que arrastran a los sectores de los que está compuesta (las llamadas placas tectónicas), y a las que se oponen fuerzas contrarias en las placas adyacentes.

Los siguientes factores pueden influir sobre el impacto de los sismos en las ciudades:

- La amplificación de las ondas sísmicas por parte de los suelos.
- Licuación de suelos: fenómeno por medio del cual las arenas y limos pierden temporalmente su resistencia y se comportan más bien como un líquido viscoso en lugar de un sólido. Esto ocurre debido a que las ondas sísmicas, principalmente las de corte aumentan la presión de poro, hasta anular las presiones efectivas y causar el colapso de las estructuras del suelo.
- Movimientos en masa: deslizamientos o derrumbes.
- Asentamientos del suelo.
- Tsumanis o maremotos.
- Peligros indirectos: falla de presas, contaminación en plantas industriales, etc.

Los hospitales y en general las instalaciones de salud son elementos expuestos que pueden sufrir graves daños como consecuencia de la ocurrencia de sismos intensos. En otras palabras, el riesgo sísmico de las instalaciones de salud puede llegar a ser muy alto, razón por la cual es necesario construir las nuevas edificaciones con requisitos sísmo-resistentes adecuados de acuerdo con la amenaza sísmica de cada zona y también es necesario evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones existentes, con el fin de identificar sus debilidades y diseñar y construir las intervenciones físicas o reestructuraciones que sean necesarias.

2.2 Peligros Geológicos

Los procesos que han formado la tierra actúan continuamente sobre y debajo de su superficie. El movimiento de las placas en la corteza terrestre y las concentraciones locales de calor son una fuente continua de peligros para las personas y sus estructuras.

2.2.1 Visión General de los peligros geológicos y el proceso de la planificación para el desarrollo.

Los peligros geológicos son responsables de grandes pérdidas de vidas y de destrucción de propiedades. En el siglo veinte más de un millón de personas en todo el mundo han sido víctimas sólo de los terremotos, y el valor de la propiedad destruida por terremotos asciende a decenas de millones de dólares.

Esta zona de volcanismo y terremotos, que involucra varias placas y fosas, se manifiesta en América Latina por las cordilleras de los Andes y su extensión hacia Centro América y México. Esta zona da la vuelta bordeando el Océano Pacífico y es conocida como el “Círculo de Fuego”. Los peligros geológicos, tales como los terremotos, los deslizamientos de tierra inducidos por éstos, entre otros, están concentradas en esta región, así como también las ondas oceánicas sísmicas. Condiciones geológicas similares se extienden al Caribe, región que es considerada como parte del “Cinturón de fuego” aunque no es parte de la cuenca del Pacífico.

Con el presente estado de la tecnología, la mayoría de los eventos geológicos, no pueden ser prevenidos ni pronosticados con alguna precisión. Los deslizamientos son una excepción: frecuentemente pueden ser prevenidos. Las áreas expuestas a tales eventos se pueden identificar como zonas de fallamientos sísmicos. Sin embargo, no todas las fallas sísmicas han sido identificadas. Las estimaciones de ocurrencia de un evento peligroso dado pueden ser probabilísticas, basadas en la consideración de la magnitud de un evento y su ocurrencia en tiempo y espacio. Otras medidas como la duración, extensión en área, velocidad del inicio, dispersión geográfica, frecuencia, se pueden anticipar aún con menos precisión.

Sin embargo, las medidas de mitigación apropiadas pueden reducir enormemente los daños ocasionados por los peligros geológicos tales como los terremotos.

Los terremotos destacan por su comienzo extremadamente rápido. A diferencia de las inundaciones o huracanes, cuyo impacto en determinado lugar puede ser pronosticado con horas o días de anticipación, los terremotos no dan aviso alguno.

Además de la velocidad de comienzo, los terremotos también tienden a tener impactos que cubren grandes áreas, por estas razones las medidas de mitigación no estructurales, tales como la zonificación para el uso del suelo, o el desarrollo de sistemas de monitoreo, tienden a ser particularmente efectivas.

2.2.2 Terremotos

Un terremoto es causado por la súbita liberación de energía de las fuerzas elásticas que se acumulan lentamente a lo largo de una falla dentro de la corteza terrestre. Las áreas de superficie o subterráneas que se fracturan y que pueden experimentar terremotos, se conocen como zonas sísmicas de fallamiento. Un 15% de los terremotos del mundo ocurren en América Latina, concentrados principalmente en la cordillera occidental (Ref. 21).

2.2.2.1 Efectos de los terremotos y el peligro que representan

Según el tamaño y su ubicación, un terremoto puede causar los fenómenos físicos de sacudimiento del terreno, ruptura en superficie de una falla, fallamiento del terreno y los tsunamis en algunas áreas costeras. Ocurren réplicas sísmicas más pequeñas después del evento principal, a veces durante varias horas, días o meses, o aún años.

1. Sacudimiento del terreno

Es la causa principal del colapso parcial o total de todas las estructuras, es la vibración del terreno excitado por las ondas sísmicas durante un terremoto. Son cuatro los principales tipos de onda sísmica que se propagan a través del interior o sobre la superficie de la tierra, a diferentes velocidades; llegan a un lugar determinado en

diferentes momentos y hacen vibrar las estructuras de manera diferente. La primera onda que llega a la superficie de la tierra es la onda primaria u onda P y es la primera que hace vibrar a una construcción. Las ondas secundarias son las ondas de corte, ondas S, que causa que la tierra se mueva en ángulo recto de la dirección de la propagación de la onda y que las estructuras vibren de lado a lado. A no ser que la estructura sea diseñada y construida para resistir todas estas vibraciones, el sacudimiento del terreno puede causar graves daños. El tercer y cuarto tipos son ondas de superficie de baja frecuencia, cuya velocidad de propagación es menor, usualmente detectadas a mayores distancias del epicentro, y que causan la oscilación más lenta de estructuras y también olas en embalses de agua.

2.2.2.2 Características

Aquí se tratan las cuatro características principales que influyen sobre el daño que puede ser causado por el sacudimiento del terreno debido a un terremoto: magnitud, atenuación, duración y respuesta del sitio. Además existe un quinto parámetro, el potencial de falla del terreno (o sea la propensión de un lugar a la licuefacción o a deslizamientos). Estos factores están también relacionados con la distancia del lugar afectado hasta el epicentro del sismo (lugar de origen debajo de la superficie) (Ref. 21).

a. Severidad o tamaño del terremoto: se puede medir de dos maneras: por la intensidad o por la magnitud. La intensidad es el efecto aparente del sismo en un determinado lugar. La magnitud está relacionada con la cantidad de energía liberada en el lugar de origen.

La intensidad se mide con varias escalas, la que más se utiliza es la de Mercalli Modificada (MM), con la cual la intensidad es evaluada subjetivamente en base a la descripción de los daños.

La escala de Richter, que mide magnitud, es la que más frecuentemente utilizan los medios de comunicación para dar a conocer el tamaño de un terremoto. Es más fácil determinar magnitud que intensidad, pues es un parámetro que registran los instrumentos sísmicos, aunque presenta algunas dificultades. Mientras un terremoto puede tener una sola magnitud, las intensidades varían de acuerdo a los efectos en las diferentes

comunidades y a diferentes distancias del epicentro. Así, dos sismos con la misma magnitud Richter, pueden tener diferentes intensidades máximas en distintos lugares.

b. **Atenuación:** es la disminución en la fuerza de la perturbación sísmica a medida que se aleja del hipocentro. La atenuación depende del tipo de material y estructuras a través de los cuales se propaga la onda y de la magnitud del terremoto.

c. **Duración:** se refiere al período de tiempo durante el cual el movimiento del terreno, en un determinado lugar, exhibe ciertas características tales como sacudimiento violento, o durante el cual se exceda un nivel específico de aceleración medido como un porcentaje de la gravedad. Los terremotos más grandes son de mayor duración que los pequeños. Esta característica, así como la del sacudimiento más violento, explica el mayor daño causado por los sismos más grandes.

d. **Respuesta del sitio:** es la reacción de un punto específico sobre la tierra al sacudimiento del terreno. Esto también incluye el potencial de falla del terreno, que a su vez depende de las propiedades físicas de los suelos y de la roca que se encuentra debajo de la estructura y de la estructura misma. También son factores la profundidad de la capa del suelo, el contenido de humedad, y la naturaleza de la formación geológica subyacente. Si el período de la onda sísmica incidente está en resonancia con el período natural de las estructuras o del subsuelo sobre las cuales descansan, el efecto del movimiento del suelo puede ser amplificado.

Tabla # 2.1

Relación aproximada entre magnitud, intensidad, aceleración, liberación de energía e incidencia de un terremoto (Ref. 21)

Escala de Intensidad Mercalli Modificada	Aceleración del Terreno (cm/s ²)	Magnitud (M)	Energía (Ergios)	TNT Equivalente (toneladas métricas)	Incidencia Anual Esperada
I Detectado solo por instrumentos sensibles					
II Percibido por unas pocas personas en descanso; especialmente en pisos altos; objetos livianos suspendidos pueden oscilar.	2 3		10 10 ¹⁵	20	
III Percibido notoriamente en el exterior pero no siempre reconocido como un temblor; los autos estacionados se mecen levemente; vibración como la que produce un camión	4 5 6	M-3	10 ¹⁶		
IV Percibido en interiores por muchos y en el exterior por pocos; algunos despiertan de noche; suenan ventanas, platos, puertas; los automóviles se mecen notoriamente.	8 9 10	Clase E M-4	10 ¹⁷	600	49000
V Percibido por la mayoría de las personas; rotura de algunos platos y ventanas; se raja el enlucido; algunos objetos altos son afectados	20 30		10 ¹⁸		6200
VI Percibido por todo el mundo; muchos salen fuera de la casa asustados; se desprende el enlucido de las paredes y techos, caen algunas chimeneas; daños en general leves.	40 50 60	M-5	10 ¹⁹	20000	
VII Todos salen corriendo afuera; los daños a edificios varían según la calidad de la construcción; sentido por conductores de autos.	80 90 100	Clase D	10 ²⁰		800
VIII Las paredes internas no portantes sufren daños; caen algunas paredes, monumentos y chimeneas; eyecciones de arena y lodo; los conductores de vehículos alterados	200 300	M-6		600000	
IX Las construcciones se mueven sobre sus fundaciones, se rajan, quedan fuera de plomo; grietas en el terreno; ruptura de tuberías subterráneas.	400 500 600	Clase C	10 ²¹		120
X La mayoría de las estructuras de albañilería y de pórticos destruida; el terreno agrietado; torcedura de rieles; y deslizamientos de tierra.	800 900 1000	M-7 Clase B	10 ²² 10 ²³	20.000.000	18

2.2.2.3 Efectos del sacudimiento del terreno

Las construcciones, otros tipos de estructuras y la infraestructura, están todas expuestas a daños por colapso debido al sacudimiento del terreno. En general, las medidas estructurales tales como diseño sismorresistente, códigos de construcción y reforzamiento son efectivas. Las medidas menos costosas, no estructurales tales como la zonificación y restricción para el uso de tierras también puede reducir enormemente el riesgo.

2.2.2.4 Fallamiento en superficie

El fallamiento en superficie es el desplazamiento o la ruptura de la superficie del terreno debido a un movimiento diferencial a lo largo de una falla durante un terremoto. Este efecto está generalmente asociado con magnitudes Richter de 5.5 o mayores en el área epicentral, y está restringido a determinadas áreas propensas a los terremotos. Los daños graves usualmente están restringidos a una zona angosta, de hasta unos 300 metros de ancho a lo largo de la falla, aunque rupturas subsidiarias pueden ocurrir hasta 3 ó 4 kilómetros distantes de la falla principal. La longitud de la ruptura en superficie puede ser hasta de varios cientos de kilómetros.

2.2.2.5 Fallas del terreno inducidas por los terremotos: deslizamientos de tierra y licuefacción.

Los deslizamientos ocurren en una gran variedad de formas. El enfoque de esta sección son aquellos deslizamientos inducidos por los terremotos pero que también pueden ser iniciadas por otros mecanismos. Los terremotos no sólo pueden iniciar los deslizamientos; también pueden causar que el terreno sufra licuefacción en determinadas áreas.

2.2.2.6 Deslizamientos inducidos por sismos

Los deslizamientos inducidos por sismos ocurren bajo una amplia gama de condiciones: en terrenos con pendientes pronunciadas o prácticamente planos; en roca

firme, sedimentos no consolidados, relleno y acumulaciones de residuos de minas; bajo condiciones secas o muy húmedas. Los criterios principales para clasificar los deslizamientos son los tipos de movimiento y tipos de material. Los tipos de movimiento de deslizamiento que pueden ocurrir son:

- Deslizamientos
- Esparcimiento
- Flujos

Los materiales se clasifican como suelos de roca firme y de ingeniería (tierra y derrubios), el derrubio se caracteriza por ser una mezcla de diferentes tamaños de partículas y la tierra por ser de tamaños de partículas finas.

Algunos tipos de falla de flujo, agrupados como fenómenos de licuefacción, ocurren en material no consolidado, virtualmente sin contenido de arcilla. Otras fallas de deslizamiento y flujos son causadas por el resbalamiento sobre una capa húmeda o por arcillas que sirven de lubricante.

La tabla 2.2, contiene una clasificación simplificada de los deslizamientos inducidos por los sismos.

Tabla # 2.2

Relación entre el tipo de material y el tipo de movimiento(Ref. 21)

	Tipo de material y contenido de humedad		
	Roca firme	Suelo de ingeniería (tierra y derrubios)	
Tipo de movimiento	Seco a húmedo	Seco a húmedo	Muy húmedo
Caídas	Caída de rocas	Caída de terreno	
Deslizamientos	Derrumbes de rocas Deslizamientos de rocas	Derrumbe de Terreno Deslizamientos de bloques de tierra Deslizamiento de escombros	
Esparcimiento Lateral		Esparcimiento lateral del terreno	
Flujos		Flujos de arena seca Flujos de loess	Flujos de lodo Flujos del terreno
Complejo	Avalancha de roca		

2.2.2.7 Licuefacción

Ciertos tipos de esparcimiento y flujos son designados como fenómeno de licuefacción. El sacudimiento del terreno puede causar que los depósitos de suelos sin arcilla pierdan su resistencia temporalmente y se comporten como un líquido viscoso más

que como un sólido. En condición de licuefacción ocurre la deformación del suelo con muy poca resistencia a las fuerzas de corte. Una deformación suficientemente grande como para causar daños a obras construidas se considera como falla del terreno.

La ocurrencia de licuefacción está restringida a ciertos ambientes geológicos e hidrológicos principalmente en áreas con arenas recientemente depositadas y limos (usualmente con menos de 10000 años de antigüedad) y con niveles altos de las aguas subterráneas.

Las fallas del terreno agrupadas como licuefacción pueden ser subdivididas en varios tipos. Los dos más importantes son:

- Flujos plásticos del terreno: son lo más catastróficos. Grandes masas de terreno se pueden mover desde unas decenas de metros hasta varios kilómetros. Usualmente ocurren en arenas flojas saturadas o limos en pendientes de unos pocos grados.
- Esparcimiento lateral del terreno: usualmente ocurren en pendientes suaves de hasta tres grados. El movimiento es usualmente de pocos metros, pero a la vez puede ser de decenas de metros. Estas fallas del terreno quiebran los cimientos, rompen las tuberías. Los daños pueden ser serios con desplazamientos de uno a dos metros.

En general, la licuefacción puede ser evitada por técnicas de estabilización del terreno o soportadas mediante diseño apropiado de ingeniería, pero ambos son métodos de mitigación costosos. Evitar la zona es, por supuesto, el mejor método pero no siempre el más práctico o posible en áreas ya desarrolladas.

2.2.3 Predicción, Evaluación y Mitigación del peligro de terremotos

Minimizar o evitar los riesgos de los terremotos corresponde a tres áreas. Primero se encuentra la posibilidad de predecir su ocurrencia. Mientras los científicos no puedan predecir rutinariamente los terremotos, esta es un área de creciente interés y puede ser un factor clave en la reducción de riesgos en el futuro. La segunda área es la evaluación del peligro sísmico, que permite a los planificadores identificar áreas con peligro de terremotos o de sus efectos. La tercera área es la reducción del riesgo sísmico, o sea la toma de medidas de mitigación.

a. Predicción de terremotos:

Se ha logrado algún proceso en la predicción regional a largo plazo y en los pronósticos. Se han identificado “brechas sísmicas” en las zonas de contacto de las principales placas, las cuales son las áreas con historia de grandes terremotos en el pasado, que no han sufrido un evento de esas magnitudes en los últimos 30 años. Los recientes estudios muestran que los principales terremotos no vuelven a ocurrir en el mismo lugar a lo largo de la falla, hasta que no haya pasado suficiente tiempo para que se acumulen las tensiones, generalmente después de varias décadas. En las principales regiones sísmicas, estas zonas “en silencio” presentan el mayor peligro de futuros terremotos. Confirmando la teoría de la brecha sísmica varias brechas, identificadas cerca de las costas de Alaska, México y América del Sur han experimentado grandes terremotos durante la última década. Es más, el comportamiento de algunas fallas parece ser sorprendentemente constante: hay áreas donde los terremotos ocurren en el mismo lugar, pero décadas aparte, y tienen prácticamente idénticas características. El monitoreo de estas brechas sísmicas, por lo tanto, es un componente importante respecto a los terremotos, su predicción y los preparativos para futuros eventos.

La predicción de un terremoto involucra el monitoreo de muchos aspectos de la tierra, incluyendo pequeños desplazamientos del terreno, cambios en los niveles de agua, emisiones de gas de la tierra, entre otros. Esta es aún una ciencia muy joven.

b. Evaluación del riesgo sísmico:

Existen cuatro pasos para llevar a cabo la evaluación del riesgo sísmico como lo son:

1. Una evaluación de los peligros sísmicos y la preparación de mapas de zonificación del peligro:

Esta evaluación la podemos dividir en varias etapas:

- Evaluación del potencial de sacudimiento del terreno: aunque el sacudimiento del terreno puede causar los daños más generalizados y destructivos relacionados con los terremotos, es uno de los peligros sísmicos más difíciles de predecir y cuantificar. Esto se debe a la amplificación de los efectos del sacudimiento por material no consolidado sobre la roca en el lugar y a la resistencia diferencial de las estructuras.

Debido a esto, la manera adecuada de referirse al sacudimiento del terreno es con base en la respuesta probable de diversos tipos de construcción. Estos son clasificados de acuerdo a si son estructuras de madera, albañilería de un solo piso, edificios bajos (de 3 a 5 pisos), moderados (de 6 a 15 pisos) o altos (de más de 15 pisos). Se pueden usar métodos alternativos para propósitos de planificación, anticipando donde será más severo el sacudimiento del terreno: la preparación de mapas de intensidad en base a daños de anteriores terremotos, el uso de un terremoto de diseño para calcular la intensidad, usar información sobre la falla causativa, la distancia a la falla y la profundidad de los suelos sobre roca firme.

- Evaluación del potencial de fallamiento de superficie: esto es relativamente fácil de hacer, dado que el fallamiento en superficie está asociado con zonas de fallas. Tres factores son importantes para determinar medidas adecuadas de mitigación: la probabilidad y la dimensión del movimiento durante un determinado período de tiempo, el tipo de movimiento (normal, inverso o deslizante), y la distancia del trazo de falla donde probablemente han de ocurrir daños.
 - Evaluación del potencial de falla del terreno: está determinado en cuatro pasos: se prepara un mapa de sedimentos recientes distinguiendo las áreas propensas a la licuefacción y aquellas que no lo son; luego se prepara un mapa que muestra la profundidad de las aguas subterráneas; estos dos mapas son combinados para producir un mapa de susceptibilidad de licuefacción; finalmente se prepara un mapa de oportunidad de licuefacción combinando el mapa de susceptibilidad con datos sísmicos.
2. Un inventario de los elementos en riesgo, por ejemplo las estructuras y poblaciones:
Es la determinación de la distribución espacial de estructuras y poblaciones expuestas a los peligros sísmicos.
 3. Una evaluación de vulnerabilidad.
Una vez que se tiene a disposición un inventario, se puede llevar a cabo una evaluación de la vulnerabilidad. Esta medirá la susceptibilidad de una estructura o clase de estructuras a daños.

4. La determinación de los niveles de riesgo aceptables.

Teóricamente, es posible combinar la evaluación del peligro con la determinación de la vulnerabilidad de los elementos en riesgo, y llevar a una evaluación de la riesgo específico.

c. Medidas de mitigación de terremotos:

No hay duda que el daño causado por los terremotos se puede reducir. La cuestión es saber cuales técnicas y mecanismos son los apropiados en una situación dada y como se pueden aplicar. El rango de mecanismos incluye la zonificación para uso de tierras; métodos de ingeniería tales como códigos de construcción, reforzamiento de estructuras existentes, estabilización de terrenos no estables, redesarrollo; el establecimiento de sistemas de alerta y la distribución de pérdidas. En este punto también podemos encontrar varios aspectos como los son:

1. Medidas de mitigación de sacudimiento del terreno: Mediciones para mitigación del fallamiento en superficie: En este aspecto se pueden incluir las siguientes características:

- Relacionar el potencial general del sacudimiento del terreno con la densidad permisible de ocupación de construcciones.
- Relacionar el diseño de la construcción y las normas de construcción con el grado de riesgo del sacudimiento del terreno.
- Adoptar reglamentos que requieren investigaciones geológicas y sísmicas del lugar antes de que se aprueben propuestas para el desarrollo.
- En áreas ya desarrolladas, la adopción de reglamentos para reducir la peligrosidad de construcciones.

2. Medidas para mitigación del fallamiento en superficie: dado que las zonas con fallas son relativamente fáciles de identificar y demarcar, se prestan a una planificación efectiva del uso de tierras. Donde la evaluación de las consecuencias de ruptura en superficie indican una alta e inaceptable posibilidad de daños, varias medidas alternativas de mitigación se encuentran disponibles:

- Restringir los usos permisibles a aquellos usos compatibles con el peligro.
 - Establecer una zona de alivio que requiera retirarse a cierta distancia de los trazos de fallas activas.
3. Medidas para mitigación de falla del terreno: los usos de tierra pueden ser restringidos, se podrán necesitar investigaciones geológicas antes de autorizar el desarrollo y el diseño de pendientes y de cimentaciones se pueden reglamentar. Se pueden establecer categorías de estabilidad y uso de tierra.
 4. Medidas Generales para uso de tierras: donde ya ha habido desarrollo dado en áreas propensas a los peligros de terremotos, se pueden adoptar medidas para identificar estructuras precarias, y ordenar su remoción, comenzando por aquellas que ponen en peligro el mayor número de vidas. Las políticas de renovación urbana deben restringir la reconstrucción en áreas peligrosas después de verificar el impacto del terremoto.

Capítulo 3

La Zona de Estudio

3.1 Delimitación

Al aplicar una metodología de tipo probabilística utilizando Sistemas de información Geográfica, es imprescindible demarcar el área para la cual se va a realizar el análisis.

La escogencia de esta zona debe realizarse tomando en cuenta criterios que permitan cumplir los objetivos y maximizar los beneficios del estudio.

La zona de estudio del presente trabajo ha sido delineada de forma tal que comprenda el área más cercana al área de ruptura que se ha predicho para el sismo esperado en la Península de Nicoya, en la cual ocurren las aceleraciones más importantes que podrían causar los daños más severos. Esta área de ruptura ha sido definida como se muestra en el Mapa 3.1 y abarca las poblaciones de Marbella, Nosara, Sámara y más al sur la localidad de Corozalito.

Además es necesario que esta área abarque las zonas más densamente pobladas, ya que las concentraciones importantes de personas están corrientemente asociadas a la mayor cantidad de infraestructura educativa y de salud.

En el Mapa 3.2 se muestra la distribución de la población para Costa Rica según datos proporcionados por el Ministerio de Economía, Industria y Comercio para el mes de Setiembre de 1997 (Ref. 17). En el Mapa 3.3 se muestra el alcance de la zona de estudio y se compara con la curva de intensidad MM VIII para el terremoto de Limón ocurrido en Abril de 1991. En este mapa se puede observar que para un área relativamente poco poblada como lo es el área delimitada por la curva de intensidad VIII Escala de Mercali en provincia de Limón, el Terremoto de Abril de 1991 generaron daños de importancia en edificios y otras obras de infraestructura. De esta forma es posible visualizar cómo el área de estudio tiene una superficie semejante a la que delimita la curva de intensidad VIII para Limón y además contiene zonas con densidades de población muy semejantes.

Como se puede observar, las denominadas Area Metropolitana y Gran Area Metropolitana se encuentran fuera de la zona de estudio que se utilizará para este trabajo.

Tomando en cuenta los criterios anteriormente expuestos, se ha trazado una zona de estudio que contiene las poblaciones de Cañas, Bagaces, Liberia, Santa Cruz, Nicoya, Paquera, Puntarenas, Barranca, Miramar y Esparza así como otras de menor tamaño. Según datos poblacionales para Setiembre de 1997, la zona de estudio abarca un total de 606700 habitantes, es decir un 16,3 % de la población total del país.

Como se puede observar en el Mapa 3.4 la zona de estudio está delimitada al norte por la Ruta 914 y el poblado de Cuajiniquil. Los Mapas 3.5 , 3.6 y 3.7 muestran en detalle el límite de la zona de estudio.

El límite este lo constituye una franja que se encuentra 10 kilómetros paralela a la Carretera Principal 1 y así continúa abarcando la ciudad de Liberia y continuando hacia el sur hasta llegar a Esparza. El límite este continúa a 15 kilómetros de la Costa Pacífica hasta llegar al río Tulín. El límite continúa hacia el sur por el río Tulín hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

El área de estudio comprende gran parte de la provincia de Guanacaste, toda la Península de Nicoya y la parte norte de la provincia de Puntarenas.

Al Norte del país el límite de la zona de estudio queda delimitado por la Ruta Provincial 914 pasando por el poblado de Cuajiniquil, hasta llegar a la Ruta Nacional 1.

El límite se extiende hacia el sur paralelo a la Ruta Nacional 1 a una distancia de 10 kilómetros de esta. En la intersección de la Ruta Nacional 1 con la Ruta Nacional 17. El límite continúa paralelo a la costa, a una distancia de 15 kilómetros de la misma hasta llegar al río Tulín.

En el Mapa 3.8 se muestra la zona de estudio y los distritos que comprende. Se puede observar como la distribución de la población es poco uniforme. En la mayor parte del área en estudio se observan densidades menores a los 25 habitantes por kilómetro cuadrado. Y la mayor cantidad de población se concentra en un área relativamente pequeña, la zona de Puntarenas. Los cantones de Puntarenas, Barranca, Chacarita y Espíritu Santo presentan densidades de población mayores a los 200 habitantes por kilómetro cuadrado.

Un aspecto importante es que la densidad de población, tal y como se presenta en el Mapa 3.8 se ve muy afectada por el tamaño del cantón. Por esta razón no se le debe restar importancia a los cantones guanacastecos que tienen densidades mayores de 100 habitantes por kilómetro cuadrado, ya que a pesar de que cubren poblaciones muy importantes, su densidad decrece por el gran área que estos abarcan. En estos cantones existe una infraestructura de educación y salud de importancia.

3.2 Historia Sísmica

Stuart P. Nishenko publicó un estudio en el que analiza el potencial sísmico del Cinturón de Fuego del Pacífico (Ref. 19). Este estudio describe los peligros sísmicos asociados con la ocurrencia de importantes terremotos por recurrencia. Estos eventos son de tipo interplaca y reflejan el movimiento de las placas mediante movimientos sísmicos someros o de poca profundidad.

La mayor parte de la energía acumulada, el momento sísmico, se libera mediante la ocurrencia de fuertes terremotos. Se cree que esta energía ha sido acumulada lentamente mediante el constante movimiento de las placas durante cientos de años. Estos movimientos oscilan entre 2 y 12 centímetros por año. Una vez que se ha acumulado una gran cantidad de energía, esta se libera repentinamente con la ocurrencia de terremotos que pueden provocar que una placa se desplace respecto a la otra de 1-20 metros.

Muchos trabajos basados en la región del Cinturón de Fuego del Pacífico se han basado en la hipótesis de que los segmentos de las placas que no han sufrido ruptura en muchas décadas. son los lugares en que existe una mayor probabilidad de que ocurran grandes eventos sísmicos. Para que un segmento de placa sea considerado dentro de la brecha sísmica, debe contar con una historia sísmica de grandes terremotos y que no haya ocurrido ninguno al menos durante los últimos treinta años. Debido a la gran cantidad de brechas sísmicas que se encuentran en el Cinturón de Fuego del Pacífico, es necesario diferenciar entre aquellas que pueden fallar en un futuro próximo –en los próximos 5 a 10 años- y aquellas que permanecerán inactivas por períodos mayores. Es decir que para describir completamente la amenaza sísmica en un lugar determinado, es necesario

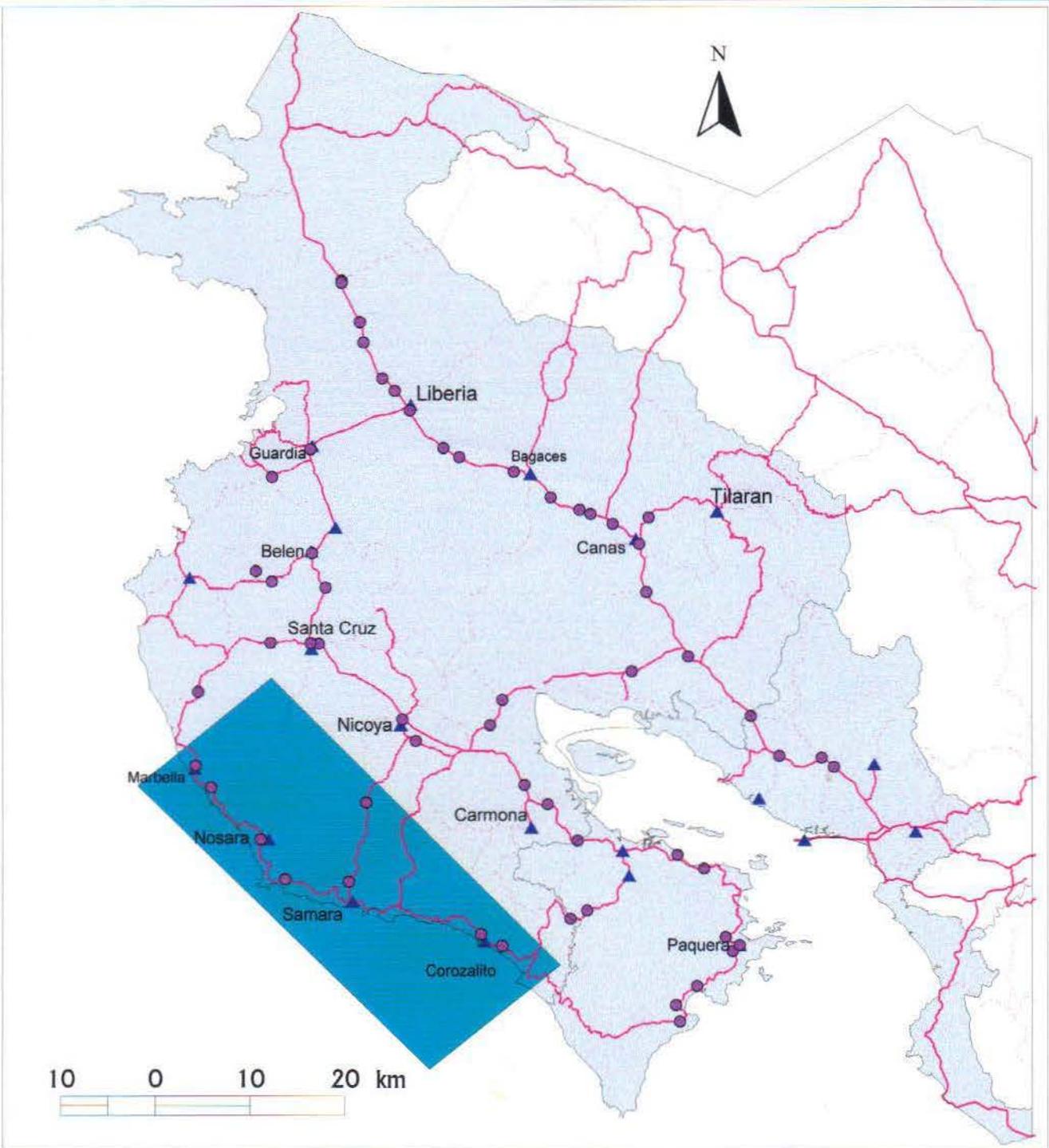
conocer cuando ocurrió el último evento, información sobre la recurrencia de grandes sismos y finalmente, el tamaño del terremoto esperado.

Los estudios realizados señalan que en Centroamérica, se encuentran las placas de Cocos, Rivera, Caribe y Norte América. Estas placas se mueven actualmente a velocidades que oscilan entre los 6 y los 9 centímetros por año.

La Península de Nicoya es una de las zonas sísmicas más activas de Costa Rica. Se tiene información de la ocurrencia de terremotos importantes el 3 de Abril de 1827; el 8 de Setiembre de 1853; el 9 de Diciembre de 1863; el 21 de Junio de 1900 (Ms 7.2); el 24 de Abril de 1916 (Ms 7.4); el 21 de Diciembre de 1939 (Ms 7.3); el 10 de mayo de 1950 (Ms 7.7) y el 23 de Agosto de 1978 (dos eventos de Ms 7.0).

Si esta secuencia de grandes terremotos (Ms 7.0-7.4) es representativa para una liberación de esfuerzos característica en este segmento, el tiempo de recurrencia promedio es de 22 ± 2 años, y la probabilidad de que continúe la actividad sísmica en la zona de Nicoya durante los próximos 10 años es del 64% . El terremoto mayor ocurrido en 1950 es un evento complejo, para el cual aún no se ha podido determinar el período de recurrencia con la información existente.

El estudio de Nishenko (1991) concluye que existe una probabilidad del 93 % de que ocurra un terremoto de magnitud 7.4 en la Península de Nicoya antes del año 2009. El 25 de Marzo de 1990 un terremoto importante ($M_b=6.3$, $M_sZ = 7.0$) ocurrió en la entrada del Golfo de Nicoya , cerca de la brecha sísmica definida por Nishenko. Este terremoto produjo daño considerable en el Valle Central de Costa Rica y fue sentido desde en sur de Nicaragua al oeste de Panamá.

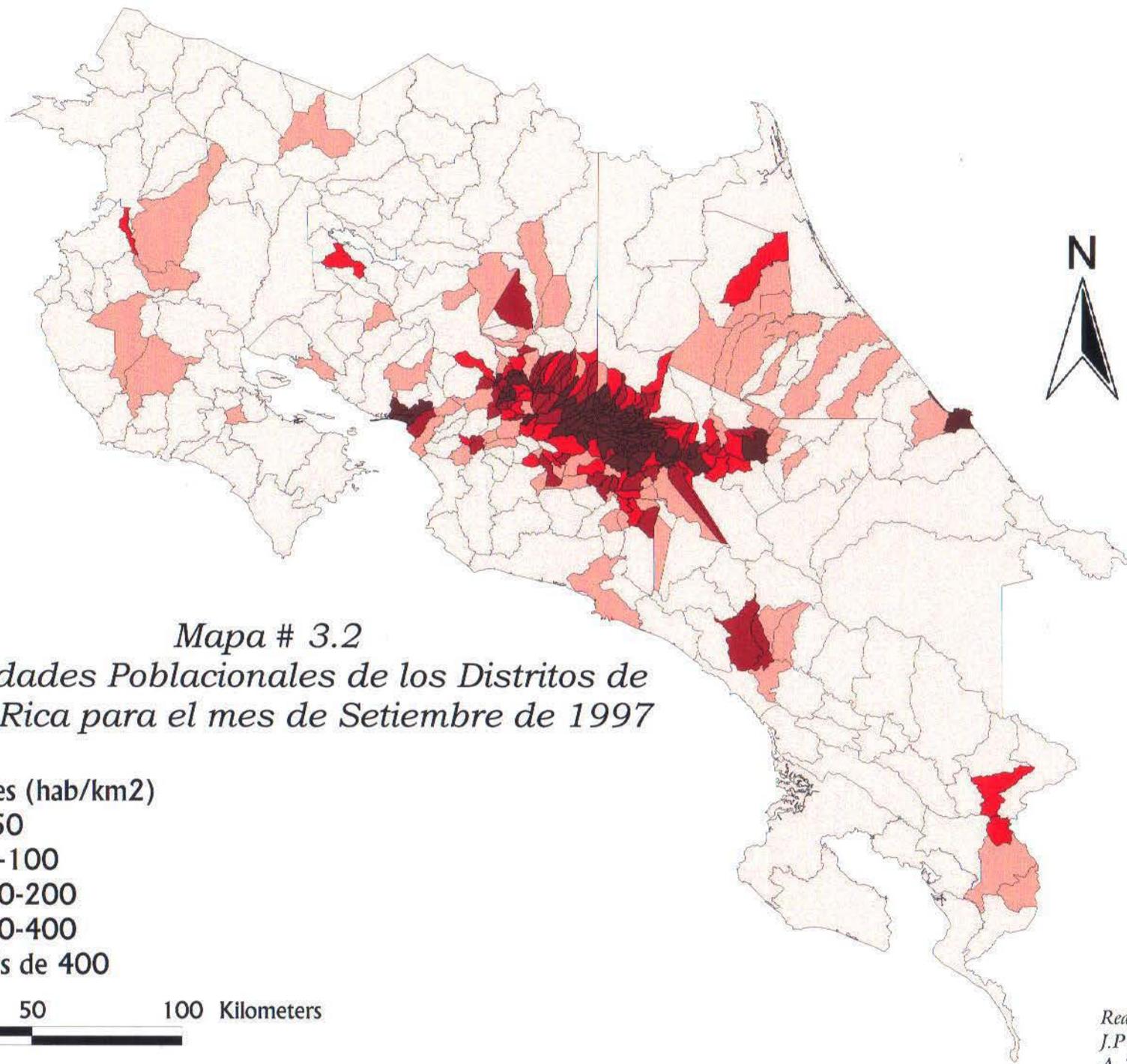


Mapa 3.1
Posible área de ruptura del
Terremoto de Nicoya

- Puente
- ▲ Ciudades
- Rutas Nacionales
- Primaaria
- Secundaria
- Terciaria
- Área de ruptura
- Zona de estudio
- 5 - 6

Realizado por
 J.P. Montealegre
 A. Trezza

Programa de Ingeniería Sísmica. LANAMME/ECG,U.C.R.



Mapa # 3.2
Densidades Poblacionales de los Distritos de
Costa Rica para el mes de Setiembre de 1997

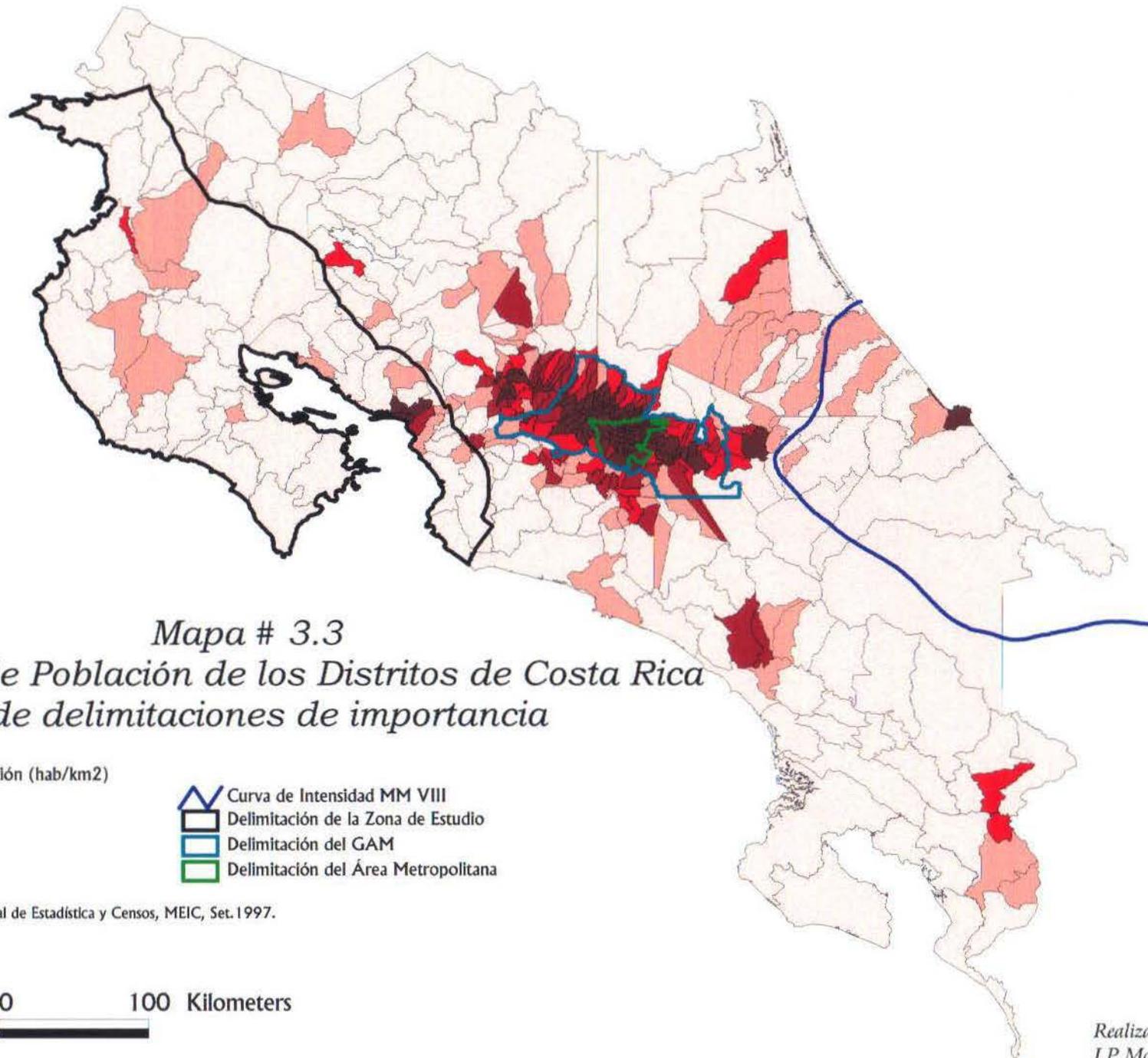
Densidades (hab/km²)



0 50 100 Kilometers

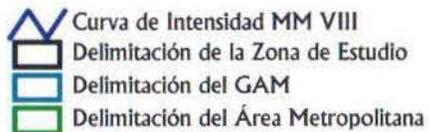


Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza



Mapa # 3.3
Densidad de Población de los Distritos de Costa Rica
y de delimitaciones de importancia

Densidades de Población (hab/km²)



Fuente: Dirección General de Estadística y Censos, MEIC, Set. 1997.

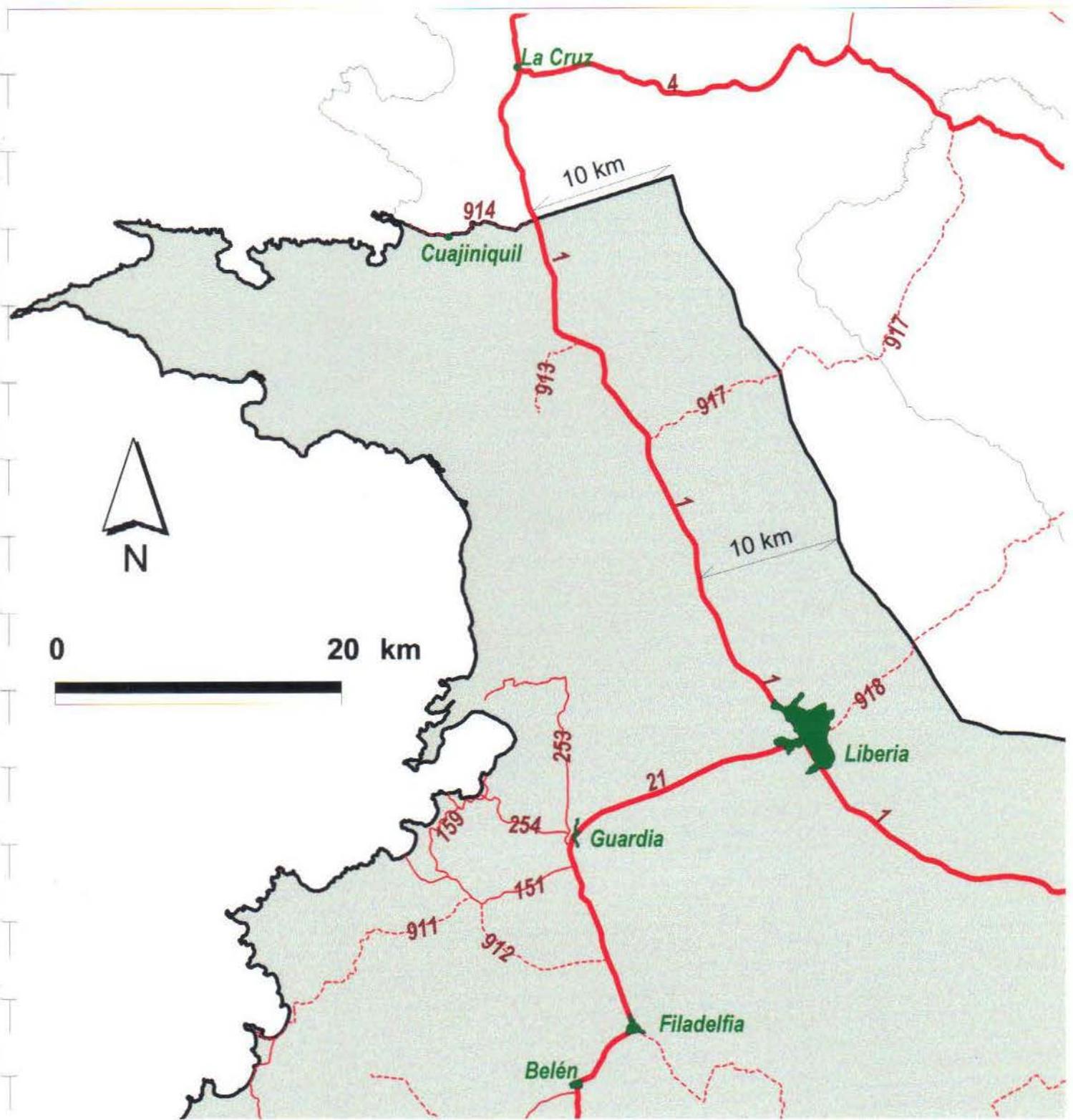


Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza



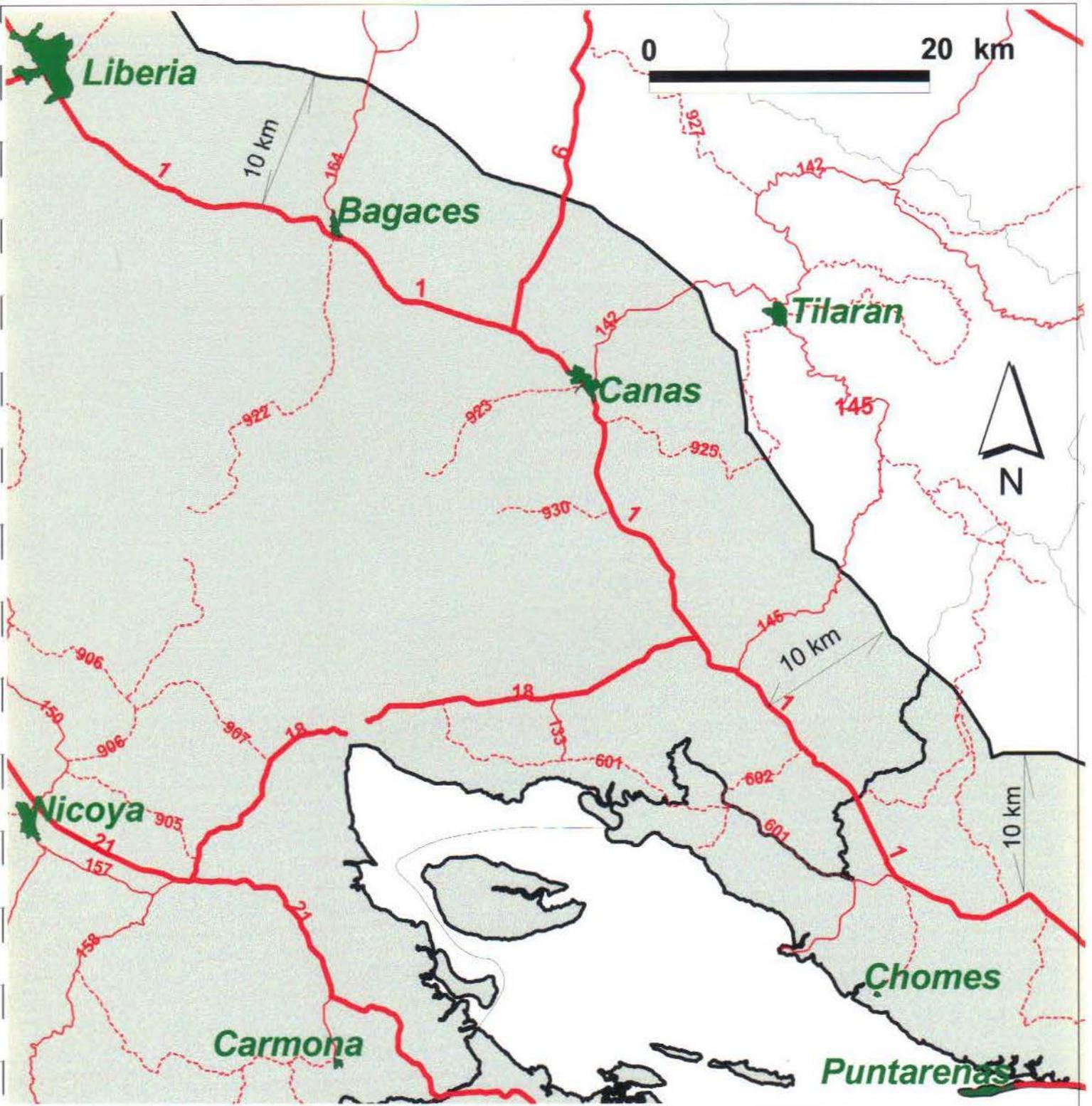
Mapa # 3.4
Ubicación de la zona de estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza



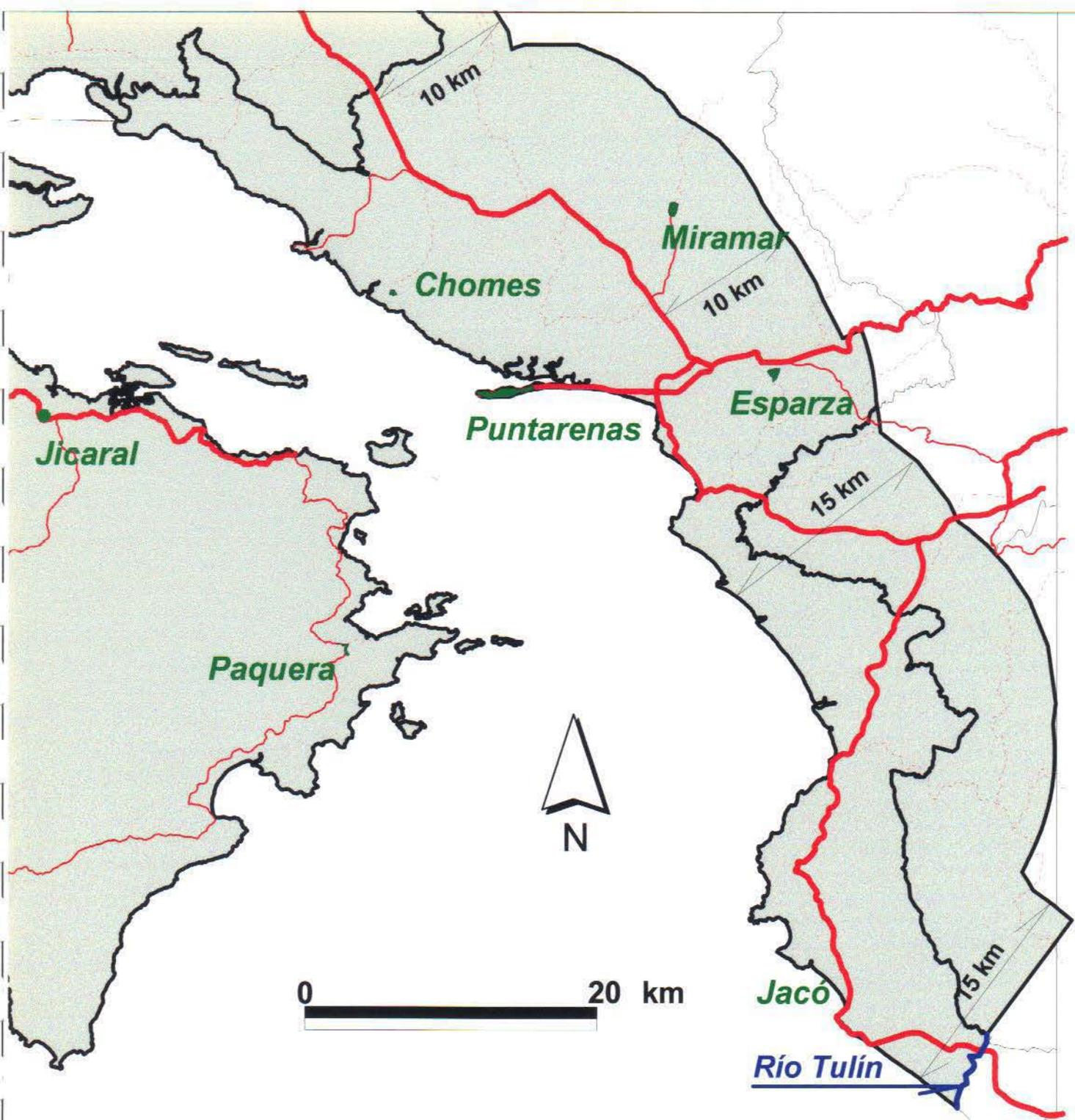
- Carreteras:**
- Primarias
 - Secundarias
 - Terciarias
- Zona de Estudio
- Límite Provincial
- Ciudad

Mapa # 3.5
Detalle 1 de la zona de estudio



- Carreteras:
- Primarias
 - Secundarias
 - Terciarias
- Zona de Estudio
- Límite Provincial
- Ciudad

Mapa # 3.6
 Detalle 2 de la zona de estudio

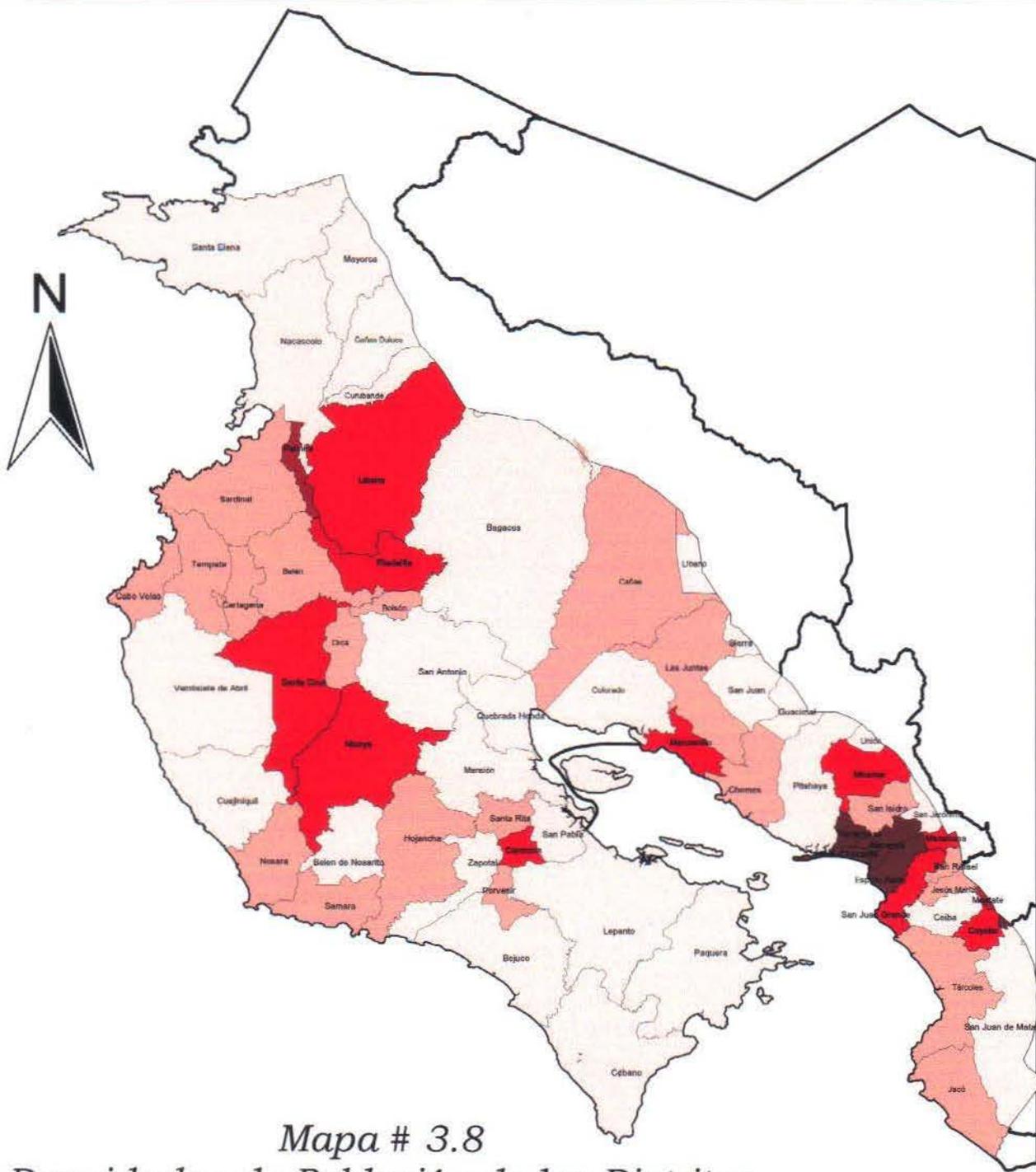


Carreteras:
 Primarias
 Secundarias
 Terciarias

 Zona de Estudio
 Límite Provincial

 Ciudad

Mapa # 3.7
Detalle 3 de la zona de estudio



Mapa # 3.8
Densidades de Población de los Distritos de la Zona de Estudio

Densidades de Población (hab/km²)



Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza

Capítulo 4

Metodología para la estimación de daño para edificios en general

4.1 Descripción de la metodología

A continuación se describirán métodos para determinar la probabilidad de daño leve, moderado, general y total para un inventario general de edificios. El inventario general de edificios incluye edificios típicos diseñados mediante las regulaciones sismo-resistentes contenidas en códigos que se clasifiquen entre los niveles alto, moderado, bajo y pre-código.

Este capítulo contempla la descripción detallada de las metodologías para la estimación de daños debido a sismos dadas una serie de características relacionadas con el tipo de edificio y una estimación del movimiento del terreno (grado de falla del terreno). La severidad del daño, debida tanto a componentes estructurales, como no estructurales, se describe como uno de los siguientes cinco estados: sin daño, daño leve, moderado, general y total.

En este capítulo se explica el desarrollo de funciones para la estimación del daño debido al desplazamiento del terreno. Las funciones de daño para edificios incluyen: curvas de fragilidad que describen la probabilidad de alcanzar o de exceder diferentes estados de daño dada una respuesta pico del edificio, y curvas de capacidad del edificio que son usadas (con un espectro de demanda amortiguado modificado) para determinar la respuesta pico de la edificación. En el presente trabajo se emplea la metodología basada en las curvas de fragilidad. Como se explica posteriormente esta es la metodología que permite estimar los daños de uno o varios edificios de un determinado tipo ante la ocurrencia de un sismo específico, como el caso de el sismo que se espera en la Península de Nicoya.

A pesar de que el movimiento del terreno típicamente domina el daño a edificios, la falla del suelo puede contribuir significativamente al daño total. La falla del suelo está asociada a la deformación permanente del terreno (PGD de sus siglas en inglés).

4.1.1 Datos de Entrada Requeridos para el Análisis

Los datos de entrada para estimar el daño en edificios utilizando curvas de fragilidad y curvas de capacidad incluyen los siguientes dos puntos:

- tipo del modelo del edificio (incluyendo la altura) y el nivel de diseño sismo-resistente que representa el edificio o el grupo de edificios de interés, y
- espectro de respuesta (o PGA, para edificios vitales , y PGD para la evaluación de la falla del suelo) en el lugar donde se ubica el edificio o bien el centroide del grupo de edificios a considerar.

Típicamente, el tipo de modelo para el edificio no es conocido para cada edificio y debe ser determinado desde el inventario de instalaciones utilizando la relación entre tipo de edificio y capacidad de ocupación del mismo. En la actualidad, no existe un inventario completo de la infraestructura física educativa y de salud para todo Costa Rica. Por esta razón fue necesario recopilar esta información realizando visitas a estos centros. De esta forma fue posible construir una base de datos que contiene la información que se requiere para aplicar la metodología a todos los centros educativos y de salud en estudio.

Los resultados obtenidos de las curvas de fragilidad son un estimado de la probabilidad acumulada de que se alcance o se exceda , cada estado de daño para el nivel de movimiento del terreno (o falla del suelo) dado. Las probabilidades discretas de estado de daño son creadas utilizando probabilidades de daño acumuladas. Estos resultados de salida pueden ser usados como datos de entrada para realizar estudios posteriores para el cálculo de pérdidas económicas y número de heridos debidos al sismo.

4.1.2 Funciones de Daño

Las funciones de daño para edificios están representadas por medio de curvas de fragilidad, las cuales indican la probabilidad de estar en un estado de daño , o bien estar excediendo dicho estado de daño, para un parámetro de demanda sísmica dado. Este parámetro puede ser un indicativo de la falla del terreno (desplazamiento permanente del

terreno) o de el movimiento del terreno (aceleración pico esperada). En este trabajo se utilizó la aceleración pico esperada, la cual se tomó del trabajo de graduación de A. Bravo y M. Calvo. Sin embargo, estos datos se revisaron mediante los criterios que se exponen en el Capítulo 5 del presente trabajo.

Una curva de fragilidad típica se muestra en la Figura 4.1. Cada curva de fragilidad está definida por el valor medio del parámetro de demanda (por ejemplo aceleración pico o desplazamiento permanente del terreno) el cual corresponde al umbral y a una variabilidad asociada para cada estado de daño.

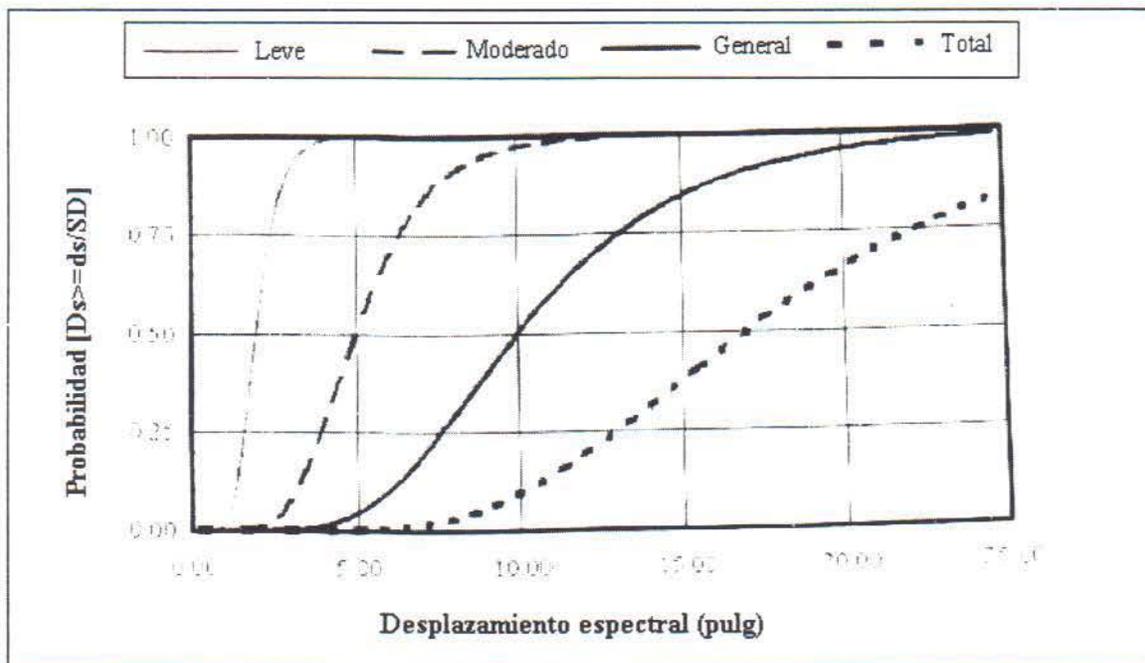


Figura 4.1 Curvas de Fragilidad (adaptado de la Ref. 18)

Los valores medios de aceleración pico y los de su variabilidad han sido desarrollados para cada tipo de estructura, mediante la combinación de información disponible sobre el desempeño de estructuras similares en ensayos de laboratorio, información recabada en sismos pasados y la opinión y el juicio profesional.

En general, la variabilidad de cada estado de daño, β , está determinada por la combinación de los siguientes factores:

- la incertidumbre en el valor del umbral de cada estado de daño.

- la variabilidad en las propiedades de las que depende la capacidad de respuesta de cada modelo estructural.
- la incertidumbre asociada a la variabilidad espacial del parámetro de demanda sísmica (en este caso la aceleración pico esperada)

Para cada una de estas contribuciones a la variabilidad del estado de daño (β) se supone que presenta una distribución normal de valores aleatorios. De esta forma, se aplica el modelo probabilístico de distribución normal para su cálculo.

4.2 Descripción de los tipos de modelos para edificios

La tabla 4.1 lista los 36 tipos de modelos para edificios utilizados en la metodología. Estos tipos están basados en el sistema de clasificación del FEMA 178, NERPH Handbook for the Seismic Evaluation of Existing Buildings [FEMA, 1992] (Ref. 18). Además, la metodología separa las clases propuestas por FEMA en rangos según la altura.

Tabla # 4.1
Tipos de estructura propuestos por la metodología HAZUS (Ref. 18)

No.	Abreviación	Descripción	Alto			
			Fila		Típico	
			Nombre	Pisos	Pisos	Metros
1	W1	Madera, Marcos menores ($\leq 500 \text{ m}^2$)		1-2	1	4,20
2	W2	Madera Comercial e Industrial ($> 500 \text{ m}^2$)		Todos	2	8,40
3	S1L	Marcos no arriostrados de Acero	Bajos	1-3	2	8,40
4	S1M		Medios	4-7	5	18,20
5	S1H		Altos	8+	13	47,30
6	S2L	Marcos Arriostrados de Acero	Bajos	1-3	2	8,40
7	S2M		Medios	4-7	5	18,20
8	S2H		Altos	8+	13	47,30
9	S3	Marcos de Acero livianos		Todos	1	4,60
10	S4L	Marcos de Acero con Muros de Concreto Colados en Sitio	Bajos	1-3	2	8,40
11	S4M		Medios	4-7	5	18,20
12	S4H		Altos	8+	13	47,30
13	S5L	Marcos de Acero con Muros De mampostería No Reforzada Confinada	Bajos	1-3	2	8,40
14	S5M		Medios	4-7	5	18,20
15	S5H		Altos	8+	13	47,30
16	C1L	Marcos de Concreto	Bajos	1-3	2	6,10
17	C1M		Medios	4-7	5	15,15
18	C1H		Altos	8+	12	36,40
19	C2L	Muros de Cortante de Concreto	Bajos	1-3	2	6,10
20	C2M		Medios	4-7	5	15,15
21	C2H		Altos	8+	12	36,40
22	C3L	Marcos de Concreto con Muros De Mampostería No Reforzada	Bajos	1-3	2	6,10
23	C3M		Medios	4-7	5	15,15
24	C3H		Altos	8+	12	36,40
25	PC1	Muros de Concreto Prefabricado colado y armado en sitio		Todos	1	4,60
26	PC2L	Marcos de Concreto Prefabricado con Muros de Cortante de Concreto	Bajos	1-3	2	6,10
27	PC2M		Medios	4-7	5	15,15
28	PC2H		Altos	8+	12	36,40
29	RM1L	Muros de Mampostería reforzada tipo Cajón Con Entrepisos de diafragmas de metal o madera	Bajos	1-3	2	6,10
30	RM1M		Medios	4+	5	15,15
31	RM2L	Muros de Mampostería Reforzada con Entrepiso de concreto prefabricado	Bajos	1-3	2	6,10
32	RM2M		Medios	4-7	5	15,15
33	RM2H		Altos	8+	12	36,40
34	URML	Muros de Mampostería sin reforzar	Bajos	1-2	1	4,60
35	URMM		Medios	3+	3	10,60
36	MH	Casas Móviles		Todos	1	3,00

4.2.1 Sistemas Estructurales

A continuación se presenta una descripción general de cada uno de los 16 sistemas estructurales de tipos de modelos de edificios.

Madera, marcos livianos (W1):

Consisten en estructuras pequeñas, con un área de menos de 500 m². El componente estructural esencial de estas estructuras son marcos y vigas de madera. Los cerramientos de pared están hechos con base en tablas clavadas. Muchos de estas edificaciones, especialmente las que son vivienda de una sola familia, no han sido construidas de acuerdo con las metodologías convencionales solicitadas en los códigos de construcción. Por lo tanto pueden contar componentes estructurales insuficientes para resistir cargas laterales. Las cargas laterales son transmitidas por medio de los diafragmas a muros de cortante. Los diafragmas consisten en láminas de techo y pisos, los cuales se encuentran cubiertos con tablilla o bien plywood. Los muros de cortante están recubiertos por paneles de gipsum o plywood.

Madera, areas mayores a 500 m² (W2):

Estos edificios generalmente son utilizados para el comercio o la industria, o bien para vivienda multifamiliar con un área mayor a los 500 m². El sistema estructural de estos edificios comprende marcos de madera con vigas de grandes luces. Estos miembros horizontales, pueden ser vigas o armaduras de madera o de acero. Las cargas laterales son resistidas por los diafragmas de madera y los muros exteriores cubiertos por entablillado, plywood u otro tipo de panel de madera.

Marcos no arriostrados de acero (S1):

Estos edificios cuentan con marcos formados por vigas y columnas de acero. En algunos casos las uniones viga-columna tienen una reducida capacidad para resistir momento, pero en otros casos los marcos han sido diseñados para resistir los momentos debidos a cargas laterales. Usualmente la estructura está confinada en su exterior por muros no estructurales de casi cualquier material (block, ladrillo, paneles de concreto

prefabricados, baldosas). Los marcos pueden ubicarse casi en cualquier parte del edificio. Estos edificios son más flexibles que los que cuentan con muros de corte. Esta poca rigidez puede ocasionar grandes desplazamientos relativos entre los niveles y causar un daño estructural mayor.

Marco de Acero Arriostrado (S2):

Estos edificios son similares a los de marco no arriostrados, excepto en que su sistema estructural cuenta con componentes que ayudan a resistir cargas laterales mediante arriostramiento de los marcos.

Marcos de Acero Livianos (S3) :

Estos edificios usualmente son prefabricados y cuentan con marcos transversales que aportan rigidez considerable. El techo y las paredes, consisten en paneles livianos usualmente de metal corrugado. Los marcos son construidos en segmentos y son ensamblados en sitio mediante uniones de pernos. Las cargas laterales en la dirección transversal son resistidas por marcos rígidos, y las cargas llegan a ellos por medio de los diafragmas. Las cargas en la dirección longitudinal son resistidas por miembros a tensión.

Marcos de acero con muros de concreto colados en sitio (S4) :

Los muros de cortante son colados en sitio y deben comportarse como muros de carga. El marco de acero es diseñado únicamente para cargas verticales. Las cargas laterales son transferidas por los diafragmas a los muros de cortante. El marco de acero proporciona un sistema secundario para resistir cargas laterales dependiendo de la rigidez del marco y de la capacidad para resistir momento con que se diseñen las uniones viga-columna.

Marcos de acero con muros de mampostería no confinada reforzada (S5) :

Este es uno de los tipos de edificios más antiguos. Los muros de mampostería pueden estar fuera del plano definido por los marcos principales.

Los bloques de mampostería sólidamente rellenos, proporcionan rigidez para resistir fuerzas laterales cuando se encuentran en el plano de el marco transversal.

Marcos de concreto (C1) :

Estos edificios son similares a los marcos de acero no-arriostrados excepto en que los marcos son de concreto reforzado. Hay una gran variedad de sistemas. En edificios viejos, se puede dar una falla frágil que produzca el colapso del mismo. Los más modernos han sido diseñados para presentar un comportamiento dúctil durante el sismo, y se espera que presenten grandes deformaciones, antes de el colapso.

Muros de cortante de concreto (C2) :

Los componentes del sistema estructural resistente a cargas laterales son muros de cortante de concreto reforzado, los cuales usualmente funcionan como muros de carga. En edificios viejos, los muros son extensos y los esfuerzos sobre el mismo son escasos. En edificios más modernos, los muros de corte son de extensión limitada lo cual provoca un efecto torsor que da origen a fuerzas adicionales en los elementos de la periferia.

Marcos de concreto con muros de mampostería no reforzada (C3) :

Estos edificios son similares a los edificios de marcos de concreto con muros de mampostería rellena excepto porque son de concreto reforzado. En estos edificios, la resistencia a cortante de las columnas, luego del agrietamiento del relleno de la mampostería, puede limitar el comportamiento semi-dúctil del sistema.

Muros de concreto prefabricado con baldosas (PC1) :

Los edificios tienen un diafragma de madera o de metal, usualmente de gran tamaño, el cual distribuye las fuerzas laterales a muros de cortante en concreto prefabricado. Los muros son esbeltos, pero relativamente pesados, mientras que los techos son livianos. Los edificios diseñados con códigos sin requerimientos sismo-resistentes, pueden presentar longitudes de traslape inadecuadas en los muros incapaces de resistir fuerzas fuera del plano. En estos casos las conexiones entre los planos pueden ser frágiles.

Marcos de concreto prefabricado con muros de concreto (PC2) :

Estos edificios presentan diafragmas con elementos de concreto prefabricado ya sea con o sin una losa de concreto sobre ellos. Las uniones viga-columna usualmente son

coladas en sitio. Se utilizan uniones de acero soldadas para interconectar los elementos entre sí. Las cargas laterales son resistidas por muros de concreto prefabricados o colados en sitio.

Muros de Mampostería reforzada tipo cajón entrepisos livianos (RM1):

Estos edificios tienen en la periferia muros de carga de bloques de mampostería reforzada. Los muros son elementos verticales que forman parte de el sistema estructural resistente a fuerzas laterales. Los pisos y techos se soportan mediante vigas de madera. Pueden haber vigas de acero soportadas sobre columnas de acero.

Muros de mampostería reforzada tipo cajón entrepisos de concreto prefabricado (RM2) :

Estos edificios son semejantes a los anteriores, excepto porque cuentan con entrepisos de concreto prefabricado compuestos por vigas T y bloques de entepiso, los cuales están apoyados en vigas y columnas de acero o de concreto (colado en sitio o prefabricado). Generalmente existe una losa de concreto colada en sitio.

Muros de carga de mampostería no reforzada (URM):

Estos edificios incluyen elementos estructurales que pueden variar según la edad de el edificio. En edificios construidos antes de 1900 los techos y pisos son de madera y están soportados en marcos de madera.

4.3 Daño estructural

La metodología comprende descripciones para cada uno de las 15 clasificaciones de los edificios y cada uno de los estados de daño: leve, moderado, extensivo y completo. Para la prevención de accidentes, las descripciones de daño completo incluyen la fracción de el total del área de piso de cada modelo que se prevé que colapsaría. Las fracciones de colapso están basadas en el juicio ingenieril y en la información recopilada luego de cada sismo importante.

Se debe hacer notar que en algunos casos, el daño estructural no es observable a simple vista debido a que los elementos son inaccesibles o bien, no son visibles debido a acabados arquitectónicos.

Se llamarán fisuras pequeñas a aquellas que tengan un grosor de menos de 3.18 mm (1/8 de pulgada) y a las mayores de esta medida se les llamará grandes.

Madera, marcos menores (W1):

Daño estructural leve: Pequeñas fisuras en las intersecciones de las paredes con el techo; fisuras pequeñas en los enchapes de mampostería (bloques o ladrillos).

Daño estructural moderado: Grietas de tamaño medio en los cielos de gipsum, así como en las esquinas y en marcos de puertas y ventanas. Se presentan grietas considerables en los enchapes de mampostería (bloques o ladrillos).

Daño estructural general: Se presentan grietas grandes en los muros de corte (si los hay), y en las juntas de las láminas de "plywood". Existen desplazamientos permanentes de pisos y techos. Agrietamiento en las fundaciones; se parten los marcos de las ventanas. Desplazamientos y grietas en las fundaciones. Colapso parcial de configuraciones de piso blando.

Daño estructural total: La estructura presenta grandes desplazamientos laterales, puede colapsar o estar en peligro inminente de colapso debido a la falla del sistema resistente de cargas laterales. Se pueden presentar grandes desplazamientos en las fundaciones. Cerca del 5% de la estructura puede presentar colapso.

Madera, marcos mayores (W2):

Daño estructural leve: Grietas pequeñas en las esquinas de puertas y ventanas y en las intersecciones entre los muros y el techo. Se aflojan algunas conexiones atornilladas.

Daño estructural moderado: Grietas en las esquinas de puertas y ventanas. Pequeñas grietas diagonales en los muros de corte (si los hay). Se presentan grietas pequeñas en juntas atornilladas.

Daño estructural general: Grietas diagonales grandes en los paneles de los muros de corte (donde los hay). Se aflojan los arriostres laterales. Fisuras en las fundaciones y fisuramiento en las fundaciones. Colapso parcial en las configuraciones de piso blando.

Daño estructural total: La estructura presentará desplazamientos laterales grandes y colapsará o estará en peligro inminente de colapso debido a la falla del sistema de resistencia lateral y los arriostres. Grandes grietas y fallas en las fundaciones. Se espera que aproximadamente un 5% del área total presente colapso.

Marcos de Acero No Arriostrados (S1):

Daño estructural leve: Deformaciones menores en conexiones. Fisuras pequeñas en algunas soldaduras.

Daño estructural moderado: Algunos miembros de acero han alcanzado su capacidad de fluencia, presentando rotaciones permanentes en las conexiones. Algunas conexiones presentan grietas grandes en la soldadura, tornillos rotos o bien huecos de tornillos alargados.

Daño estructural general: Muchos de los miembros de acero han excedido su capacidad de fluencia, causando deformaciones laterales importantes en la estructura. Se presentan rotaciones importantes en las conexiones, las alas de los elementos se pandean y fallan las conexiones. Colapso parcial de sectores de la estructura debido a la falla de elementos o conexiones críticas.

Daño estructural total: Una parte significativa de los elementos estructurales han excedido su capacidad última y algunos elementos y conexiones críticas han fallado causando desplazamientos permanentes peligrosos, colapso parcial o total. Para edificios de menos de 3 plantas, se espera el colapso de aproximadamente un 20 % del área total.

Marcos de Acero Arriostrados (S2):

Daño estructural leve: Algunos arriostres han alcanzado la capacidad de fluencia, esto se puede observar en arriostres esbeltos pandeados o alargados. Grietas menores en conexiones soldadas y deformaciones menores en conexiones atornilladas.

Daño estructural moderado: Algunos arriostres han alcanzado la fluencia, mostrando elongaciones y pandeos importantes. Soldaduras fisuradas y falla de algunas conexiones soldadas.

Daño estructural general: 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 de miembros y conexiones críticas.

Daño estructural total: Muchos de los elementos han alcanzado su capacidad última y han fallado algunos miembros y conexiones críticas causando deflexiones permanentes peligrosas sobre la estructura. Se espera que para edificios de menos de tres pisos colapse aproximadamente el 20% del área total.

Marcos de Acero Livinas (S3):

Daño estructural leve: Algunos arriostres han alcanzado su capacidad de fluencia, lo cual se observa en miembros pandeados y elongados. Se observan en los marcos principales fisuras menores en las soldaduras y deformaciones menores en conexiones atornilladas.

Daño estructural moderado: Muchos de los arriostres de acero han alcanzado la fluencia, dejando ver pandeos importantes, algunas conexiones han fallado. Se presenta fisuramiento en soldaduras.

Daño estructural general: Se dan deformaciones laterales permanentes de magnitud importante las cuales son producto de la falla de arriostres y pernos de anclaje de las columnas elongados. Las conexiones del techo y los muros al marco principal pueden fallar.

Daño estructural total: La estructura colapsa o se encuentra en peligro inminente de colapso debido a la falla de elementos de arriostreamiento lateral, pernos de anclaje de las columnas y conexiones. Se espera el colapso de aproximadamente el 25% de la estructura.

Marcos de acero con muros de concreto colados en sitio (S4):

Este es un sistema estructural "compuesto" donde el sistema resistente a las fuerzas lateral son los muros de concreto. Por lo tanto, los estados de daño moderado y general son determinados principalmente por los muros de cortante mientras los estados de daño relacionados con el colapso estarán determinados primordialmente por los marcos de acero.

Daño estructural leve: Grietas diagonales pequeñas se presentan los muros de corte (si los hay).

Daño estructural moderado: La superficie de los muros de corte presenta grietas diagonales. Algunos muros han excedido la capacidad de fluencia.

Daño estructural general: Muchos de los muros de corte han excedido su capacidad de fluencia, algunos de ellos han excedido su capacidad última. En estos casos han grietas que atraviesan el muro. Colapso parcial debido a conexiones de los muros con los marcos de acero.

Daño estructural total: La estructura presenta peligro de colapso debido a la falla de los muros de cortante y la pérdida de estabilidad de los marcos de acero.

Para estructuras de menos de tres plantas, se puede presentar el colapso de un 20 % del área total.

Marcos de acero con muros de mampostería confinada sin reforzar (S5):

Este es un sistema estructural "compuesto" donde la resistencia inicial ante cargas laterales la proporcionan los muros de mampostería. Después de agrietamiento de los muros, la resistencia lateral la aportan los marcos de acero. Se produce el colapso cuando los muros fallan a compresión y los marcos pierden su estabilidad.

Daño estructural leve: Grietas diagonales menores en la mayor parte de los muros de mampostería.

Daño estructural moderado: La mayor parte de los muros presentan grietas diagonales u horizontales considerables, algunos muros presentan bloques fallados cerca de las conexiones viga-columna.

Daño estructural general: 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.

Daño estructural total: La estructura colapsa o se encuentra en riesgo inminente de colapso debido a la falla de los muros y la pérdida de estabilidad de el marco principal. Aproximadamente un 25% del área total de la estructura podrá presentar colapso.

Marcos de concreto reforzado (C1):

Daño estructural leve: Grietas leves de flexión en algunas viga, columnas y nudos.

Daño estructural moderado: Muchas de las vigas y las columnas muestran grietas leves. En marcos dúctiles se habrá alcanzado el límite plástico, mostrando grietas de flexión y descascaramiento del concreto. Marcos menos dúctiles mostrarán mayores grietas de cortante y descascaramiento.

Daño estructural general: Algunos de los elementos del marco principal han alcanzado su capacidad última. En marcos dúctiles se observan grietas de flexión, descascaramiento del concreto y refuerzo pandeado; en marcos menos dúctiles se presentan fallas por cortante, fallas por adherencia en el refuerzo, pandeo refuerzo principal que puede producir colapso parcial de la estructura.

Daño estructural total: La estructura colapsa o se encuentra en riesgo inminente de colapso debido a falla frágil de elementos poco dúctiles o a la pérdida de estabilidad del marco. Para estructuras de menos de tres pisos se espera el colapso de aproximadamente el 20% del área total.

Muros de cortante de concreto (C2) :

Daño estructural leve: Se presentan fisuras diagonales en la mayor parte de los muros de corte, descascaramiento menor del concreto en algunos sectores.

Daño estructural moderado: La mayor parte de la superficie de los muros muestra agrietamiento diagonal; algunos muros alcanzarán la capacidad de fluencia al presentar grietas diagonales y descascaramiento del concreto en los bordes de los muros.

Daño estructural general: La mayor parte de los muros de corte han sobrepasado su capacidad de fluencia y se presentan grietas diagonales grandes que atraviesan los muros, descascaramiento extensivo del concreto y el refuerzo se encuentra visiblemente pandeado. Ocurre colapso parcial debido a la falla de columnas poco dúctiles o no diseñadas para resistir cargas laterales.

Daño estructural total: La estructura ha colapsado o se encuentra en peligro inminente de colapso debido a la falla de la mayor parte de los muros de corte y algunas vigas y columnas críticas. Para estructuras de menos de tres pisos, puede ocurrir el colapso de un 20% del total del área.

Marcos de concreto con muros de mampostería sin reforzar (C3):

Este es un sistema estructural "compuesto" donde la resistencia inicial a las cargas laterales es proporcionada por los muros de mampostería. Después de que ocurre el agrietamiento en estos muros, la resistencia lateral la proporciona el marco "arriostrado" por los muros, los cuales actúan como miembros a compresión. El colapso de la estructura ocurre cuando colapsa el muro (debido a falla de compresión) y el marco pierde su estabilidad, o cuando las columnas de concreto sufren fallas por cortante debido a el fenómeno de columna corta que podría ocasionar el muro de mampostería.

Daño estructural leve: Agrietamiento leve en los muros y las uniones del muro con el marco.

Daño estructural moderado: La mayor parte 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 se muestran grietas de cortante.

Daño estructural general: La mayor parte de los muros de mampostería presentan grietas grandes, algunos bloques pueden caer del muro y algunos muros pueden tener desplazamientos hacia afuera del plano. Algunos muros pueden colapsar parcial o totalmente, algunas vigas o columnas pueden fallar por cortante y la estructura presentará deformación lateral permanente.

Daño estructural total: La estructura ha colapsado o se encuentra en riesgo inminente de colapso 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 presentar colapso.

Muros de concreto prefabricados(PC1):

Daño estructural leve: Grietas diagonales menores en los muros, grietas de mayor tamaño cerca de marcos de puertas y ventanas. Descascaramiento menor del concreto en algunos lugares.

Daño estructural moderado: La mayor parte de los muros presentan grietas diagonales, especialmente cerca de las puertas y ventanas. Algunos muros han alcanzado su capacidad de fluencia.

Daño estructural general: La mayor parte de los muros han excedido su capacidad de fluencia. Hay grandes grietas diagonales que atraviesan los muros. Se produce colapso parcial del techo.

Daño estructural total: La estructura ha colapsado o se encuentra en riesgo inminente de colapso debido a la falla de las conexiones entre el techo y los muros. En edificaciones de menos del tres plantas, se presenta el colapso de aproximadamente un 25% del total del área.

Marcos de concreto prefabricado con muros de corte (PC2):

Daño estructural leve: Grietas diagonales menores en los muros, descascaramiento leve del concreto en algunas conexiones de los miembros prefabricados.

Daño estructural moderado: La mayor parte de los muros muestran grietas diagonales, algunos muros de corte han excedido su capacidad de fluencia, por lo que presentan grietas mayores así como descascaramiento del concreto en los bordes de los muros. Algunas fallas en conexiones soldadas y coladas en sitio.

Daño estructural general: 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 pandeado. Algunas conexiones prefabricadas críticas pueden haber fallado.

Daño estructural total: La estructura ha colapsado o se encuentra en riesgo inminente de colapso debido a la falla de los muros de cortante y las conexiones prefabricadas de los marcos. En edificaciones de menos del tres plantas, se presenta el colapso de aproximadamente un 25% del total del área.

Muros de mampostería reforzada tipo cajón (RM1) :

Daño estructural leve: Grietas diagonales en los muros de mampostería, grietas mayores cerca de los marcos de puertas y ventanas. Desplazamiento relativo leve entre el techo y los muros.

Daño estructural moderado: La mayor parte de los muros presentan grietas diagonales, algunos de los 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.

Daño estructural general: La mayor parte de los muros han excedido su capacidad de fluencia y otros han excedido su capacidad última lo cual se evidencia por la presencia de grandes grietas que atraviesan los muros y un pandeo visible de las barras de refuerzo. Se presenta colapso parcial del techo debido a la falla de los anclajes del techo con los muros y las conexiones de las vigas y los muros.

Daño estructural total: la estructura ha colapsado o se encuentra en inminente peligro de colapso debido a los anclajes del muro o a la 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 de concreto (RM2):

Daño estructural leve: Grietas diagonales leves en los muros; grietas mayores cerca de los marcos de puertas y ventanas.

Daño estructural moderado: La mayor parte de los muros presentan grietas diagonales, algunos muros han excedido su capacidad de fluencia, lo cual se evidencia por grietas mayores.

Daño estructural general: La mayor parte de los muros han excedido su capacidad de fluencia y otros han excedido su capacidad última lo cual se evidencia por la presencia de grandes grietas que atraviesan los muros y un pandeo visible de las barras de refuerzo.

Daño estructural total: la estructura ha colapsado o se encuentra en inminente peligro 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):

Daño estructural leve: Grietas diagonales leves en los muros; grietas mayores cerca de los marcos de puertas y ventanas.

Daño estructural moderado: Muchos de los muros muestran grietas diagonales; los muros de mampostería presentan separación de los diafragmas. Algunos bloques pueden caer de los muros.

Daño estructural general: Agrietamiento considerable. Caída de parapetos. Vigas y armaduras se han desplazado de sus soportes.

Daño estructural total: la estructura ha colapsado o se encuentra en inminente peligro de colapso debido a 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 estructural leve: Daño en las entradas, escaleras y otros componentes externos.

Daño estructural moderado: La casa se mueve de sus soportes produciendo daños en estos soportes.

Daño estructural general: La casa móvil se ha movido de sus soportes y se dañan las líneas de agua y electricidad.

Daño estructura total: Se ha movido totalmente de los soportes, se han dañado las líneas eléctricas y tuberías. Colapsa el 5% del área de la casa móvil.

4.4 Daño en edificios debido al movimiento del terreno

4.4.1 Generalidades

A continuación se describirán las curvas de capacidad y de fragilidad, utilizadas en la metodología para estimar la probabilidad de daño leve, moderado, extensivo y completo para edificios. Los edificios se deben de calificar según como hayan sido diseñados, ya sea mediante un código rígido, moderado o flexible.

4.4.2 Curvas de Capacidad

La mayor parte de los edificios en la actualidad son diseñados o evaluados utilizando métodos de análisis elásticos lineales principalmente por la relativa simplicidad de estos métodos en comparación a los métodos no lineales.

Para el diseño de los miembros estructurales de estas edificaciones, una respuesta linear elástica (amortiguamiento del 5%) es reducida por un factor R el cual varía según el sistema estructural que resiste las cargas laterales. El factor de reducción está basado en el juicio de los ingenieros y en información empírica.

A pesar de que este enfoque es difícil de justificar en forma analítica, los edificios diseñados por medio de estas metodologías han tenido un desempeño satisfactorio durante los eventos sísmicos.

El daño en edificios es función del desplazamiento y no de la fuerza lateral producida por el sismo. El daño de un edificio aumenta en tanto que el desplazamiento del mismo es mayor, aun si la fuerza lateral permanece constante o incluso disminuye. Por lo tanto, una buena predicción del daño se puede llevar a cabo si se ha realizado una buena predicción del desplazamiento del edificio. Sin embargo, esta predicción no se puede realizar utilizando análisis elásticos lineales, ya que los daños de interés ocurren cuando el edificio alcanza desplazamientos producidos por una respuesta inelástica al sismo. Las curvas de capacidad proporcionan un método simple y razonablemente preciso para predecir los desplazamientos inelásticos del edificio para efectos de obtener una buena estimación de daños.

Las curvas de capacidad muestran la resistencia a cargas laterales en función del desplazamiento del edificio. Para facilitar la comparación directa de los resultados, la fuerza resistente se convirtió a aceleración espectral y el eje de desplazamiento se convirtió a desplazamiento espectral.

Las curvas de capacidad están desarrolladas mediante tres puntos de control:

- Capacidad de Diseño
- Capacidad de Fluencia
- Capacidad Última

La *Capacidad de Diseño* representa la resistencia nominal del edificio. Es decir, se presenta la resistencia del edificio sometido a cargas de trabajo, cuando no se encuentra sometido a sismo.

La *Capacidad de Fluencia* representa la capacidad real del edificio (ya no la nominal) para resistir fuerzas laterales. Esta es la resistencia con que cuenta el edificio cuando su sistema estructural global ha alcanzado un estado plástico.

Cuando los elementos frágiles fallan, la resistencia del edificio se ve disminuida. Este hecho ya está contemplado en la resistencia real de la capacidad de fluencia. En el

estado plástico, el edificio se sigue deformando, lo cual no implica un aumento en la resistencia del sistema.

Luego de alcanzar la capacidad de fluencia, la curva continúa con pendiente hasta alcanzar la *Capacidad Ultima*. Esta pendiente es calculada mediante la rigidez basada en una estimación de el período real del edificio. Es conocido que cuando el edificio se somete a fuerzas laterales cíclicas, el período tiende a disminuir debido a la flexión de los diafragmas, la flexibilidad de las fundaciones y el agrietamiento de los elementos de concreto.

Las curva de capacidad están construidas basándose en una serie de propiedades que afectan el diseño. Estas propiedades están definidas por los siguientes factores:

C_s	coeficiente de diseño (fracción del peso del edificio)
T_e	Período real del modo fundamental del edificio (segundos)
α_1	fracción del peso efectivo del edificio
α_2	fracción de la altura del edificio
γ	factor que amplifica la capacidad de diseño para tener capacidad de fluencia
μ	factor de ductilidad : desplazam. último/ desplzam. de fluencia

4.4.3 Curvas de Fragilidad

La probabilidad de estar en un estado de daño o excediendo el mismo, es modelada como una distribución de probabilidad acumulada. Para daño estructural ocurrido por un desplazamiento espectral dado, S_d , la probabilidad de estar en un estado de daño d_s o excediéndolo se calcula como:

$$P[d_s / S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{d_s}} \ln \left(\frac{S_d}{S_{d,d_s}} \right) \right] \quad \text{Ecuación 4.1}$$

donde:

- $S_{d,ds}$ es el valor medio de el desplazamiento espectral cuando el edificio alcanza el valo cumbre para el estado de daño ds
- β_{ds} es la desviación estándar del logaritmo natural de el desplazamiento espectral para un daño ds ,
- Φ función de distribución de probabilidad acumulada.

4.4.4 Curvas de Fragilidad Estructural para Aceleración Pico del Terreno

Las funciones de daño estructural están expresadas en términos de un valor equivalente de PGA (aceleración pico del terreno) para la evaluación de edificios.

Las curvas de fragilidad equivalentes basadas el el PGA han sido desarrolladas a partir de las propiedades geométricas de los espectros.

4.5 Daño en edificios debido a Falla del Terreno

4.5.1 Generalidades

Para una demanda debida a sismo dada en términos de la deformación permanente del terreno (PGD), la probabilidad de estar en un estado de daño Extensivo o Completo es estimado usando curvas de fragilidad de manera similar a el procedimiento usado para estimar daño debido a movimiento del terreno. Existen curvas de fragilidad separadas, las cuales hacen una distinción entre la falla del suelo debida a asentamiento o movimiento lateral del terreno, y entre cimentaciones superficiales y profundas. Lo anterior por cuanto se conoce que las cimentaciones profundas tienen un mejor

4.5.2 Curvas de Fragilidad – Desplazamiento Permanente del Terreno(PGD)

En la actualidad no se ha desarrollado una relación entre el daño general/total de edificios y el PGD. Se ha utilizado el juicio ingenieril para desarrollar hipótesis, las cuales

definen la fragilidad de la estructura. Estas hipótesis se muestran en la siguiente tabla para edificios con cimentaciones superficiales.

Tabla # 4.2

Relaciones de Daño para PGD – Cimentaciones Superficiales (adaptado de la Ref. 18)

P[E o C/PGD]	Asentamiento PGD (cm)	Despl. Lateral PGD (cm)
0.1	5	30
0.5 (media)	25,4	152

El primer rango quiere decir que hay una probabilidad de 10%, o sea que 10 de cada 100 edificios van a ser severamente dañados con un asentamiento del terreno de 5 cm o con un deslizamiento lateral de 30 cm. El segundo quiere decir que 50 de cada 100 edificios van a sufrir daños severos con un asentamiento de 25.4 cm o con un deslizamiento lateral de 152 cm. Como el método empleado para el cálculo de daños en las estructuras considerando solamente la aceleración (PGA), utiliza la mediana, entonces para predecir los daños por PGD, vamos a utilizar el segundo rango de la tabla para el análisis.

El valor del deslizamiento lateral lo obtenemos a partir del mapa de deformaciones permanentes del terreno por deslizamientos Mapa 5.4, y para calcular el valor del asentamiento se sigue el procedimiento descrito en la siguiente sección.

No se distingue daño según el tipo de modelo, ya que las descripciones de modelos para edificios planteadas anteriormente no incluyen el tipo de fundación.

Como se explicó anteriormente, los edificios construidos sobre cimentaciones profundas (e.g. pilotes) tienen un mejor comportamiento que aquellos que cuentan con cimentaciones superficiales. Se ha determinado que la cimentaciones profundas reducen en un factor de 10 la probabilidad de daño completo/extensivo debido a asentamientos de el mismo edificio con cimentaciones superficiales.

En cuanto a la deformación permanente del terreno por desplazamiento lateral, las cimentaciones profundas disminuyen la probabilidad de daño extensivo/completo en un factor de 2.

4.5.3 Asentamiento del terreno

El asentamiento del terreno asociado con la licuación, se asume relacionado con la categoría de susceptibilidad asignada a un área perteneciente al área de estudio. Esta suposición es consistente con las relaciones presentadas por Tokimatsu y Seed (1987) y con Ishihara (1991) que indican las relaciones que existen entre el asentamiento volumétrico y la densidad relativa del terreno, lo cual se puede considerar como una medida de susceptibilidad. Adicionalmente, la experiencia ha demostrado que los depósitos de material tienen una gran influencia, ya que aumentan el espesor de terrenos con probabilidad de sufrir licuación. Basado en estas consideraciones, los valores del asentamiento del terreno están dados en la Tabla # 4.4. Es importante ver que estos valores están relacionados con un parámetro denominado como la categoría de la susceptibilidad relativa, el cual es determinado por medio de la Tabla # 4.3. En esta tabla se encuentra la distinta clasificación de la susceptibilidad, la cual depende en el porcentaje del área que abarca el área de análisis respecto al área de estudio. Esto es un procedimiento probabilístico en el cual suponen un asentamiento uniforme para toda el área en análisis que tiene probabilidad de sufrir la licuación.

Tabla # 4.3

Clasificación de susceptibilidad para la licuación (adaptado de la Ref. 18)

Categoría de la Susceptibilidad Relativa	Proporción del Mapa
Bastante alta	0,25
Alta	0,20
Moderada	0,10
Baja	0,05
Bastante baja	0,02
Ninguna	0

Tabla # 4.4

Asentamiento del terreno por Licuación según
las categorías de susceptibilidad (adaptado de la Ref. 18)

Categoría de Susceptibilidad Relativa	Asentamiento (cm)
Muy alto	30
Alto	15
Moderado	5
Bajo	2,54
Muy bajo	0
Ninguna	0

Capítulo 5

Distribución de la Aceleración Pico en la Zona de Estudio

5.1 Generalidades

Como se explicó anteriormente, el sismo que se espera en la Península de Nicoya es del tipo de subducción de placas. Este sismo se produciría al liberarse la energía generada como producto de la subducción de la Placa de Cocos en la del Caribe.

Si se quiere estimar el daño de la infraestructura ante la ocurrencia de un sismo determinado es necesario conocer la aceleración pico a la que estará sometida, para luego determinar el comportamiento de la estructura ante esta demanda sísmica.

Para poder predecir la aceleración pico que produciría un sismo de subducción en los lugares aledaños a la zona de ruptura se han llevado a cabo diversas investigaciones en los últimos años. La más reciente de ellas es la de Youngs, Chiou, Silva y Humphrey, publicada en enero de 1997.

En el trabajo de graduación desarrollado por Bravo y Calvo (Ref. 4), se utiliza esta metodología para determinar la distribución de la aceleración pico en la zona de la Península de Nicoya.

Es importante aclarar que la distribución de aceleraciones es una variable muy importante para la generación de los mapas de susceptibilidad de licuación y deformaciones permanentes del terreno por deslizamientos, por lo que es de especial interés aclarar el procedimiento seguido para su cálculo.

A continuación se presenta una descripción de las relaciones de atenuación propuestas por Youngs para la generación de los mapas de distribución de la aceleración pico para nuestra zona de estudio.

5.2 Relaciones de atenuación de Youngs et al

Cuando la onda sísmica se propaga por los diferentes estratos de suelo o roca, ocurre una disipación de energía sísmica, a la cual se le conoce con el nombre de atenuación.

Para poder explicar este fenómeno, se han desarrollado relaciones como las propuestas por Youngs et al. (Ref. 28) en las que se correlaciona la aceleración pico en un lugar cercano a la zona de ruptura con una serie de variables como lo son: el tipo de material que se encuentra en el lugar de interés, la distancia a la zona de ruptura y las características del sismo que produjo esta aceleración.

Esta metodología contempla dos tipos de sismos de subducción: sismos de interfase y sismos de intraplaca. Los sismos de subducción interfase presentan ángulos de subducción poco pronunciados y los eventos sísmicos ocurren en los bordes de las dos placas. Algunos ejemplos de estos eventos son el terremoto de Alaska de 1964 (M 9.2), y los terremotos de 1985 en Valparaíso, Chile y Michoacán , México (M 8.0).

Los sismos intraplaca ocurren en el interior de la placa oceánica y usualmente presentan ángulos de subducción pronunciados y placas de subducción sometidas a tensión. Algunos ejemplos son los terremotos de 1976 en Tangshan (China), el de 1993 en Marathawada (India) y los de 1949 (mb 7.1) y 1965 (Ms 6.5) ocurridos en Washington, Estados Unidos. Como se explicará adelante, esta diferenciación entre sismos de intraplaca e interfase es de especial importancia en la determinación de la aceleración pico para la zona de estudio análisis.

Las relaciones para determinar la aceleración horizontal pico (PGA) para los terremotos de subducción fueron desarrolladas haciendo un análisis de regresión para datos recopilados en terremotos pasados. Los resultados que producen estas relaciones se consideran apropiados para terremotos de magnitud M 5.0 y mayores; y para distancias a la zona de ruptura que van de los 10 a los 500 kilómetros. Es necesario que se cumplan estas premisas para el terremoto de Nicoya para poder tener confiabilidad en los valores de aceleración. La magnitud del terremoto que se ha pronosticado es de M 7.5 y la zona de estudio comprende distancias menores a los 500 kilómetros, por lo que es aplicable el análisis de Young al caso particular del Terremoto de Nicoya.

En estas relaciones se presentan variables que identifican las diversas situaciones contempladas en el análisis de datos: Z_t indica el tipo de fuente sísmica (vale 0 para sismos de interfase y 1 para intraplaca), Z_{ds} indica que existe un estrato de suelo (vale 1 si hay suelo y 0 si no), Z_r indica si existe roca (cuando hay roca vale 1 y cuando no la hay es 0). La ecuación básica se presenta a continuación.

$$\ln(PGA)_{ij} = C_1^* + C_2^* M_i + C_3^* \ln \left[(r_{rup})_{ij} + e^{\frac{C_4^* - C_2^* M_i}{C_3^*}} \right] + C_5 Z_t + C_9 H_i + C_{10} Z_{ss} + \eta_i + \varepsilon_{ij}$$

Ecuación 5.1

$$C_1^* = C_1 + C_6 Z_r$$

$$C_3^* = C_3 + C_7 Z_r$$

$$C_4^* = C_4 + C_8 Z_r$$

donde i es el índice del terremoto, j es el índice de la estación, la PGA es la aceleración pico en porcentaje de la gravedad, M es la magnitud de momento, r_{rup} es la distancia a la fuente sísmica en kilómetros, H es la profundidad focal en kilómetros y C_k con $k=1..10$ son coeficientes determinados por el análisis de regresión.

Recientemente, el modelo original ha sido ajustado y separado en dos ecuaciones, una para roca y la otra para suelo, las cuales presentan la aceleración para un amortiguamiento del 5%. Estas ecuaciones se muestran a continuación.

para roca:

$$\ln(y) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10-M)^3 + C_3 \ln(r_{rup} + 1.7818e^{0.554M}) + 0.00607H + 0.3846Z_t$$

Ecuación 5.2

para suelo:

$$\ln(y) = 0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10-M)^3 + C_3 \ln(r_{rup} + 1.097e^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643Z_t$$

Ecuación 5.3

donde,

	Roca	Suelo
C_1	0.0	0.0
C_2	0.0	0.0
C_3	-2.552	-2.329
C_4	1.45	1.45
C_5	-0.1	-0.1
Y	Aceleración pico del terreno	
M	Magnitud de momento	
r_{rup}	Distancia más cercana a la zona de ruptura	
H	Profundidad en kilómetros	
Z_t	Tipo de fuente sísmica	

Y la desviación estándar es $C_4 + C_5 M$

Como se mencionó anteriormente el valor de Z_t varía según la naturaleza de la fuente sísmica y vale 1 para sismos intraplacas y 0 para sismos de interfase. En la Figura 5.1 se muestran tres gráficas en las que los puntos representan las aceleraciones pico medidas a diferentes distancias de la fuente sísmica. Se muestran tres juegos de datos correspondientes a sismos de magnitudes M 7.0 , M 8.0 y M 8.5 . También se gráfica la predicción del modelo planteado por Youngs et al. Como se observa en la figura, ninguna de las dos líneas se ajusta completamente a los puntos producidos en la simulación, sin embargo se nota que para un rango de distancias el sismo interfase se ajusta bastante bien a los datos, mientras que para distancias mayores es el sismo intraplaca el que mejor representa la realidad. Recordando que el sismo pronosticado en la Península de Nicoya es de magnitud M 7.5 se debe buscar el punto de cambio entre las dos primeras gráficas. Buscando un punto de cambio intermedio al que se observa para sismos M 7 y M 8 , se obtiene que para distancias menores a los 50 kilómetros de la fuente sísmica, el comportamiento interfase se adapta satisfactoriamente, mientras que para distancias mayores es el sismo intraplaca el que mejor se adapta a la realidad. Se debe recordar que el modelo de Youngs et al. pierde precisión para distancias mayores a los 500 kilómetros de la fuente sísmica.

Las ecuaciones 5.2 y 5.3 son las que dan lugar a los Mapas 5.2. Para generar esta distribución de aceleraciones, se utilizó el criterio explicado anteriormente. Para distancias menores a los 50 km se utilizó Z_t igual a uno y para distancias mayores Z_t igual a cero.

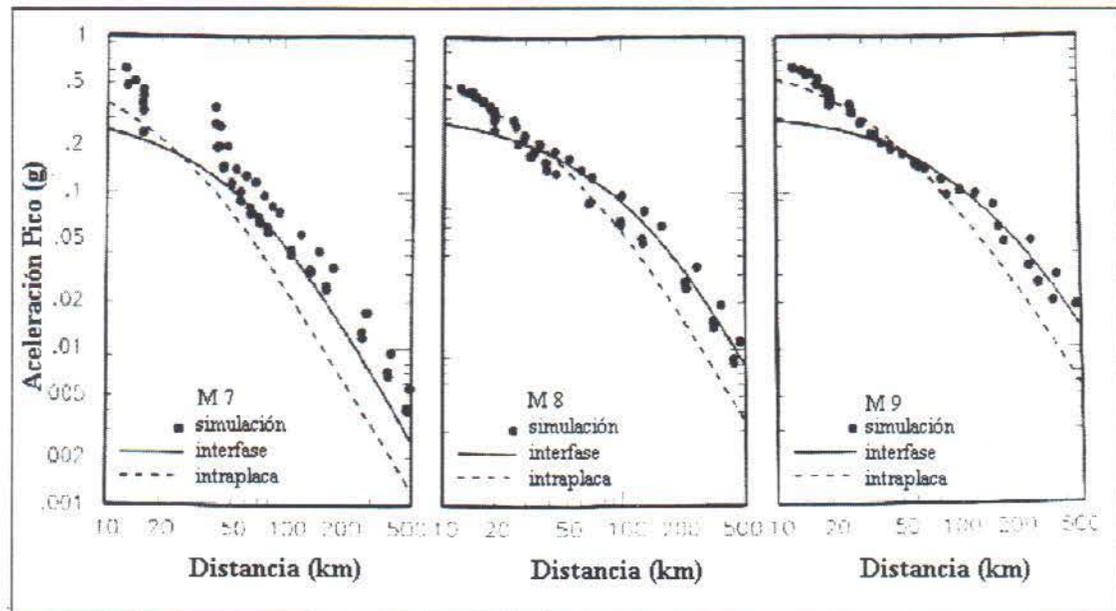
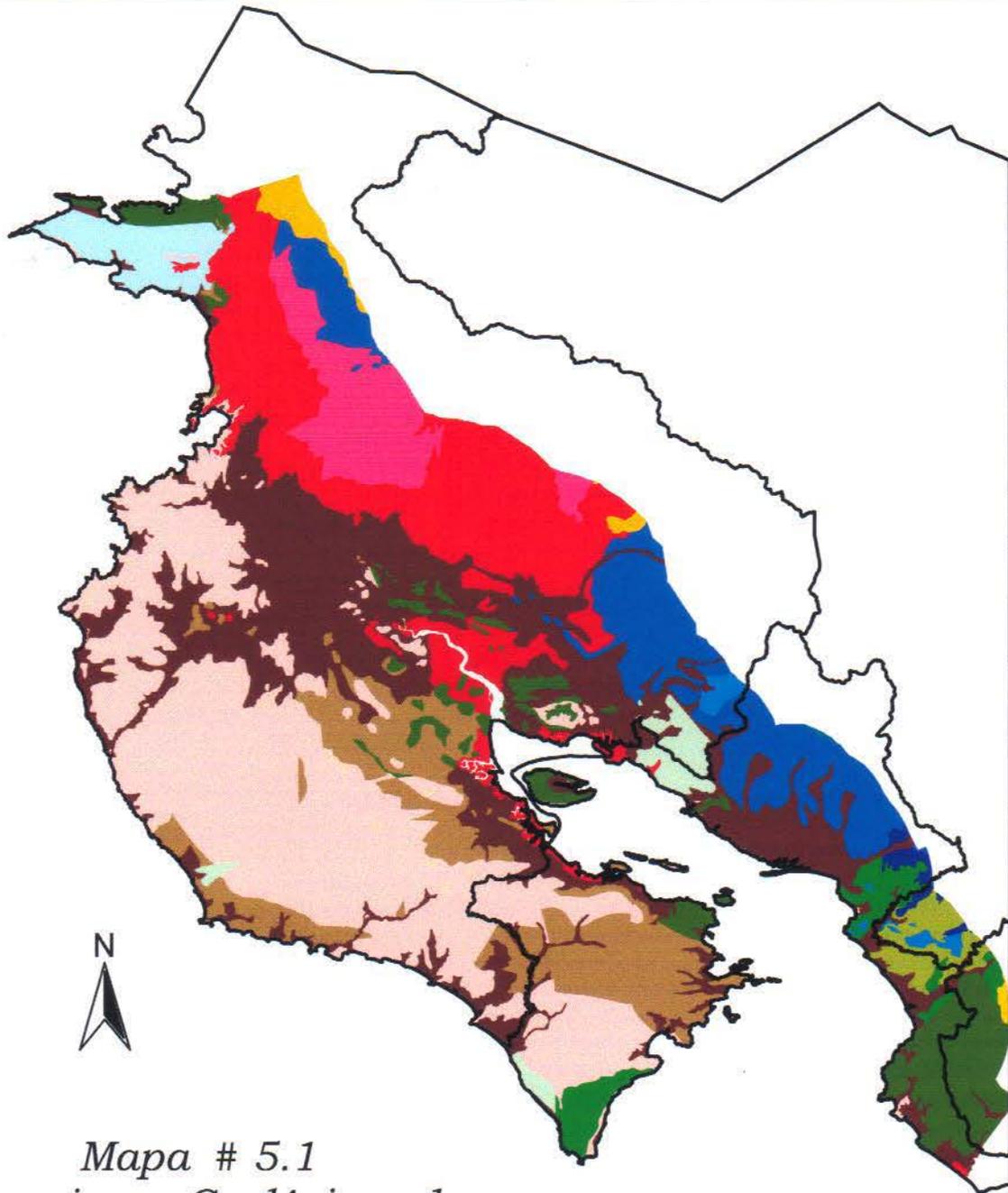


Figura 5.1 Comportamiento de la ecuación de Youngs (adaptado de la Ref. 28)

Para poder aplicar las ecuaciones anteriores es necesario definir las formaciones geológicas a las que se le aplica la ecuación para suelo. Las formaciones Q_a (manglares y pantanos) y la Q_{al} (depósitos aluviales) son consideradas como suelo, mientras que todas las demás se consideran como roca.

De esta forma se le aplican las ecuaciones a las zonas correspondientes del Mapa Geológico de Costa Rica (Mapa 5.1) y se obtiene la distribución de aceleraciones que se muestra en el Mapa 5.2. Como se puede observar la Ciudad de Santa Cruz presenta aceleraciones mayores a $0,5g$, las cuales se deben a que el suelo está formado por depósitos aluviales que tienden a producir un fenómeno de amplificación de la onda sísmica. El Mapa 5.3 muestra con más detalle las altas aceleraciones que se presentan en Santa Cruz, las cuales van a ser determinantes en el cálculo de los daños para las estructuras de esa Ciudad.



Mapa # 5.1
Formaciones Geológicas de
la Zona de Estudio



Formaciones Geológicas

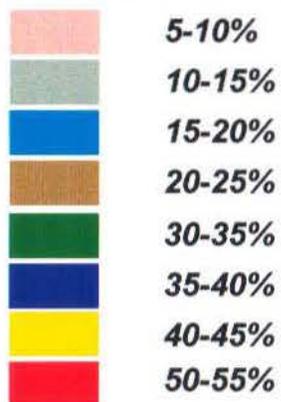
- Qal
- Qa
- Qv
- Qv1
- Qv2
- Tep
- Tm
- Tmi
- Tmp

- To
- Tom
- Tp
- Tpi
- Tpq
- TT
- Tva
- K
- Kp
- Ki
- Kvs

Realizado por:
J.P Montealegre
A. Trezza

Mapa # 5.2
*Distribución espacial de
la aceleración pico
para la zona de estudio*

Porcentaje de la gravedad





Porcentaje de aceleración

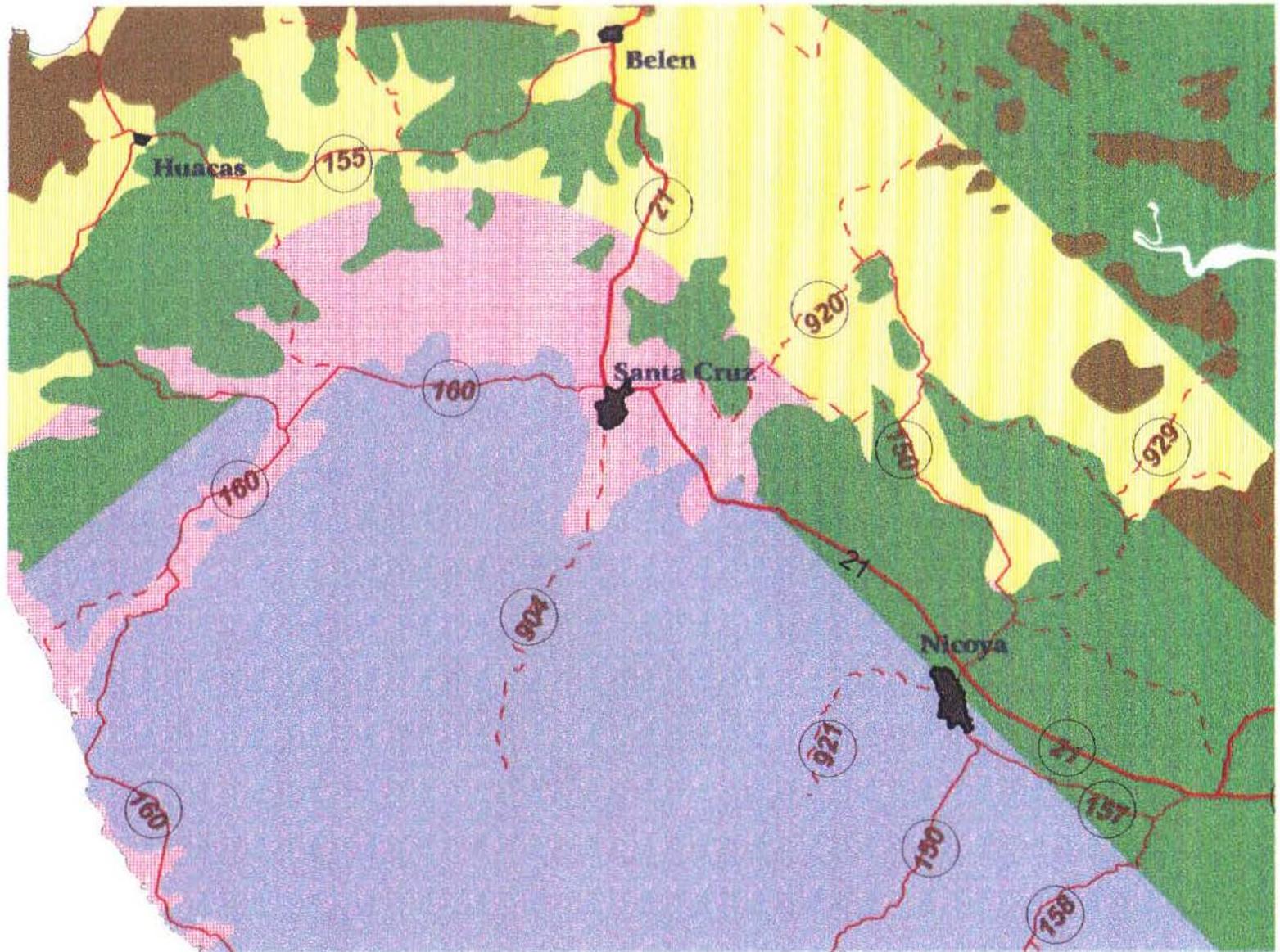
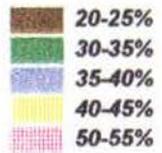
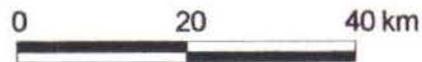


Diagrama de ubicación



*Mapa # 5.3
Aceleración del terreno en las zonas
cercanas a Nicoya y Santa Cruz*

Mapa # 5.4.
*Deformaciones permanentes
del terreno por licuación*

Deformaciones permanentes

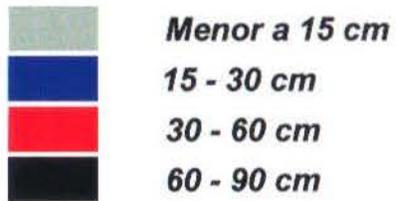
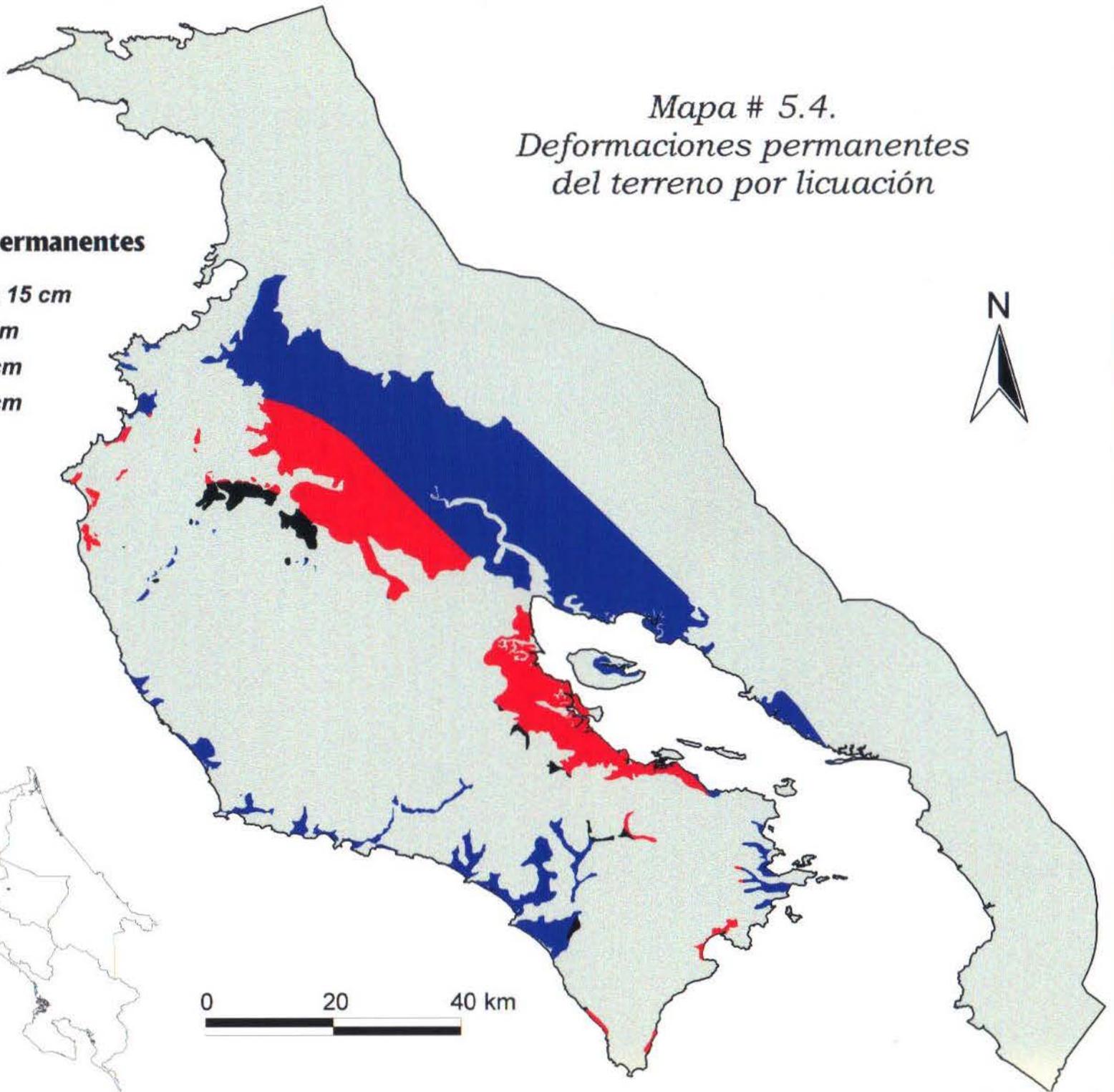


Diagrama de
ubicación del
área de estudio



Mapa # 5.5: Deformaciones permanentes del terreno por deslizamiento

Deformaciones permanentes



Diagrama de ubicación del área de estudio



Capítulo 6

Caracterización de las Estructuras de los Centros Educativos y de Salud

Son varias las razones por las que los centros educativos y de salud son considerados como estructuras de especial importancia a la hora de estudiar el impacto que un terremoto puede tener sobre una comunidad, durante y después de la ocurrencia del evento sísmico. Estas estructuras, en las cuales existen concentraciones de personas, merecen especial atención ya que en caso de que la estructura colapse estaría en peligro la vida de muchos.

Además de lo anterior, los centros educativos y de salud cumplen un papel de carácter social indispensable durante la emergencia que genera el terremoto. Es en este momento cuando más se requieren estructuras funcionales y en buen estado para poder dar albergue y atención a los sobrevivientes.

La determinación de la vulnerabilidad sísmica de estas estructuras es el primer paso para mitigar a tiempo las consecuencias de un posible desastre natural.

6.1 Problemas de Configuración en las Edificaciones

Es conocido que Costa Rica se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico. Además de la sismicidad que presenta nuestro territorio, se debe tomar en cuenta que la ciencia y la tecnología no han sido capaces de generar una técnica para predecir cuando va a ocurrir un sismo.

La forma en que los edificios son construidos determina la probabilidad de que ocurra daño debido a un sismo. La observación y la experimentación han generado una gran cantidad de información sobre la construcción de estructuras sismorresistente. Toda este conocimiento va quedando plasmado en los códigos de diseño. De esta forma, un factor determinante de la vulnerabilidad de la estructura puede ser la fecha de construcción, ya que es un indicativo de los principios sismo-resistentes con que fue diseñada.

Los problemas que se explican a continuación pertenecen a algunos defectos que presentan ciertas estructuras ya sea en su concepción en planta o en altura. Algunos de los defectos en el plano horizontal son los siguientes:

6.1.1 Longitud

La longitud en planta de una construcción influye en la respuesta estructural de la misma de una manera que no es fácil determinar por medio de los métodos usuales de análisis. En vista de que el movimiento del terreno consiste en una transición de ondas, la cual se da con una velocidad que depende de las características de masa y rigidez del suelo de soporte, la excitación que se da en un apoyo del edificio en un momento dado, difiere de la que se da en otro, diferencia que es mayor en la medida en que sea mayor la longitud del edificio en la dirección de las ondas. Esto se aprecia claramente en la Figura 6.1

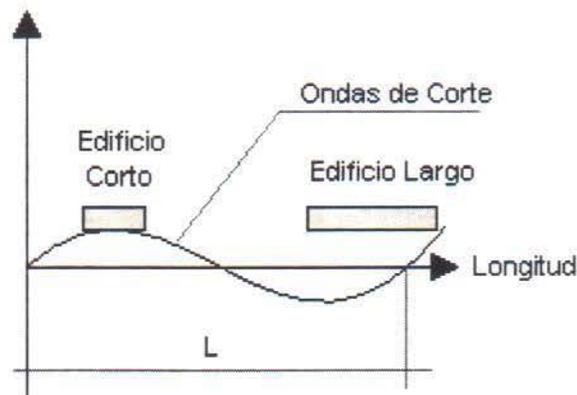


Figura 6.1

Relación entre la onda del sismo y la longitud de la estructura (Ref. 20)

Puede verse que los edificios cortos se acomodan más fácilmente a las ondas, y reciben una excitación semejante en todos sus apoyos, a diferencia de los largos. Este hecho, al parecer produce una disminución de las aceleraciones de respuesta de la estructura, debida a la intervención de excitaciones menores en algunos de sus apoyos.

Otro de los problemas de los edificios largos es que son más sensibles a las componentes torsionales de los movimientos del terreno, puesto que las diferencias de movimientos transversales y longitudinales del terreno de apoyo, de las que depende dicha rotación, son mayores.

El correctivo usual para este problema de longitud excesiva de edificios es la partición de la estructura en bloques por medio de inserción de juntas, de tal manera que cada uno de ellos pueda ser considerado como corto.

6.1.2 Flexibilidad:

La flexibilidad de una estructura ante cargas sísmicas puede definirse como su susceptibilidad a sufrir grandes deformaciones laterales entre los diferentes pisos, conocidas como derivas. Las principales causas residen en la distancia entre los elementos de soporte (claros o luces), a las alturas libres de los mismos, y a la rigidez de los mismos. Dependiendo de su grado la rigidez puede traer como consecuencia:

- Daños en los elementos no estructurales adosados a niveles contiguos.
- Inestabilidad del o de los pisos flexibles, o del edificio en general.

La flexibilidad es un factor especialmente importante en el caso de los centros de salud. En estos edificios, los daños no estructurales pueden traer como consecuencia la pérdida de funcionalidad de la estructura. A diferencia de otras estructuras en las que salvaguardar la vida de los ocupantes es el único objetivo, en el caso de los hospitales y clínicas se debe ir aún más lejos y garantizar que el centro de salud resista el sismo de forma tal que la estructura pueda operar después del sismo.

Para aumentar la rigidez de las estructuras, es recomendable incluir dentro del sistema resistente a las cargas laterales los muros estructurales, los cuales aumentan la rigidez y disminuyen las deformaciones de la estructura durante el evento sísmico.

6.1.3 Falta de Redundancia:

Se debe buscar que la resistencia a las fuerzas sísmicas se distribuya entre el mayor número de elementos posible. El olvido de este principio ha sido causa frecuente de errores en el planteamiento estructural de edificios, pues en el momento de suceder el sismo, los elementos estructurales van a responder de acuerdo al esquema inelástico,

debido al ingreso global de la estructura en el estado no lineal. Si existe redundancia, se produce una redistribución de los momentos la cual es beneficiosa a la hora de resistir cargas de sismo. En cambio, si gran parte de la resistencia de la estructura se concentra en un solo elemento, y este falla, la estructura no está en capacidad de absorber en los instantes siguientes la energía sísmica del sismo. En la siguiente figura podemos observar la definición de la redundancia en un edificio.

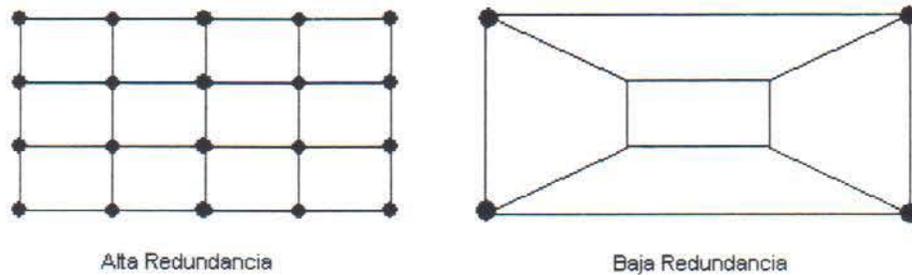


Figura 6.2 Redundancia de las estructuras (Ref. 20)

6.1.4 Torsión:

Hay varios tipos de torsión entre los que se encuentran: la torsión elástica, inelástica o accidental, y la natural.

6.1.4.1 Torsión Elástica:

Tiene lugar por excentricidad del centro de masa con relación a la rigidez. Los tres grandes casos que pueden dar lugar a dicha situación en planta son:

- Posición de la estructura más rígida de manera asimétrica con respecto al centro de gravedad del piso.
- Colocación de grandes masas en forma asimétrica con respecto a la rigidez.
- Combinación de las dos situaciones anteriores.

En general puede considerarse que una excentricidad entre la masa y la rigidez es grande cuando supera el 10% de la dimensión en planta bajo análisis

6.1.4.2 *Torsión Inelástica o accidental:*

Pueden presentarse torsiones en los diferentes pisos, adicionales a la supuesta, debido a la calidad de la construcción, tipo de diseño, entre otros factores.

6.1.4.2 *Torsión Natural:*

Por su propia naturaleza, el sismo conlleva componentes rotacionales que inducen pares de torsión de la estructura desde su base.

Los correctivos necesarios para el problema de torsión pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Las torsiones naturales y accidentales deben considerarse inevitables, debido a la naturaleza de del fenómeno y a la del diseño estructural inelástico. Por esta razón se sugiere proveer a los edificios de la llamada rigidez perimetral, la cual busca abrazar la estructura contra toda posibilidad de giro y repartir la resistencia torsional entre varios elementos.
- Para efectos del control de la torsión elástica, debe estudiarse el planteamiento de la estructura en planta y en altura, así como la presencia y la necesidad de aislamiento de los muros divisorios que puedan intervenir estructuralmente en el momento del sismo.

6.1.5 Flexibilidad del diafragma

Son varias las razones por las cuales puede darse este tipo de trabajo flexible. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- Flexibilidad del material del diafragma: entre los materiales de construcción usuales la madera es la que ofrece los mayores inconvenientes desde este punto vista.
- Relación del aspecto del diafragma: por tratarse de un trabajo a flexión, mientras mayor sea la relación largo/ancho del diafragma, mayores pueden ser las deformaciones laterales del mismo.
- Rigidez de la estructura vertical: en el caso extremo de un diafragma alargado en el que todos los elementos tengan igual rigidez, es de esperarse un mejor comportamiento del diafragma.

- Aberturas en el diafragma: las aberturas de gran tamaño practicadas en el diafragma para efectos de ventilación, iluminación y relación visual, ocasiona la aparición de zonas flexibles dentro del diafragma.

6.1.6 Concentración de esfuerzos en planta

Este problema surge en edificios denominados de plantas complejas y es muy común en edificaciones hospitalarias. Se define así a una planta en la cual la línea de unión de dos puntos cualesquiera de la misma suficientemente alejados hace su recorrido en buena parte fuera de la planta. Esto se da cuando la planta está compuesta de alas de tamaño significativos orientadas en diferentes direcciones (formas H, U, L, etc.). En la Figura 6.3 se pueden ver algunos casos de concentración de esfuerzos.



Figura 6.3 (Ref. 20)

Los problemas en la configuración de altura se pueden resumir en:

6.1.7. Concentración de masa

El problema en cuestión es el ocasionado por altas concentraciones de la masa total del edificio en algún nivel determinado, por causa de la disposición en él de elementos pesados, tales como equipos, tanques, bodegas, archivos, etc. El problema es mayor en la medida en que dicho nivel pesado se ubica a mayor altura, debido a que las aceleraciones sísmicas de respuesta aumentan también hacia arriba.

En casos, en que por razones topográficas, se deba tener grandes almacenamientos de agua en alturas elevadas, debe preferirse construir torres independientes para ese fin.

6.1.8 Columnas débiles:

Estas fallas pueden agruparse en dos clases:

- Columnas de menor resistencia que las vigas: la resistencia proporcionada a las vigas que llegan a un nudo, es mayor que la de las columnas respectivas. Al producirse la rotación del nudo por el movimiento sísmico, las columnas entran primero en cedencia que las vigas, con lo cual la formación de rótulas plásticas se da primero en las columnas que en las vigas, y puede darse un mecanismo de colapso por inestabilidad.
- Columnas cortas: lo cual puede darse por:
 - Confinamiento lateral de la columna por muros divisorios, de fachada o contención.
 - Disposición de losas en niveles intermedios.
 - Ubicación del edificio en terrenos inclinados.

Las columnas cortas son causa de serias fallas en edificios bajo excitaciones sísmicas, debido a que su mecanismo de falla es frágil ya que se da por cortante antes que por flexión. Las soluciones a estos problemas es la separación del muro de la columna por medio de juntas, o la ubicación en un plano diferente. Para el caso de niveles intermedios, la ubicación de las columnas fuera de la línea de transición entre los niveles. En terrenos inclinados debe buscarse la ubicación de los cimientos de las columnas a profundidades mayores.

6.1.9 Pisos débiles:

Son pisos más vulnerables que los otros debido a que tienen menor rigidez, o menor resistencia. Los esquemas usuales son:

- Mayor altura del piso
- Interrupción de elementos estructurales verticales en el piso.
- Construcción sobre terrenos inclinados.

6.2 Infraestructura de los Centros Educativos

6.2.1 Aspectos Generales

Un terremoto es uno de los eventos naturales más devastadores, ya que el colapso de los edificios puede producir gran cantidad de víctimas.

Tanto las escuelas primarias como las secundarias son estructuras que merecen especial atención en cuanto a las consideraciones sismo-resistentes debido a que:

- las características especiales de quienes las ocupan.
- su importancia para hacer frente a la emergencia por terremoto.

Por otro lado, el diseño de escuelas primarias y secundarias presenta una problemática especial:

- La densidad de ocupantes es una de las más altas dentro de cualquier tipo de edificio.
- Estas estructuras están ocupadas por el bien más preciado de una sociedad, sus niños.
- Las escuelas pueden ser instalaciones muy complejas, incluyendo salones de clase muy pequeños, laboratorios, oficinas y grandes espacios destinados a auditorios.
- Posterior al evento sísmico, las víctimas del mismo estarán necesitando refugio y si el edificio de el centro educativo no es funcional, será otro problema más aunado a la crisis, en vez de contribuir a la solución.
- El cierre de los centros educativos durante cualquier período representa un problema serio para la comunidad e incluso los daños severos en el centro educativo llegan a impactar económicamente a toda la comunidad.

Sin restarle importancia a la necesidad de crear nuevas edificaciones, la gran mayoría de la infraestructura que tendrá el sector educativo al comienzo del próximo siglo ya existe. Según el documento de trabajo del Congreso de la OEA de 1990 más del 90% de la infraestructura educativa es vulnerable a eventos naturales debido a:

- Falta de conocimientos que se tenía sobre las amenazas naturales cuando la infraestructura fue construida.

- Prácticas inadecuadas de diseño y/o construcción.
- Modificaciones inadecuadas
- Alto nivel de deterioro
- Falta de atención a la fase de mantenimiento por parte de la comunidad educativa.

6.2.2 Centros Educativos en estudio

En Costa Rica, al igual que en otros países, es poco lo que se conoce sobre los niveles de riesgo específicos de la infraestructura educativa existente en su jurisdicción. Más aún si las autoridades están conscientes de los niveles de riesgo, las restricciones presupuestarias usualmente determinan que los fondos disponibles se utilicen para tareas de reparación, ampliación o sustitución de infraestructura, sin constatar que la construcción de nuevos espacios y el refuerzo del inventario actual cumplan con niveles aceptables de vulnerabilidad a peligros naturales.

Es importante realizar estos estudios, de manera que se aprovechen al máximo las inversiones que los países hacen en materia de infraestructura educativa. De esta manera se busca que no se desperdicie el escaso dinero que se invierte en este aspecto, construyendo estructuras que resistan los peligros naturales a los que se pueden ver sometidas durante su vida útil.

Existe una diferencia notable entre, prevenir el colapso u otro daño catastrófico que destruya la instalación, y evitar daños para asegurar el uso continuo de la instalación. Solo recientemente se ha reconocido que los daños a la infraestructura en este sector por eventos naturales, repercute proporcionalmente en la pérdida de horas docentes que afectan el normal desarrollo de las actividades educativas y en consecuencia disminuyen la calidad de la educación. Además normalmente las escuelas son centros designados como refugio en caso de emergencia y no existen estrategias para que las instalaciones puedan volver rápidamente a funcionar normalmente después de un desastre.

En la zona de estudio, descrita en el Capítulo III, se pueden encontrar un total 572 centros de enseñanza primaria y 43 centros de enseñanza media. Estos centros de educación presentes en la zona de estudio se pueden observar en los Mapas 6.1 y 6.2.

En las tablas 6.1 y 6.2, se muestran los datos de matrícula para marzo de 1997 proporcionados por el Departamento de Estadística del Ministerio de Educación Pública.

Tabla # 6.1

Análisis de las escuelas de la zona de estudio

	Escuelas (estud.)	Estud. Por Escuela	% del total
572 escuelas	53239	Todas	100
100 escuelas	35329	Más de 110	66
70 escuelas	31316	Más de 160	59
39 escuelas	24485	Más de 300	46
22 escuelas	18249	Más de 500	34
17 escuelas	15409	Más de 600	29

Tabla # 6-2

Análisis de los colegios de la zona de estudio

	Colegios (estud.)	Estud. Por Colegio	% del total
43 colegios	20073	Todos	100
31 colegios	18965	Más de 200	94
20 colegios	15315	Más de 400	76
16 colegios	13426	Más de 500	67
12 colegios	11304	Más de 600	56

En estas tablas se puede comprobar que en la zona de estudio existen 572 escuelas, y 43 colegios. Como se estableció en los alcances de este proyecto, descritos en el capítulo I, se van a analizar aquellos centros educativos que hayan registrado una matrícula mayor a los 500 estudiantes en la matrícula del ciclo lectivo de 1997, lo cual representa un total de 22 escuelas y 16 colegios por analizar. Estos centros se muestran en los Mapas 6.3 y 6.4 .

En los Mapas 6.5 y 6.6 se muestra la zona de influencia de estos centros de enseñanza en el área determinada para el estudio . En estos mapas se puede observar que estos centros aparte de abarcar completamente los principales centros de población de la zona como por ejemplo: Puntarenas, Liberia, Cañas, Santa Cruz, Nicoya, entre otros, sus áreas de influencia cubren la mayoría de la zona de estudio. Además los centros educativos de más de 500 estudiantes representan, por lo general, centros de enseñanza de más de 10 aulas, lo que supone que estas escuelas y colegios tienen un mínimo de infraestructura que amerite ser tomado en cuenta en el análisis.

A pesar de que el porcentaje de estudiantes que se abarcan con el estudio de las 22 escuelas (con más de 500 estudiantes) es relativamente bajo (34,28%), lo cual se debe a que existe una gran cantidad de escuelas con pocos estudiantes, se tiene la certeza de estudiar los centros de educación que van a tener una influencia determinante a la hora de atender la emergencia. Los centros educativos con matrículas menores de 500 estudiantes, por su tamaño no son de importancia para un posterior estudio de reforzamiento de estructuras. Es más el 76,9% de las escuelas presentes en la zona de estudio son centros educativos con una matrícula menor a 80 estudiantes, lo que representa un tamaño de aproximadamente de 3 aulas o menores, por lo que no van a ser centros de importancia a la hora de enfrentar la posible emergencia producto del terremoto. En la Figura 6.4 se pueden apreciar los histogramas que presentan la distribución de la población estudiantil en los diversos centros de educación primaria, mientras que en la Figura 6.5 para los centros de educación secundaria.

Histograma 1
Escuelas de la Zona de Estudio

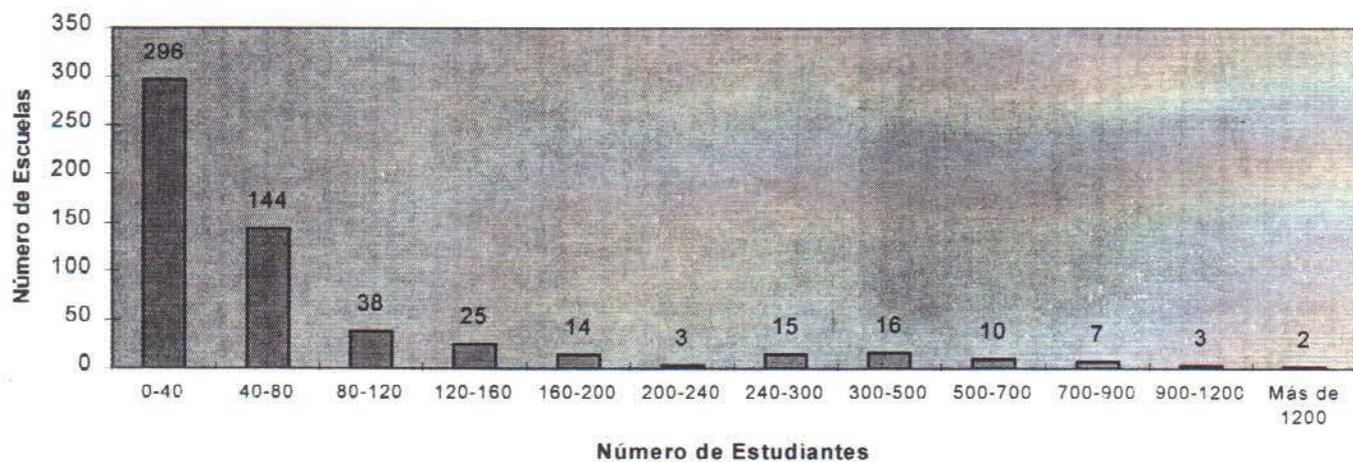


Figura 6.4

Histograma 2
Colegios de la Zona de Estudio

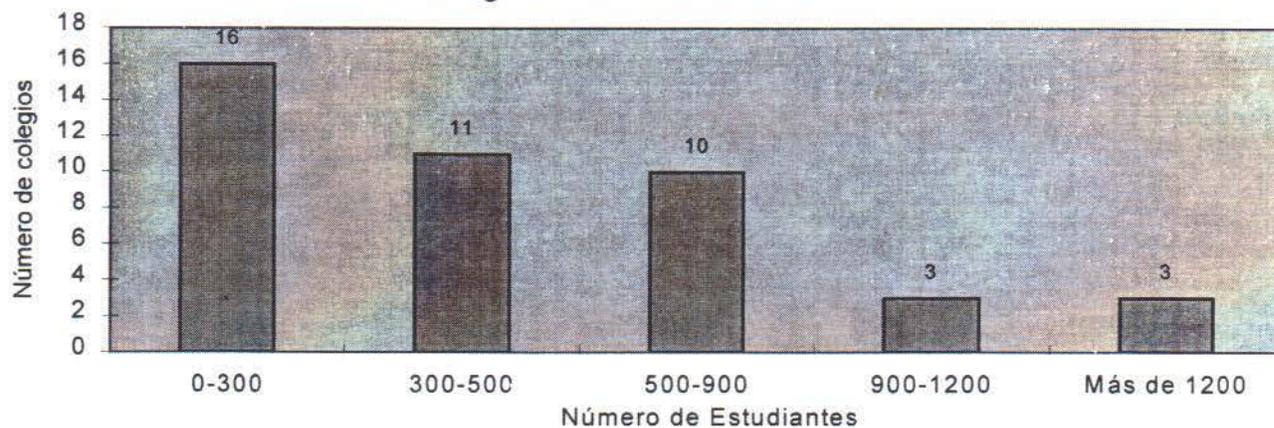


Figura 6.5

La siguiente tabla presenta los centros de educación primaria que fueron tomados en cuenta en el trabajo y información de su ubicación y matrícula.

Tabla # 6.3

Escuelas incluidas en el análisis

CENTRO	NOMBRE	PR	CAN	DIS	POBLADO	MATRÍCULA
9	RIOJALANDIA	6	01	08	RIOJALANDIA	2020
702	ARTURO TORRES MARTINEZ	6	02	01	ESPARZA	1299
748	MONS.LUIS LEIPOLD HERBERT	5	06	01	LAS CAÑAS	1126
5024	ASCENSION ESQUIVEL IBARRA	5	01	01	LIBERIA	952
8782	FRAY CASIANO DE MADRID	6	01	12	FRAY CASIANO DE M.	940
6824	SAN MARTIN	5	02	01	SAN MARTIN	882
4918	MORACIA	5	01	01	MORACIA	862
1744	FILADELFIA	5	05	01	CENTRO	832
250	ALBA OCAMPO	5	01	01	B.LOS ANGELES	827
7120	SAN ROQUE	5	01	01	SAN ROQUE	822
322	EL ROBLE	6	01	08	EL ROBLE	802
7592	JOSEFINA LOPEZ BONILLA	5	03	01	CENTRO	769
4316	LEONIDAS BRICEÑO B.	5	02	01	NICOYA CENTRO	689
5080	NUESTRA SEÑORA DE SION	6	01	01	COCAL	674
567	JUANITO MORA PORRAS	6	01	08	JUANITO MORA	670
490	ANTONIO OBANDO ESPINOZA	5	06	01	SAN MARTIN	627
2441	CORAZON DE JESUS	5	01	01	CORAZON DE JESUS	616
352	GRAL. TOMAS GUARDIA	5	04	01	BAGACES	586
3272	JOSE R. ORLICH ZAMORA	6	01	12	CHACARITA	574
336	AUGUSTO COLOMBARI CHICOLI	6	01	08	BARRANCA	572
7400	BERNARDO GUTIERREZ	5	05	03	SARDINAL	562
4208	DELIA OVIEDO DE ACUNA	5	07	01	LAS JUNTAS	546
4912	MORA Y CAÑAS	6	01	01	COCAL	284
1260	PBRO. JOSE DANIEL CARMONA	5	09	01	CARMONA	252
571	LOS ANGELES	5	02	01	LOS ANGELES	123

Como se puede observar en esta tabla, tres de las escuelas que fueron analizadas, tienen una matrícula inferior a los 500 estudiantes, ya que se consideraron de importancia incluirlas por distintas razones como por ejemplo:

- La escuela Mora y Cañas se incluyó debido a que posee un tamaño considerable, lo cual es de importancia al considerarla como un posible centro de refugio en el caso de

la ocurrencia del terremoto, ya que esta escuela se encuentra en una de las zonas de mayor densidad poblacional de la zona de estudio como se puede apreciar en el Mapa # 3.8 de densidades de distritos .

- La escuela Pbro. José Daniel Carmona Briceño se incluyó debido a dos razones, su tamaño y su localización. Esta es la escuela de mayor tamaño que se ubica en la zona sureste de la Península, donde no se encuentran escuelas que registren una matrícula mayor a los 500 estudiantes.
- La escuela Los Angeles de Nicoya se consideró interesante incluirla ya que es la escuela más nueva que se puede encontrar en la zona de estudio.
- Los colegios considerados en el estudio se resumen a continuación:

Tabla # 6.4

Colegios incluidos en el análisis

CENTRO	NOMBRE	PR	CAN	DIS	POBLADO	MATRÍCULA
233	ESPARZA	6	02	01	ESPIRITU SANTO	1365
258	SANTA CRUZ	5	03	01	SANTA CRUZ	1312
254	INSTITUTO DE GUANACASTE	5	01	01	EL CAPULIN	1233
503	C.T.P. DE PUNTARENAS	6	01	01	EL ROBLE	1121
263	NICOYA	5	02	01	CENTRO	1041
270	MIGUEL ARAYA VENEGAS	5	06	01	CANAS	1037
235	CHACARITA	6	01	12	CARRIZAL	887
231	JOSE MARTI	6	01	01	CENTRO	736
234	MIRAMAR	6	04	01	MIRAMAR	710
521	C.T.P.A. DE LIBERIA	5	01	01	BARRIO EL CAPULIN	660
502	C.T.P.A. DE JICARAL	6	01	04	JICARAL	602
531	C.T.P.A. SARDINAL	5	05	03	SARDINAL	600
10002	SANTA ANA	5	01	01	LA CRUZ.	575
538	C.T.P.A. NICOYA	5	02	01	CENTRO	549
526	C.T.P.A. CARRILLO	5	05	01	LOS JOCOTES	542
240	ANTONIO OBANDO CHAN	6	01	08	RIOJALANDIA	517
539	C.T.P.I. LA MANSION	5	02	02	LA MANSION	514
527	C.T.P.A. 27 DE ABRIL	5	03	03	27 DE ABRIL	320
505	C.T.P.A. PAQUERA	6	01	05	PAQUERA	211

Como se puede apreciar, al igual que en las escuelas, se analizaron dos colegios con matrículas menores a 500 estudiantes. Estos colegios son: el C.T.P.A 27 de abril y el

C.T.P.A Paquera. Ambos colegios se incluyeron debido a que se consideró de importancia tanto por su tamaño como por su ubicación.

6.3 Infraestructura Centros de Salud

6.3.1 Aspectos generales

Las instalaciones hospitalarias por su naturaleza deben mantenerse en operación después de ocurrir un terremoto, para que sirvan en la atención del desastre sísmico en la región de su ocurrencia. Además los hospitales albergan en el momento del sismo un gran número de pacientes prácticamente inhabilitados para la evacuación de la edificación, en contraste con los ocupantes de un edificio cualquiera.

Por su naturaleza las construcciones hospitalarias tienden a ser construcciones de gran envergadura y complejidad, lo que produce a que en muchos casos presenten esquemas de configuración complejos. En la planeación de un hospital es necesario tener en cuenta que una de las mayores causas en daños a edificaciones ha residido en esquemas de configuración arquitectónico-estructural nocivos. Puede decirse de manera general que el alejamiento de formas y esquemas estructurales simples es castigado fuertemente por los sismos.

Los hospitales y en general las instalaciones de salud son elementos expuestos que pueden sufrir graves daños como consecuencia de la ocurrencia de sismos intensos. En otras palabras, el riesgo sísmico de las instalaciones de salud puede llegar a ser muy alto, razón por la cual es necesario construir las nuevas edificaciones con requisitos sismo-resistentes adecuados de acuerdo con la amenaza sísmica de cada zona. También es necesario evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones existentes, con el fin de identificar sus debilidades y diseñar y construir las intervenciones físicas o reestructuraciones que sean necesarias.

6.3.2 Centros de Salud en estudio

En la zona de estudio, podemos encontrar un total de 28 centros de salud. Estos se distribuyen en 2 hospitales regionales, 1 hospital periférico, 15 clínicas y 9 EBAIS. Es importante aclarar que estos centros que se clasifican como EBAIS, son en realidad

estructuras similares a las clínicas, solo que en estas se cumplen la doble función (clínicas y EBAIS).

En la siguiente tabla se pueden apreciar las diversas clínicas y los EBAIS presentes en la zona de estudio:

Tabla # 6.5

Clínicas de la zona de estudio

Zona	Tipo de Clínica			
	1	2	3	4
1	Cartagena (2) Sámara (2) Santa Bárbara (2)	27 de Abril (2) Nandayure (1) Hojancha (2)	Santa Cruz (1)	
2	Paso Tempisque (2) Sardinal (2) Colorado (2) Bebedero (2)	Bagaces (1) Filadelfia (1) Cañas (1) Abangares (1)		
3	Jacó (1) Chacarita (1) Paquera (1) Barranca (1)	Chomes (1) Jicaral (1) Cóbano (1) Miramar (1) Esparza (1)		San Rafael (1)

- (1) Sede de Área
(2) EBAIS

En la tabla, al lado de cada centro de salud se muestran entre paréntesis la cantidad de equipos médicos de que dispone el centro. Un equipo médico está compuesto por un doctor, una enfermera y un técnico. Así por ejemplo una clínica tipo 3, tiene tres equipos médicos.

Esta tabla muestra también el nivel de jerarquía que tiene cada centro de salud y da una idea de su tamaño y su área de cobertura. Por ejemplo un paciente que tenga que ir a Jacó por alguna emergencia médica, y se diera el caso que en esta unidad no lo puedan atender porque no tienen el equipo necesario, pasaría a la clínica de mayor rango que le concierne a la zona como por ejemplo la clínica de Chomes o Esparza. Y si en esta clínica tampoco se le puede atender, el paciente pasaría a la clínica de San Rafael, y así

sucesivamente. Así, los centros que se muestran más a la derecha en la tabla, generalmente son los de mayor tamaño e importancia.

Estas mismas relaciones se aplican para los hospitales de la zona de estudio como se puede observar en el siguiente organigrama:

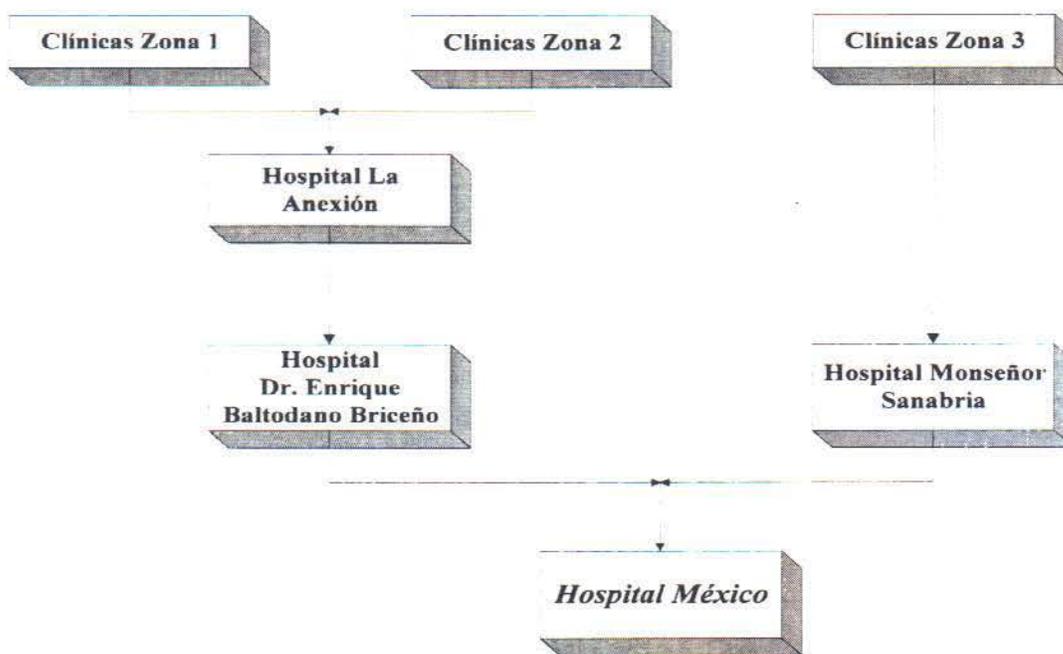


Figura 6.6 Organización de los Centros de Salud

Las clínicas que se señalan al inicio del organigrama están clasificadas por zonas, las cuales se pueden observar en la Tabla 6.5. Al igual que en la tabla anterior, en este organigrama se representa el orden de jerarquía de los hospitales, lo cual se interpreta de la misma manera que con las clínicas. Las diversas clínicas, hospitales y EBAS, con sus distintas clasificaciones se pueden observar en los Mapas 6.8 y 6.9.

Es importante reseñar que las respectivas zonas de influencia de los diversos centros de salud, cubren prácticamente en su totalidad la zona de estudio, por lo que podemos deducir que estos se encuentran distribuidos correctamente, lo cual es de suma importancia a la hora de atender una emergencia. Esto se puede apreciar en el Mapa 6.7.

6.4 Descripción de las estructuras analizadas

A continuación se procederá a realizar una descripción general de las estructuras encontradas en las zonas de estudio tanto para centros de salud como para centros educativos, además se comentará la clasificación escogida para el análisis de estas estructuras por medio del método HAZUS.

- **Estructuras tipo Van Dam:** estas son estructuras muy comunes en los centros de educación. Estas estructuras consisten en edificaciones prefabricadas de marcos de acero, los cuales tienen por lo general paredes de baldosas de concreto prefabricado o bien de mampostería. Estas paredes no rodean por completo a la estructura sino que en uno de los lados longitudinales, se hace un muro de un metro de alto aproximadamente, con el fin de brindar una ventilación adecuada al aula. Estas estructuras se clasificaron como S1L, ya que en la descripción de este modelo se dice que están compuestas por marcos de acero, y que por lo general están cubiertas por paredes no estructurales de mampostería de ladrillos o de paneles prefabricados. El último dígito "L" de la clasificación se debe a que es una estructura de menos de 3 pisos.
- **Estructuras tipo Galindo:** estas estructuras son muy similares a las tipo Van Dam. La estructura principal la constituyen marcos de acero. Difieren de las Van Dam porque en este caso el cerramiento es de paredes livianas, generalmente láminas de fibrocemento muy delgadas. En realidad estas láminas no aportan mucha rigidez al marco principal y ni siquiera se puede suponer que constituyen un arriostramiento para los marcos de acero. Estas estructuras se clasificaron como S3L, ya que éstas se caracterizan por tener los marcos de acero rodeados de paneles livianos.
- **Estructuras de Concreto Prefabricado y Baldosas:** estas edificaciones se presentan tanto en centros educativos como centros de salud. La gran mayoría de estas estructuras son conocidas aquí como edificaciones prefabricadas tipo PC. Se caracterizan por su rapidez de instalación, ya que todos los elementos de los marcos

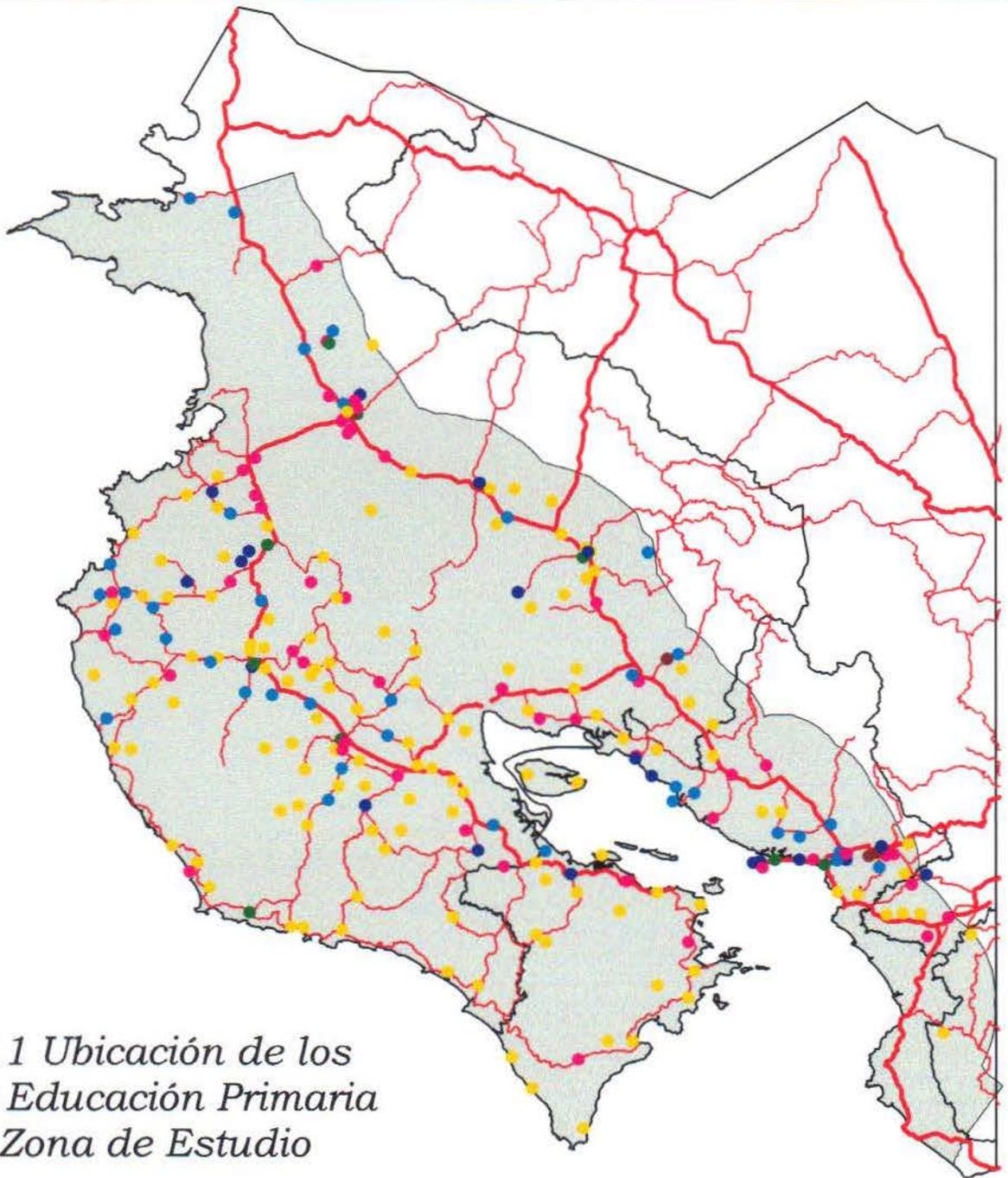
son prefabricados, y las paredes son baldosas de concreto. Estas estructuras se clasificaron como PC2L ya que es la clasificación presente en el HAZUS que se amolda a estas edificaciones. Algunas de las características que se mencionan en esta clasificación son las siguientes: diafragmas de concreto prefabricado, las cargas laterales son resistidas por muros de concreto prefabricados, entre otros aspectos. El “L” como ya se comentó se debe a que son estructuras de un solo piso, o sea que se encuentran en el rango de 1 a 3 pisos por lo que se le asigna la letra “L” a la clasificación.

- **Estructuras de madera:** estas estructuras se caracterizan porque los marcos de madera son el componente estructural esencial. Se dividen en dos clasificaciones, las cuales dependen del área de construcción. Para estructuras con área menor a 500 m^2 , se utiliza la clasificación W1L, y para áreas mayores a los 500 m^2 se aplica la W2L.
- **Gimnasios de centros educativos:** La mayor parte de los gimnasios de los centros educativos estaban constituidos por marcos de acero. De estas estructuras, algunas de ellas se clasificaron como S2L, mientras otras como S1L. Esto varía de acuerdo al tipo de arriostramiento con que contaban los marcos principales, ya que la primera clasificación se aplica para gimnasios arriostrados, mientras que la segunda se utiliza para gimnasios sin arriostrar, o que el arriostramiento es insuficiente. Además se encontró un gimnasio de concreto prefabricado, el de la Escuela Josefina López en Santa Cruz, el cual se clasificó como C1L. Como se explicó en el Capítulo 4 las estructuras C1L más modernas se caracterizan por tener un sistema estructural a base de marcos de concreto diseñados para tener un comportamiento dúctil. Estos marcos no tienen sus desplazamientos restringidos por ningún otro elemento (ejemplo muro de mampostería) como en este caso; o bien puede contar con estos elementos, pero fuera del plano de los marcos principales.
- **Estructuras de marcos de concreto prefabricados desligados de las paredes:** este tipo de estructuras se pueden observar en las clínicas de Riojalandia y de Chacarita. Como se mencionó anteriormente los marcos son de concreto prefabricados, mientras

que las paredes son de mampostería las cuales se encuentran desligadas de los marcos. Estas estructuras se clasificaron como C1L, ya que es la clasificación que más se amolda estas clínicas de las que se presentan en el manual del HAZUS. Esta clasificación se aplica a estructuras con marcos de concreto desligados de las paredes. En el manual no se indica que estos marcos no sean prefabricados, por lo que se optó por utilizar esta clasificación.

- **Estructuras de concreto con muros de cortante:** la única estructura de la zona de estudio de este tipo es el Hospital Monseñor Sanabria, el cual es un edificio de 10 pisos, que posee muros de cortante. Esta estructura se clasificó como tipo C2H. La letra H se debe a que por ser una estructura de 10 pisos, clasifica con esta letra ya que a esta pertenecen las edificaciones mayores de 8 pisos. Es importante mencionar que para la determinación del daño de esta edificación, se utilizó la fecha de reestructuración, en la cual se agregaron los muros de cortante. Este detalle es clave ya que la fecha de construcción va a determinar el tipo de código a emplear para la determinación de daños en la estructura.
- **Estructuras de concreto con mampostería confinada:** este tipo de edificaciones las podemos encontrar en varios lugares como por ejemplo en el Hospital San Rafael, en la Clínica de Esparza, en varias escuelas como por ejemplo en la Arturo Torres Martínez de Esparza, entre otros. Estas estructuras las clasificamos como C3L, ya que es la única clasificación que se puede aplicar, a pesar de que dice que la mampostería no está reforzada. Sin embargo es de pensar que por la fecha de construcción de la mayoría de estas estructuras la mampostería no sea reforzada, o que el refuerzo que pueda poseer no sea el adecuado.
- **Estructuras de Adobe:** este tipo de edificaciones las encontramos en las escuelas Ascensión Esquivel y en la Escuela Central de Filadelfia. Estas estructuras son edificaciones realizadas completamente con adobe, sin ningún otro elemento estructural. Estas edificaciones se clasificaron como URML, la cual se aplica para edificaciones de mampostería no reforzada, en la cual clasifica el adobe.

- **Estructuras de mampostería inconfiada:** estas estructuras se pueden encontrar en varios centros educativos como por ejemplo en el Colegio de Miramar. Estas edificaciones se clasificaron como URML. La clasificación URML en realidad corresponde con estructuras de mampostería no confinadas sin reforzar. Se utilizó este modelo ya que es la clasificación de las que propone la metodología que mejor se amolda a la estructura. Sin embargo, en los casos en que las paredes de mampostería cuenten con refuerzo de acero, el daño resultante podría estar siendo sobrestimado con respecto a los daños reales que podrían ocurrir durante el sismo.



Mapa # 6.1 Ubicación de los Centros de Educación Primaria para la Zona de Estudio

20 0 20 40 Kilometers



Ubicación

Población Estudiantil

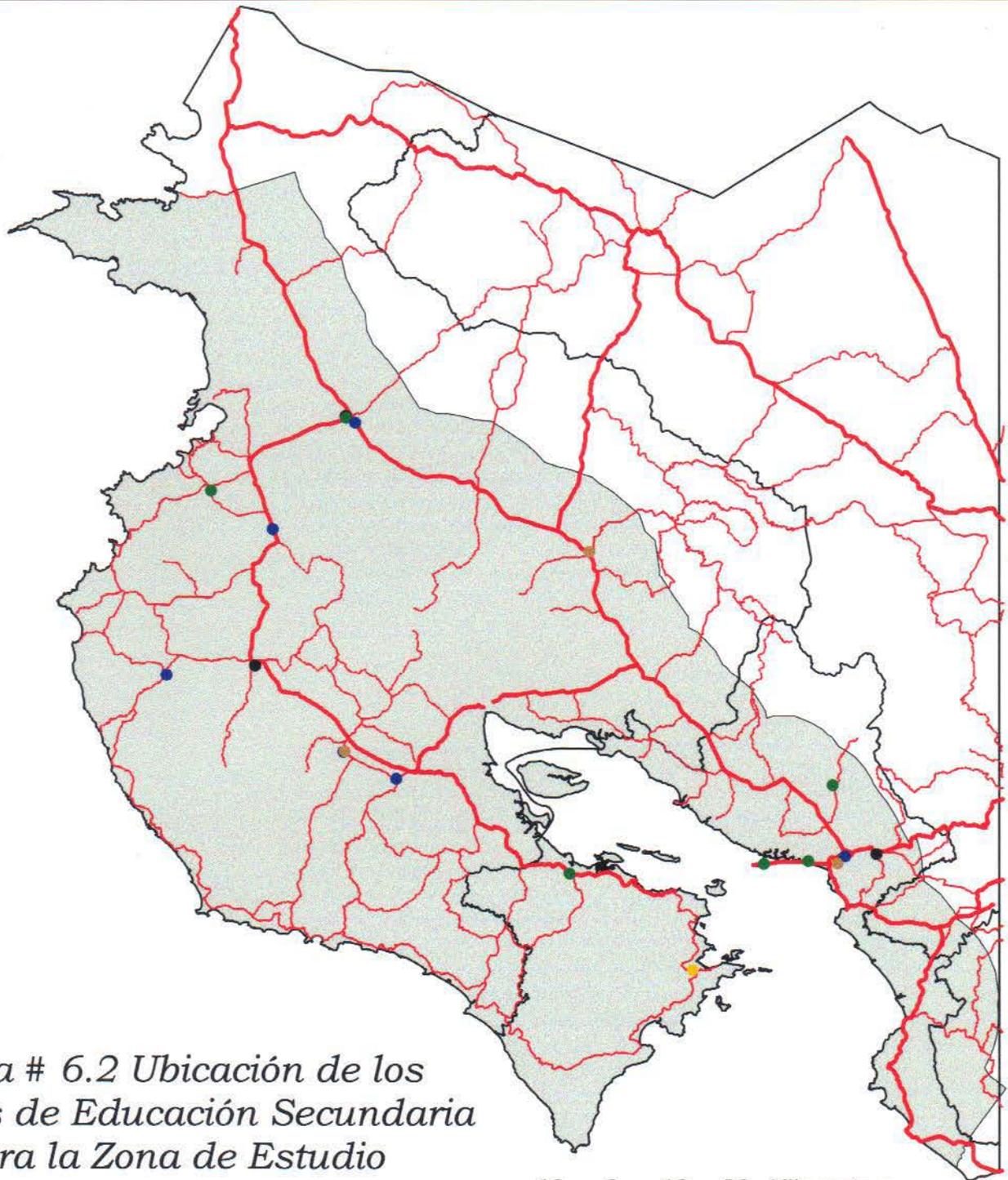
- 40 - 80
- 80- 120
- 120- 300
- 300- 600
- 600- 900
- Más de 900

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza



Mapa # 6.2 Ubicación de los Centros de Educación Secundaria para la Zona de Estudio

10 0 10 20 Kilometers



Ubicación

Población Estudiantil

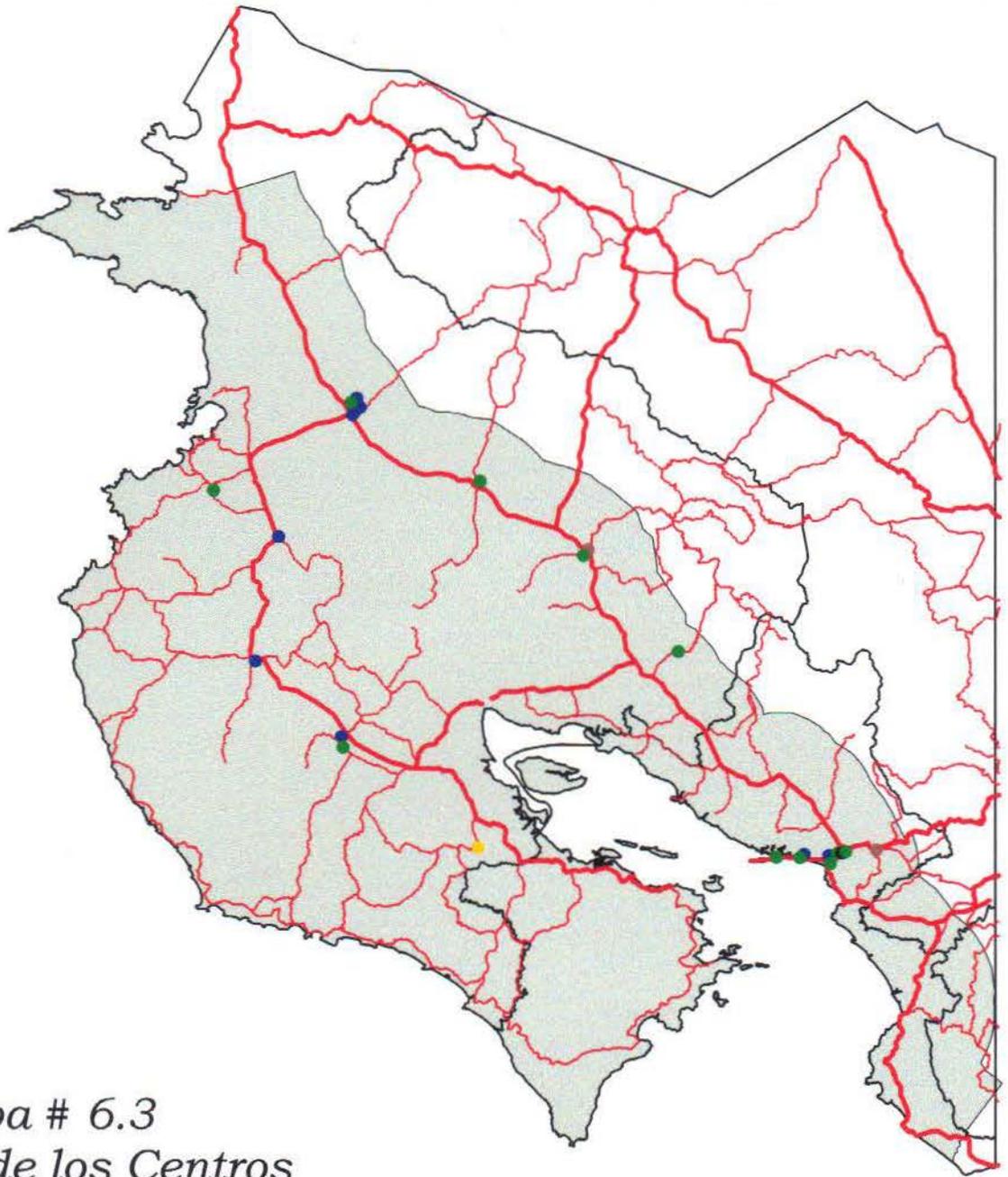
- 0 - 300
- 300 - 600
- 600 - 900
- 900 - 1200
- Más de 1200

Rutas Nacionales

- ▬ Primaria
- ▬ Secundaria
- ▬ Terciaria

■ Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza 6-23



Mapa # 6.3
Ubicación de los Centros
de Educación Primaria
en estudio

0 40 Kilometers



Ubicación

Población Estudiantil

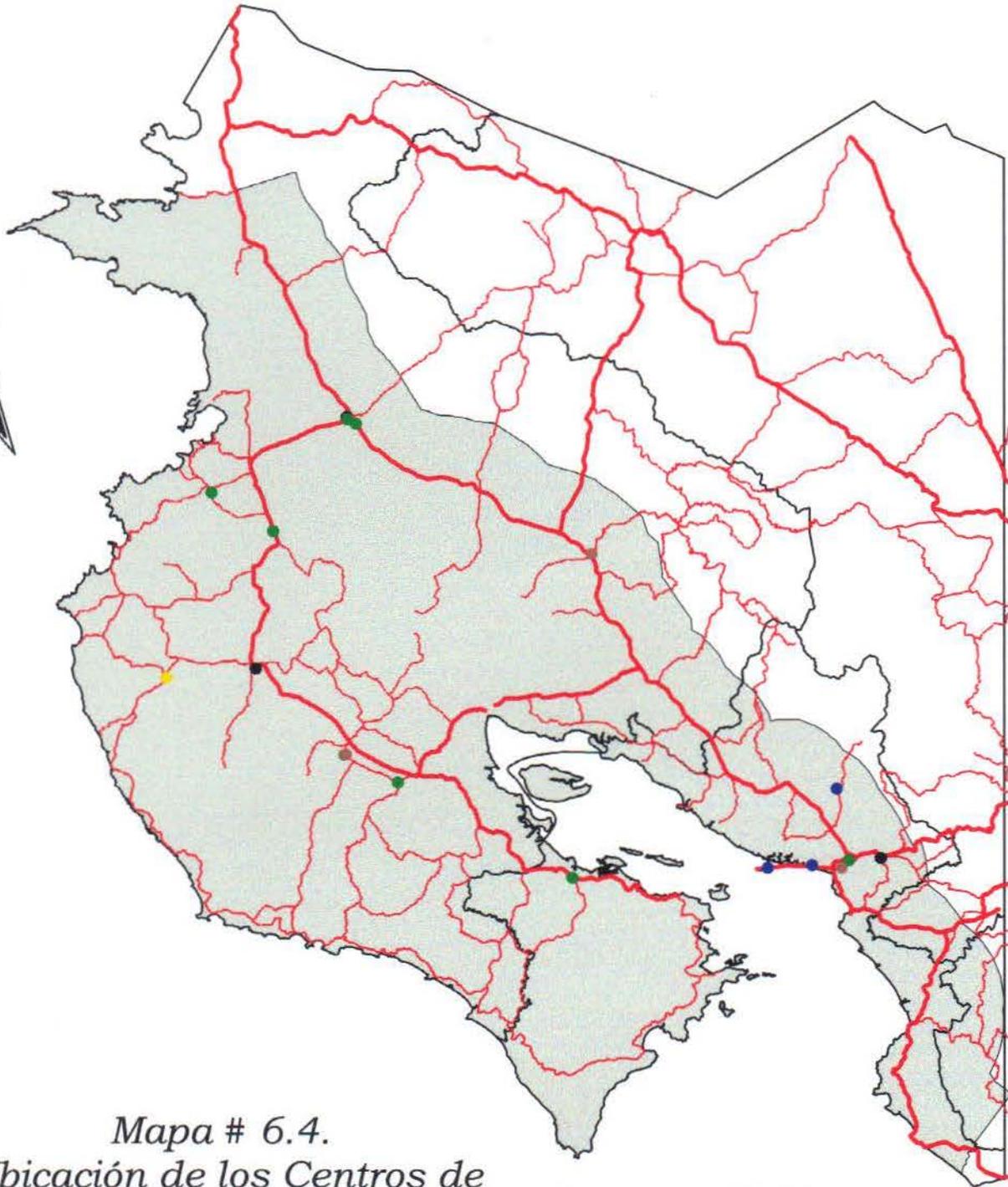
- 300 - 500
- 500 - 700
- 700 - 1000
- 1000 - 1500
- Más de 1500

Rutas Nacionales

- ▬ Primaria
- ▬ Secundaria
- ▬ Terciaria

▭ Zona de Estudio

Realizado por:
J.P Montealegre
A. Trezza 6-24



Mapa # 6.4.
Ubicación de los Centros de
Educación Secundaria en estudio

0 30 Kilometers



Población Estudiantil

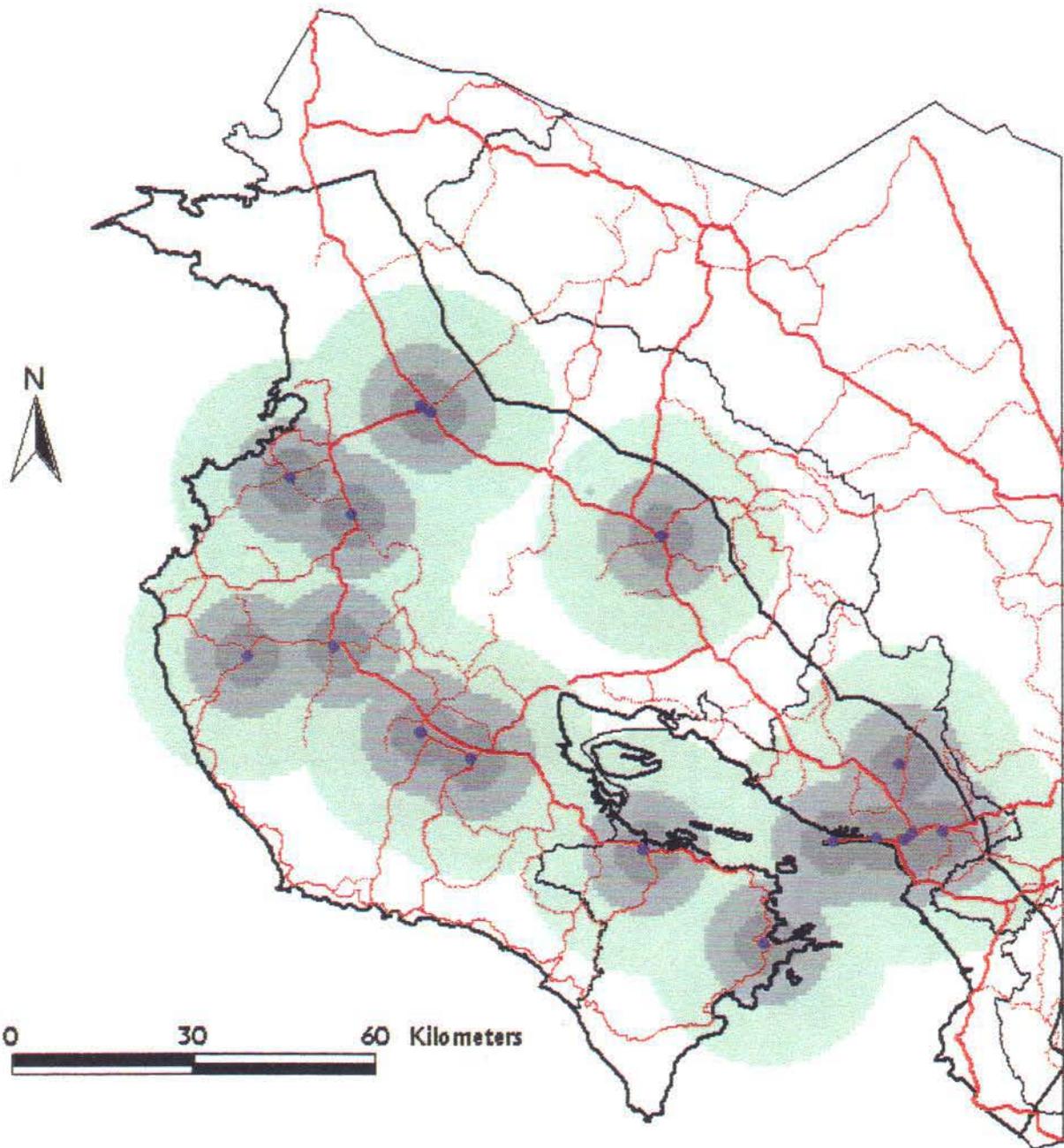
- 300 - 500
- 500-700
- 700-900
- 900-1100
- Más de 1200

Rutas Nacionales

- ▬ Primaria
- ▬ Secundaria
- ▬ Terciaria

▭ Zona de Estudio

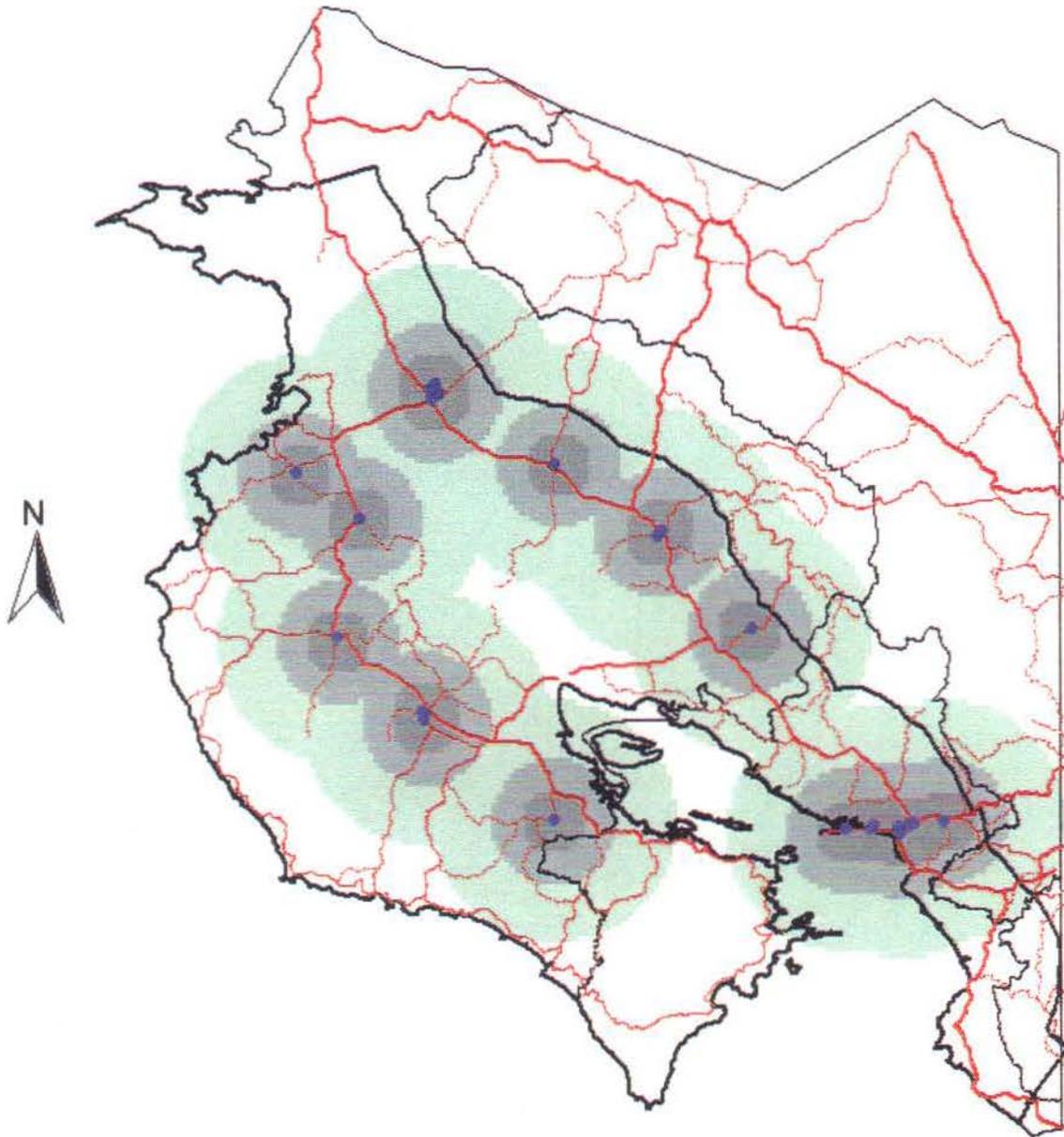
Realizado por:
J.P Montealegre
A. Trezza 6-25



Mapa # 6.5: Areas de Influencia para los Centros de Educación de Enseñanza Secundaria con más de 500 estudiantes

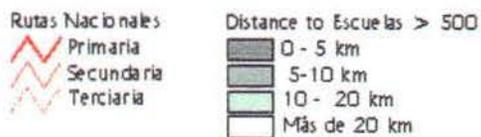
- | | |
|------------------|----------------------------|
| Rutas Nacionales | Distance to Escuelas > 500 |
| Primaria | 0 - 5 km |
| Secundaria | 5 - 10 km |
| Terciaria | 10 - 20 km |
| | Más de 20 km |

*Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza*

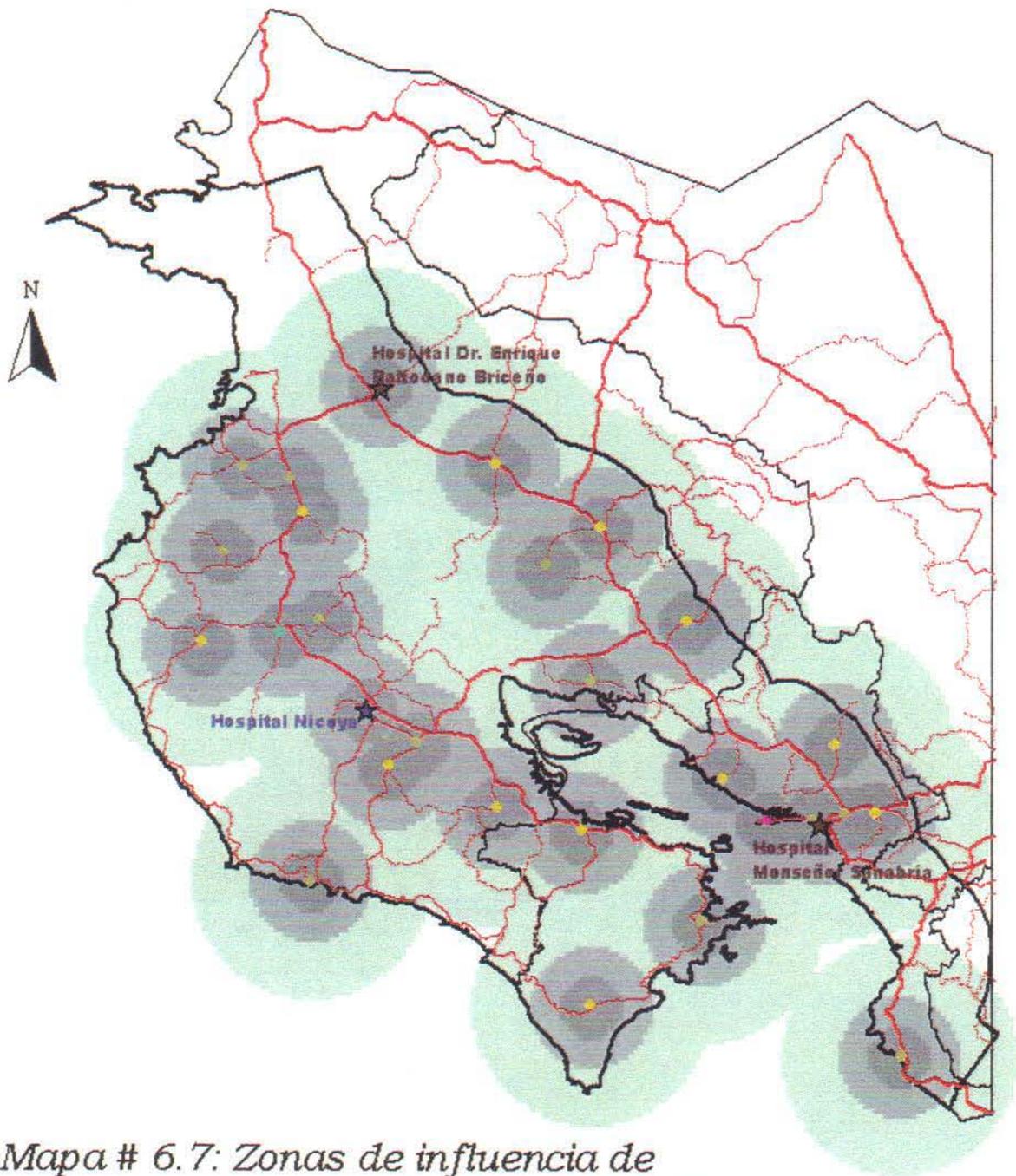


Mapa # 6.6: Areas de Influencia para los Centros de Educación de Enseñanza Primaria con más de 500 estudiantes

0 30 60 Kilometers



*Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza*



Mapa # 6.7: Zonas de influencia de hospitales y clínicas en el área de estudio

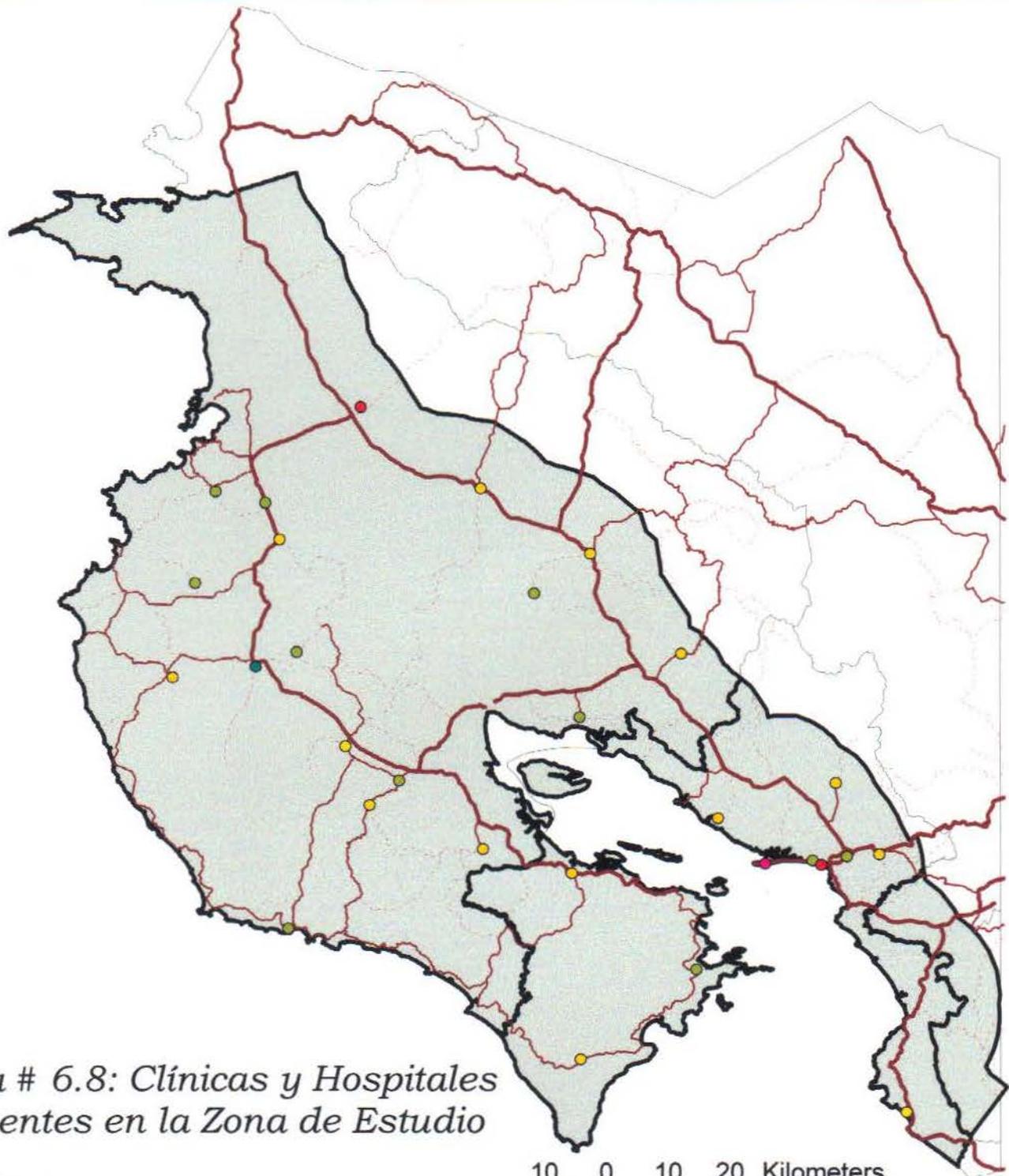
Tipo de Clínicas y Hospitales

- ★ Hospital Regional
- ★ Hospital Periférico (tipo 3)
- Clínica tipo 4
- Clínica tipo 3
- Clínica tipo 2
- Clínica tipo 1

Distancia al centro hospitalario más cercano (km)

- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- Más de 20

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza



Mapa # 6.8: Clínicas y Hospitales presentes en la Zona de Estudio



Tipo de Clínicas y Hospitales

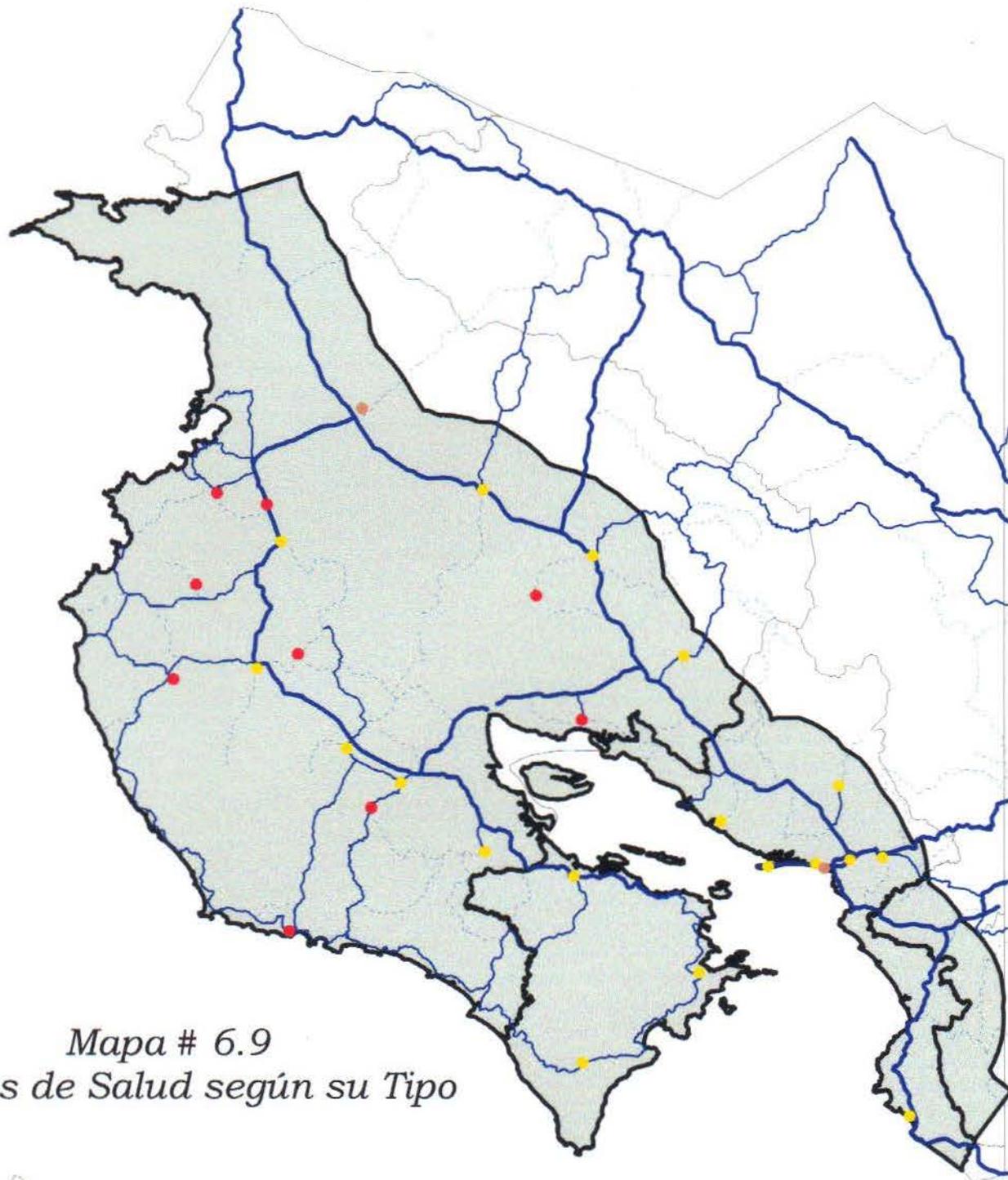
- Hospital Regional
- Hospital Periférico (tipo 3)
- Clínica tipo 4
- Clínica tipo 3
- Clínica tipo 2
- Clínica tipo 1

- Rutas Nacionales
- Primaria
 - Secundaria
 - Terciaria



Diagrama de Ubicación

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza



Mapa # 6.9
Centros de Salud según su Tipo



Diagrama de Ubicación

- Tipo de atención
- Hospitales
 - Sedes de Área
 - Ebais

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza

Capítulo VII

Daños en los Centros Educativos y de Salud

7.1 Aspectos Generales

Para la determinación de daños de las diferentes estructuras se utilizaron las tablas descritas en el Capítulo 4, en las cuales se especifica los rangos entre los cuales se van a presentar cada tipo de daños de acuerdo al criterio de la mediana. Además como se puede apreciar en estas tablas se dividen de acuerdo al criterio del tipo de código que estaba vigente en el país, en el año de construcción de la estructura.

En la Tabla # 7.1 se presentan los criterios de diseño para varias zonas sísmicas. Estas tablas nos ayudan a escoger la tabla que se va a utilizar para predecir los daños en las diversas estructuras.

Tabla # 7.1

Criterios de Demanda Sísmica (adaptado de la Ref. 18)

Nivel de Diseño Sísmico	Zona Sísmica	Area de Mapa
Código Alto	4	7
Código Moderado	2B	5
Código Bajo	1	3
Sin Código	0	1

En el código de la UBC (“Uniform Building Code”) de 1991 podemos encontrar la siguiente tabla, la cual nos ayuda a comprender mejor la zonificación sísmica en la que se refieren en la tabla anterior.

Tabla # 7.2

Aceleración base según la zona sísmica

Zona	1	2A	2B	3	4
Aceleración Base	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40

En la Tabla 7.2 se muestran las diversas zonas sísmicas las cuales se comparan con la aceleración base que utiliza el correspondiente código sísmico. La aceleración base es aquella aceleración, que utiliza un código, para representar la aceleración que sufre una estructura para el periodo de 0 segundos en el diagrama espectral de la aceleración.

Como el Código Sísmico de Costa Rica de 1986, el más reciente de nuestro país, utiliza una aceleración base de 20% de la gravedad, lo que quiere decir que para la predicción de daños de las estructuras este código clasifica para la zona de 2B, lo que corresponde a un código moderado.

Anteriormente a este Código, se tenía el elaborado en 1974, el cual lo clasificamos como código bajo.

De acuerdo a lo explicado anteriormente se tiene que para las edificaciones que fueron construidas a partir del año de 1987, se utilizó la tabla de predicción de daños correspondiente a código moderado. Para las construcciones realizadas entre los años de 1975 a 1986 se utilizó la tabla para código bajo, y para los años de construcción anteriores a 1974 se utilizó la tabla que describe los daños para las estructuras realizadas cuando no hay código sísmico.

Es importante recalcar que tanto para las estructuras construidas en los años de 1974 como en 1986, a pesar de ser construidas en el año en que apareció un código nuevo, lo más probable es que el diseño de estas edificaciones se realizara anteriormente a esta época, por lo que no se considera conveniente la utilización de la clasificación del código elaborado en ese año, para predecir el daño de la estructura.

7.2 Descripción de daños de las estructuras considerando el PGA

En esta sección se procederá a describir los daños obtenidos para las diferentes estructuras considerando solamente la aceleración pico en el terreno.

7.2.1 Daños esperados para los centros educativos

Para este análisis se decidió dividir los centros educativos en escuelas y colegios, ya que esto brinda una mayor facilidad a la hora del manejo de los datos. Cabe recordar que fueron analizados un total de 25 escuelas y 19 colegios. La clasificación de los daños

Tabla # 7.3

Daño en Escuelas debidos a la Aceleración Pico

Centro	Nombre	Tipo	Aulas	Pisos	Año	Area	% de Area	Clasificación	Daño
1260	José Daniel Carmona Briceño	1	9	1	1962	600	89.55%	C3L	Total
		2	1	1	1987	70	10.45%	PC2L	General
4208	Delia Oviedo de Acuña	1	26	1	1887	1470	91.08%	W2L	Leve
		2	1	1	1965	95	5.89%	C3L	Moderado
		kinder	1	1	1965	49	3.04%	URML	Moderado
		gimnasio	1	1	1993	550	100.00%	S1L	Leve
748	Mons. Luis Leopold Herbert	1	15	1	1940	1550	82.67%	W2L	Leve
		2	2	1	1990	110	5.87%	S1L	No hay
		3	4	1	1980	215	11.47%	S3L	Leve
490	Antonio Obando Espinoza	1	5	1	1994	280	39.44%	S1L	No hay
		2	5	1	1965	280	39.44%	URML	No hay
		3	5	1	1990	150	21.13%	PC2L	No hay
352	Gral. Tomás Guardia	1	17	1	1958	930	90.29%	W2L	Leve
		2	2	1	1990	100	9.71%	S1L	No hay
5024	Ascensión Esquivel Ibarra	1	39	2	1904	1023	91.10%	URML	No hay
		biblioteca	1	1	1978	100	8.90%	C3L	Leve
250	Alba Ocampo	1	29	1	1966	1620	94.46%	C3L	Leve
		biblioteca	1	1	1993	95	5.54%	S3L	No hay
4918	Moracia	1	11	1	1966	595	50.04%	C3L	Leve
		2	8	1	1978	432	36.33%	S3L	Leve
		3	1	1	1966	54	4.54%	S1L	Leve
		4	2	1	1966	108	9.08%	S1L	Leve
7120	San Roque	1	2	1	1966	108	12.97%	S1L	Leve
		2	6	1	1970	425	51.02%	S1L	Leve
		3	6	1	1970	300	36.01%	URML	No hay
2441	Corazón de Jesús	1	4	1	1990	216	23.53%	PC2L	No hay
		2	13	1	1995	702	76.47%	PC2L	No hay
1744	Central de Filadelfia	1	12	1	1953	700	59.32%	URML	General
		2	3	1	1980	190	16.10%	C3L	General
		3	2	1	1982	110	9.32%	S1L	General
		4	2	1	1982	180	15.25%	S1L	General
7400	Bernardo Gutiérrez	1	4	1	1953	180	13.85%	C3L	Total
		2	10	1	1953	800	61.54%	W2L	Moderado
		3	5	1	1986	320	24.62%	C3L	General
		gimnasio	1	1	1990	408	100.00%	C1L	Moderado
7592	Josefina López Bonilla	1	6	1	1962	500	20.66%	URML	Total
		2	8	1	1989	750	30.99%	C3L	Total
		3	2	1	1990	670	27.69%	PC2L	General
		4	6	1	1974	500	20.66%	C3L	Total
gimnasio	1	1	1990	972	100.00%	C1L	General		
571	Los Angeles	1	4	1	1994	216	100.00%	S1L	Moderado
6824	San Martín	1	3	1	1974	162	14.36%	S1L	Total
		2	3	1	1966	162	14.36%	S3L	Total
		3	4	1	1962	300	26.60%	C3L	Total
		4	4	1	1966	234	20.74%	C3L	Total
		5	4	1	1970	216	19.15%	C3L	Total
		6	1	1	1994	54	4.79%	C3L	General
4316	Leonidas Briceño	1	33	1	1960	1636	74.87%	W2L	General
		2	1	1	1976	54	2.47%	S3L	Total
		3	1	1	1978	495	22.65%	C3L	General
702	Arturo Torres Martínez	1	34	1	1946	1224	100.00%	C3L	Leve
336	Augusto Colombani Chicoli	1	12	1	1962	460	46.00%	C3L	Moderado
		2	12	1	1966	460	46.00%	URML	Moderado
		3	2	1	1965	80	8.00%	S1L	Moderado
9	Riojalandia	1	32	1	1978	1728	68.25%	C3L	Moderado
		2	1	1	1982	756	29.86%	S1L	Moderado
		3	14	1	1990	48	1.90%	PC2L	No hay
322	El Roble	1	33	1	1974		100.00%	S3L	General
4912	Escuela Mora y Cañas	1	24	1	1949	1700	100.00%	C3L	General
5080	Nuestra Señora de Sión	1		1	1962	450	27.27%	C3L	General
		2	12	2	1962	550	33.33%	C3L	General
		3		1	1962	650	39.39%	C3L	General
3772	José R. Orlich Zamora	1	4	1	1948	300	27.27%	URML	Moderado
		2	8	1	1962	450	40.91%	URML	Moderado
		3	5	1	1991	350	31.82%	URML	Leve
8782	Fray Casiano de Madrid	1	2	1	1990	108	9.52%	PC2L	No hay
		2	8	1	1976	432	38.10%	S3L	Moderado
		3	10	1	1970	540	47.62%	URML	Moderado
		4	2	1	1990	54	4.76%	PC2L	No hay
567	Juanito Mora Porras	1	3	1	1991	162	21.43%	S1L	Leve
		2	7	1	1991	378	50.00%	PC2L	No hay
		3	4	1	1991	216	28.57%	S3L	Leve

Tabla # 7.4

Daño en Colegios debidos a la Aceleración Pico

Centro	Nombre	Tipo	Aulas	Pisos	Año	Area	% Área	Clasific	Daño
270	Miguel Araya Venegas	1	10	1	1966	580	49.79%	C3L	Leve
		2	12	1	1978	345	29.61%	S3L	Leve
		3	5	1	1988	240	20.60%	PC2L	No hay
		taller	1	1	1966	250	100.00%	C3L	Leve
254	Instituto de Guanacaste	1	5	1	1945	265	12.09%	C3L	Leve
		2	15	1	1945	585	26.70%	C3L	Leve
		3	22	1	1970	1188	54.22%	S1L	Leve
		4	2	1	1990	153	6.98%	PC2L	No hay
		gimnasio	1	1	1988	900	100.00%	S2L	No hay
521	C.T.P.A Libera	1	14	1	1974	1150	51.66%	C3L	Leve
		2	4	1	1988	216	9.70%	PC2L	No hay
		3	4	1	1968	200	8.98%	W2L	Leve
		4	10	1	1974	660	29.65%	C3L	Leve
		biblioteca	1	2	1974	166	100.00%	C3L	Leve
		talleres	1	1	1974	300	100.00%	C3L	Leve
10002	Santa Ana	1	26	1	1973	2448	91.89%	C3L	Moderado
		2	4	1	1979	216	8.11%	S1L	Leve
		gimnasio	1	1	1984	1250	100.00%	S2L	Leve
		biblioteca	1	1	1973	150	100.00%	C3L	Moderado
526	C.T.P.A Carrillo	1	22	1	1966	1190	66.67%	S3L	Total
		2	11	1	1966	595	33.33%	C3L	Total
		talleres	2	1	1978	600	100.00%	S3L	General
		gimnasio	1	1	1982	600	100.00%	S2L	General
531	C.T.P.A Sardinal	1	17	1	1982	1280	100.00%	C3L	General
		talleres	2	1	1982	670	100.00%	C3L	General
258	Liceo de Santa Cruz	salón de actos	1	1	1994	400	100.00%	S1L	General
		2	6	1	1962	405	14.13%	C3L	Total
		3	17	1	1955	1010	35.23%	W2L	General
		4	6	1	1994	324	11.30%	S1L	General
		5	4	1	1962	750	26.16%	URML	Total
		6	2	1	1988	108	3.77%	PC2L	General
		7	5	1	1994	270	9.42%	S1L	General
		gimnasio	1	1	1994	750	100.00%	S1L	General
		biblioteca	1	1	1962	165	100.00%	C3L	Total
527	C.T.P.A 27 de abril	1	22	1	1978	2010	100.00%	C3L	Total
		talleres	2	1	1978	420	100.00%	C3L	Total
263	Nicoya	1	5	1	1966	270	11.30%	URML	Total
		2	4	1	1970	216	9.04%	S3L	Total
		3	2	1	1970	108	4.52%	S1L	Total
		4	1	1	1970	54	2.26%	C3L	Total
		5	4	1	1970	376	15.74%	C3L	Total
		6	30	1	1958	1155	48.35%	W2L	General
		7	3	1	1978	210	8.79%	C3L	General
		taller	1	1	1970	288	100.00%	C3L	Total
		gimnasio	1	1	1970	450	100.00%	S1L	Total
538	C.T.P.A Nicoya	1	23	1	1974	1242	92.00%	S1L	Total
		2	2	1	1988	108	8.00%	PC2L	Moderado
		biblioteca	1	1	1978	400	100.00%	C3L	General
		talleres	1	1	1978	300	100.00%	C3L	General
		bodega	1	1	1978	300	100.00%	C3L	General
539	C.T.P.I La Mansión	1	16	1	1989	864	80.00%	S1L	Moderado
		2	2	1	1988	108	10.00%	PC2L	Moderado
		3	2	1	1968	108	10.00%	W1L	Moderado
		talleres	2	1	1989	546	100.00%	S1L	Moderado
		taller	1	1	1976	297	100.00%	S3L	General
233	Liceo Diurno de Esparza	1	24	1	1965	1152	85.71%	C3L	Leve
		2	2	1	1988	96	7.14%	PC2L	No hay
		3	2	1	1978	96	7.14%	S1L	Leve
		gimnasio	1	1	1978		100.00%	S2L	No hay
240	Antonio Obando Chan	1	10	1	1993	540	26.65%	S1L	Leve
234	Colegio de Miramar	1	14	1	1974	1000	49.36%	URML	No hay
		2	5	1	1978	270	13.33%	S1L	Leve
		3	4	1	1978	216	10.66%	S1L	Leve
		Gimnasio	1	1	1978	750	100.00%	S2L	No hay
		Talleres	4	1	1978	250	100.00%	S1L	Leve
503	C.T.P de Puntarenas	1	13	1	1978	702	59.09%	C3L	Moderado
		2	4	1	1978	216	18.18%	S1L	Moderado
		3	5	1	1988	270	22.73%	PC2L	No hay
		talleres	4	1	1978	980	100.00%	C3L	Moderado
235	Liceo de Chacarita	1	14	1	1978	756	70.00%	S1L	Moderado
		2	6	1	1975	324	30.00%	C3L	Moderado
		3	7	1	1988	336	100.00%	PC2L	No hay
231	Liceo José Martí	1	27	2	1966	3500	100.00%	C3L	General
505	C.T.P.A Paquera	1	5	1	1974	270	33.33%	S3L	Total
		2	4	1	1978	216	26.67%	S1L	General
		3	2	1	1975	108	13.33%	W1L	Moderado
		4	4	1	1988	216	26.67%	PC2L	Moderado
502	C.T.P.A Jicaral	1	6	1	1971	450	32.05%	URML	Total
		2	12	1	1982	900	64.10%	C3L	Total
		3	1	1	1990	54	3.85%	PC2L	General
		salón de actos	1	1	1982	250	100.00%	C3L	Total
		biblioteca	1	1	1982		100.00%	C3L	Total

que se obtuvo se encuentra resumida en la tabla 7.3 para escuelas y en la tabla 7.4 para colegios.

Como se puede observar en las tablas de daños para los centros educativos, se pueden encontrar varios aspectos importantes de analizar, como por ejemplo:

Se puede apreciar el efecto directo que tiene el año de construcción en la determinación de daños para una misma clasificación. Este caso se puede encontrar en la escuela Bernardo Gutiérrez, la cual tiene edificaciones del tipo C3L para los años 1953 y 1986. La primera cae en el rango correspondiente a la etapa de que no hay código, mientras que para la segunda se va a utilizar el de código bajo. Se puede ver que a pesar de que ambas tienen la misma aceleración del terreno producida por el sismo estudiado, los daños pasan de general para el caso de la construcción más nueva a total para la construcción realizada en 1953. Esto demuestra el castigo que le da el método a la estructura según el código utilizado, ya que no es lo mismo elaborar un diseño con base en un código que sea riguroso, a uno que no lo sea, por lo que las construcciones van a sufrir diferentes daños. Esto mismo sucede en la escuela de San Martín. Otro de los ejemplos interesantes en este sentido es en la escuela José R. Orlich Zamora, donde hay diversas edificaciones, todas de distintos años, las cuales son del tipo URML, y se puede observar que el daño disminuye conforme aumenta la rigurosidad del código.

Otro de los aspectos importantes de analizar es el adecuado comportamiento de las estructuras de madera con respecto a los otros tipos de edificaciones que clasifican en el mismo rango, de nivel del código utilizado, de acuerdo a la fecha de construcción. Sin embargo estas estructuras tienen varias desventajas ya que son edificaciones más calientes, requieren un alto mantenimiento y se deterioran rápidamente. Estos defectos hacen que se haya dejado de utilizar la madera en la construcción de aulas, por lo que se buscaron nuevas alternativas como los marcos de acero.

Otro aspecto importante de señalar es el mejor comportamiento de las estructuras tipo PC2L (de concreto prefabricado) sobre otras clasificaciones como la S1L, S2L, C3L, etc. Este mejor comportamiento se da para los rangos de daños leves y medios, ya que es más difícil que una estructura tipo PC2L presente esta clase de daños que las demás estructuras, esto se puede observar claramente en la escuela Juanito Mora Porras donde tipos de estructuras S1L y PC2L, realizadas el mismo año, las de tipo PC2L no presentan

daño, mientras que las otras tienen daño leve. Sin embargo este comportamiento varía para clasificaciones de daños mayores (general y completo), ya que las estructuras que presentan marcos de acero (las tipo S, excepto la tipo S3), se comportan mejor que las prefabricadas. Las aceleraciones que tienen que ocurrir para que se de este fenómeno, son aceleraciones superiores a 40% de g. Esto mismo ocurre en los centros, de Riojalandia, de Fray Casiano de Madrid entre otros. El mejoramiento del comportamiento de parte de las estructuras de marcos de acero sobre las prefabricadas se puede observar en el resumen de daños para el Liceo de Santa Cruz, ya que para la zona de Santa Cruz se pronostican aceleraciones bastante altas (entre 50 – 55% de la gravedad). Esto hace que ambas estructuras presenten daños generales, sin embargo la estructura prefabricada tiene más probabilidad de presentar este daño, porque entró en este rango con una aceleración de 0,40g mientras que la de marcos de acero entró con una aceleración de 0,42g. Para que la estructura prefabricada presente daño total, tiene que ocurrir una aceleración de 0,74g, mientras que para que ocurra lo mismo con la estructura de marcos de acero, la aceleración debe ser de 0,80g. Esto mismo ocurre en el Liceo de Santa Cruz.

En las tablas de daños, se puede observar como en el caso del C.T.P.A Liberia, Instituto de Guanacaste, C.T.P.A Nicoya, entre otros, todas las estructuras presentes en el centro educativo presentan daños excepto las de tipo PC2L (prefabricadas), esto puede llevar a una conclusión que no es del todo falsa, pero que puede confundir, ya que hay que tomar en cuenta la fecha de construcción de las estructuras ya que este dato castiga a la edificación, y en estos casos se está comparando estructuras realizadas con diferentes códigos, por lo que las estructuras más viejas, son más castigadas que las más nuevas que en este caso son las prefabricadas.

Las estructuras tipo S3L son las estructuras más vulnerables (manteniendo que esta comparación se realiza para una misma tabla, o sea para una misma clasificación del código), ya que son las estructuras que más fácil presentan daños. Esto se puede observar en las escuelas Leonidas Briceño y en el C.T.P.A Paquera, donde los tipos S3L tienen grados mayores de daños que las demás estructuras.

Otro de los aspectos importantes de observar es que para el caso de las edificaciones tipo URML y las de tipo S en general, para una misma clasificación del código, se comportan bastante parecidas, teniendo una ligera ventaja las de tipo URML.

para los daños clasificados como leves, moderados y generales. Esto se puede observar en el Colegio de Miramar. Para el rango de daño completo, es más probable que una estructura tipo URML lo presente que una del tipo S, ya que las aceleraciones para este daño, para el tipo URML son menores que para los del tipo S.

Sin embargo las edificaciones del tipo URML tienen la desventaja de que solo se aplican a las clasificaciones del código correspondientes a leve o a que no hay, por lo que aunque una edificación clasificada con este tipo se realice en un año correspondiente a un código moderado, se tiene que analizar con la tabla correspondiente a código leve. Esto mismo sucede con las estructuras tipo S5L y C3L. Estas consideraciones se deben a que el método así lo especifica.

7.2.2 Descripción de daños en centros de salud

Los daños en hospitales y clínicas se deben analizar de forma separada a los centros educativos, ya que en los centros de salud se deberían permitir daños de menor grado que en los centros educativos, ya que estas estructuras son más importantes debido al equipo que estas contienen y a la importancia que desempeñan luego de un sismo. Estos daños se resumen en la Tabla 7.5.

Es de gran importancia recalcar que los dos hospitales principales de la zona de estudio, el Enrique Baltodano y el Monseñor Sanabria van a presentar daños leves, los cuales son bastantes aceptables, aunque lo mejor es que no presenten daño, debido a la importancia que estos dos hospitales tienen en la zona.

El mayor problema que se presenta en la zona es en el Hospital La Anexión, ubicado en Nicoya, el cual según el pronóstico de daños realizado, este va a presentar daño total. Con base en el mapa de aceleraciones, obtenemos que la aceleración pronosticada para el sitio donde se encuentra este hospital es de 0,38g. Por lo tanto se recomendaría hacer un análisis más profundo para este hospital ya que es el tercer hospital de importancia en la zona. Preliminarmente, se observa que la clasificación de HAZUS para estructuras con muros de cortante presenta daños considerablemente menores. Por lo tanto se podría analizar más en detalle una reestructuración de el edificio construyendo algunos muros de corte que aporten rigidez al sistema estructural.

Tabla 7.5

Daño en Clínicas debido a la Aceleración Pico

Centro	Nombre	Año	Pisos	Area	Clasific	Daño
60201	Clínica de Esparza	1953	1	120	C3L	Leve
60108	Clínica de Riojalandia	1990	1	500	C1L	Leve
60401	Clínica de Miramar	1987	1	300	PC2L	No hay
		1968	1	150	C3L	Moderado
60101	Hospital de San Rafael	1946	1		C3L	General
		1946	2		C3L	General
		1946	1		C1L	General
60112	Clínica de Chacarita	1994	1	800	C1L	Leve
		1994	1		C3L	Moderado
60001	Hospital Monseñor Sanabria	1990	10		C2H	Leve
60105	Clínica de Paquera	1943	1	150	C3L	Total
60111	Clínica de Cóbano	1970	1	900	C3L	Total
60104	Clínica de Jicaral	1986	1	1000	C3L	Total
61101	Clínica de Jacó	1990	1		C3L	Moderado
50901	Clínica de Nandayure	1979	1	1000	C3L	Total
50701	Clínica de Abangares	1978	1	1200	C3L	Moderado
50704	Clínica de Colorado	1986	1	300	C3L	General
50601	Clínica de Cañas	1986	1	750	C3L	Leve
50604	Clínica de Bebedero	1978	1	209	C3L	Moderado
50401	Clínica de Bagaces	1987	1	415	PC2L	No hay
50001	Hospital Enrique Baltodano	1986	1		C3L	Leve
50502	Clínica de Paso Tempisque	1994	1	565	S1L	Moderado
50501	Clínica de Filadelfia	1978	1	510	URML	General
50503	Clínica de Sardinal	1994	1	545	S1L	Moderado
50301	Clínica de Santa Cruz	1994	1	988	C3L	Total
		1979	1	510	C3L	Total
		1966	1	144	C3L	Total
50303	Clínica 27 de abril	1978	1	1000	C3L	Total
50305	Clínica Cartagena	1991	1	1620	C3L	Total
50307	Clínica de Santa Bárbara	1990	1	570	S1L	General
50205	Clínica de Sámará	1978	1	275	C3L	Total
50201	Hospital la Anexión	1973	1	9500	C3L	Total
50202	Clínica La Mansión	1998	1	100	S3L	General
51101	Clínica de Hojanca	1979	1	585	C3L	General

Otro de los aspectos importantes de analizar es lo que ocurre en el Hospital de San Rafael, el cual va a presentar un daño general. Además como se pueden observar en algunas fotografías la mayoría de las columnas que sostienen el segundo piso se encuentran agrietadas, lo cual puede alterar el comportamiento de la estructura. Por esta razón es conveniente hacerle un análisis más detallado a este hospital conocer con más detalle la respuesta que tendría esta estructura ante un eventual sismo en Nicoya. En este hospital, si bien es cierto, no se presenta una aceleración demasiado alta como en la Ciudad de Nicoya, (la aceleración es 0,25g) la edad del edificio es el principal factor al que se le puede atribuir el daño. Por estas razones un reforzamiento adecuado va a disminuir notablemente el daño esperado.

Una de las clínicas importantes de analizar es la clínica de Sámara. Esta es la edificación en estudio que se encuentra más cercana a la zona de ruptura esperada. Es decir que de ocurrir el terremoto, se encontraría muy cerca de la ubicación que se ha pronosticado para el epicentro. En la visita realizada a la Clínica de Sámara, se observaron deficiencias constructivas en las fundaciones y en su estructura en general, las cuales no son castigadas en la metodología de análisis utilizada. Sin embargo, los resultados que se obtuvieron tomando en cuenta el año de construcción, la aceleración del terreno y el sistema estructural de la clínica, pronosticaron un daño total para esta clínica.

Otra de las clínicas importantes de analizar es la de Santa Cruz. Esta es una clínica bastante importante por su tamaño y por la gran región a la que brinda cobertura. Como se puede ver en el mapa de aceleraciones la zona de Santa Cruz sufre una amplificación de las ondas sísmicas debido al tipo de suelo que se presenta en la región. Esta amplificación hace que se vayan a presentar aceleraciones de hasta 0,54g, por lo que la clínica según la clasificación va a sufrir daño total a pesar de que su estructura principal es bastante nueva. Es necesario realizar un análisis más detallado a esta clínica en particular debido a la aceleración particularmente alta que presenta la zona de Santa Cruz.

Otras de las clínicas que van a presentar daño total son: Paquera, Cóbano, Jicaral, Nandayure, 27 de abril, y Cartagena, todas estas del tipo C3L, en las que el valor de la aceleración para la zona en que se ubica es bastante alto, como se puede apreciar en el mapa de aceleración.

Las clínicas de Colorado, Filadelfia, Santa Bárbara, La Mansión y Hojanca van a presentar daño general. Por su ubicación puede ser de importancia realizarle un análisis a la clínica de Hojanca, además de que es una clínica relativamente grande.

7.3 Daños por deslizamiento del terreno.

Como se puede observar en la Tabla 7.6, no existe ningún problema para ninguna estructura, tanto de centros educativos como de salud, por fallas de deslizamiento ya que el mayor deslizamiento que sufre una estructura es de 14,3 cm, lo cual es mucho menor a el valor presentado en la Tabla 4.2 de 152 cm el cual es el deslizamiento que se debe dar para que se presenten daños. Las estructuras que no aparecen en la tabla es porque su deslizamiento es cero. En el Mapa 7.1 se presentan las deformaciones que presenta la estructura por causas de deformaciones del terreno por PGD. Como se puede observar en el Mapa 7.2, no existen daños en las estructuras por deformación.

7.4 Daños por licuación en las estructuras

Para la predicción de estos daños hay que tomar en cuenta tanto el desplazamiento lateral como el asentamiento del terreno. El desplazamiento lateral de las diversas estructuras, se ubican en las zonas que tienen probabilidades de sufrir licuación, se resume en la Tabla 7.7. Los centros educativos o de salud que no aparezcan en estas tablas es porque no se encuentran en zonas que puedan presentar licuación.

Como se puede observar en esta tabla las únicas dos estructuras que van a presentar daños por licuación del terreno, tomando en cuenta el desplazamiento lateral del terreno son la escuela José Daniel Carmona Briceño y la Clínica de Nandayure. El desplazamiento lateral del terreno para ambas estructuras es de 196 cm que es mayor al límite de 152 cm, explicado anteriormente.

Para analizar si el asentamiento que van a sufrir las estructuras iba a causar algún daño, se realizó lo siguiente: se escogió el área de mayor tamaño, presente en la zona de

estudio, que va a sufrir licuación, esta área es de 384,28 km², como ya se ha mencionado anteriormente el área total de la zona de estudio es de 10300 km². Esto indica que el área que se está analizando es un 3,73% de la zona de estudio, por lo que al utilizar la Tabla 4.3 se obtiene que se está entre los rangos de susceptibilidad correspondientes a bajo y muy bajo. Si escogemos el rango más bajo, para así obtener el asentamiento más crítico que se pueda presentar, tenemos de la Tabla 4.4 que este valor es de 2,54 cm. Al comparar este valor con el valor de la Tabla 4.2, podemos concluir que no van a haber problemas por asentamiento ya que 2,54 cm es mucho menor a 25,4 cm, que es el valor correspondiente al criterio de la mediana, el cual es el utilizado. Por ende se puede concluir que en la zona no va a haber problemas de asentamiento porque las otras áreas de licuación al ser menores, que la que acabamos de analizar, vamos a obtener asentamientos menores que a su vez no van a presentar daños.

En el Mapa 7.3 se presentan las estructuras que sufren licuación, y el valor del desplazamiento lateral de estas, por causa de la licuación. Como se puede observar en el Mapa 7.4 los daños en las estructuras debidos a la licuación, son pocos, solamente los dos centros mencionados anteriormente presentan daños, a pesar de que varias estructuras sufren deformaciones por licuación.

7.5 Daños esperados en las estructuras de los centros educativos y de salud

Según la metodología para la obtención de estos daños, se busca la clasificación de daño que rige en la estructura, y ese es el daño que va a presentar.

En este caso específico los daños que se obtuvieron por licuación, no rigen sobre los de aceleración ya que, o son de menor o igual rango, por lo que los daños que van a presentar las estructuras son los mismos que los que se presentan en las tablas de daños por el PGA (aceleración pico del terreno). Del Mapa 7.5 al 7.23, se resumen los daños sufridos por las diversas estructuras. Estos mapas se dividieron respecto a la clasificación de la estructura y al tipo de centro.

Tabla # 7.6**Daños por Deslizamientos*****Clinicas***

CENTRO	NOMBRE	PGD desliz. (in)	PGD desliz. (cm)	Daño
50201	La Anexion	5.6	14.3	No hay daño
50202	La Mansión	1.1	2.7	No hay daño
51101	Hojancha	5.6	14.3	No hay daño
50205	Sámara	5.6	14.3	No hay daño
60111	Cóbano	1.1	2.7	No hay daño

Escuelas

Centro	NOMBRE	PGD desliz. (in)	PGD desliz. (cm)	Daño
6824	San Martín	5.6	14.3	No hay daño
571	Los Angeles	1.1	2.7	No hay daño
4316	Leonidas Briceño	5.6	14.3	No hay daño

Colegios

CENTRO	NOMBRE	PGD desliz. (in)	PGD desliz. (cm)	Daño
263	Nicoya	5.6	14.3	No hay daño
538	C.T.P.A Nicoya	5.6	14.3	No hay daño
539	C.T.P.A La Mansión	1.1	2.7	No hay daño

Tabla # 7.7
Daños por Licuación

Clinicas

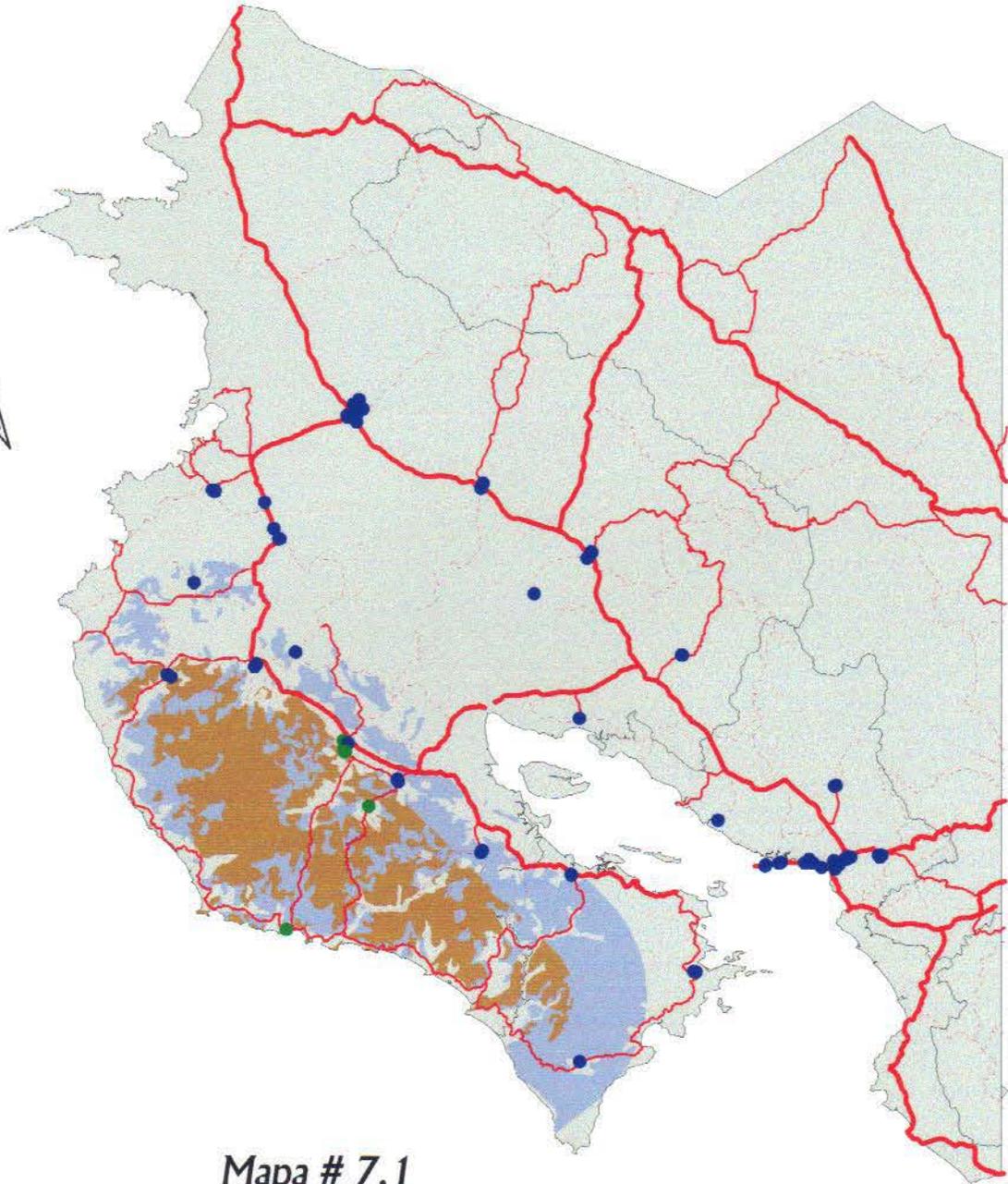
CENTRO	NOMBRE	LICUACIÓN	PROBABILIDAD	PGD de Lic. (in)	PGD de Lic. (cm)	Daño
50503	Sardinal	Licuación	67	18	46	No hay daño
50502	Paso Tempisque	Licuación	67	18	46	No hay daño
50501	Filadelfia	Licuación	67	18	46	No hay daño
50604	Bebedero	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
50704	Colorado	Licuación	67	18	46	No hay daño
60103	Chomes	Licuación	67	18	46	No hay daño
50901	Nandayure	Licuación	100	77	196	Extensivo
60108	Barranca	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
60112	Chacarita	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
60101	San Rafael	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
60001	Monseñor Sanabria	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
60104	Jicaral	Licuación	100	30	76	No hay daño

Escuelas

CENTRO	NOMBRE	LICUACIÓN	PROBABILIDAD	PGD de Lic. (in)	PGD de Lic. (cm)	Daño
7400	Bernardo Gutierrez	Licuación	67	18	46	No hay daño
1744	Central de Filadelfia	Licuación	67	18	46	No hay daño
1260	Jose Daniel Carmona Briceño	Licuación	100	77	196	Extensivo
336	Augusto Colombari Chicoli	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
567	Mora y Canas	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
9	Riojalandia	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
8782	Fray Casiano de Madrid	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
322	El Roble	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
5080	Nuestra Señora del Sion	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
3272	Jose R. Orlich	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
4912	Mora y Canas	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
567	Juanito Mora Porras	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño

Colegios

CENTRO	NOMBRE	LICUACIÓN	PROBABILIDAD	PGD de Lic. (in)	PGD de Lic. (cm)	Daño
531	C.T.P.A Sardinal	Licuación	67	18	46	No hay daño
526	C.T.P.A Carrillo	Licuación	67	18	46	No hay daño
240	Antonio Obando Chan	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
235	Liceo de Chacarita	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
503	C.T.P.A de Puntarenas	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
231	Liceo José Martí	Licuación parcial	0	8	20	No hay daño
502	C.T.P.A Jicaral	Licuación	100	30	76	No hay daño



Mapa # 7.1

Deformaciones presentes en las estructuras por el PGD

0 40 Kilometers

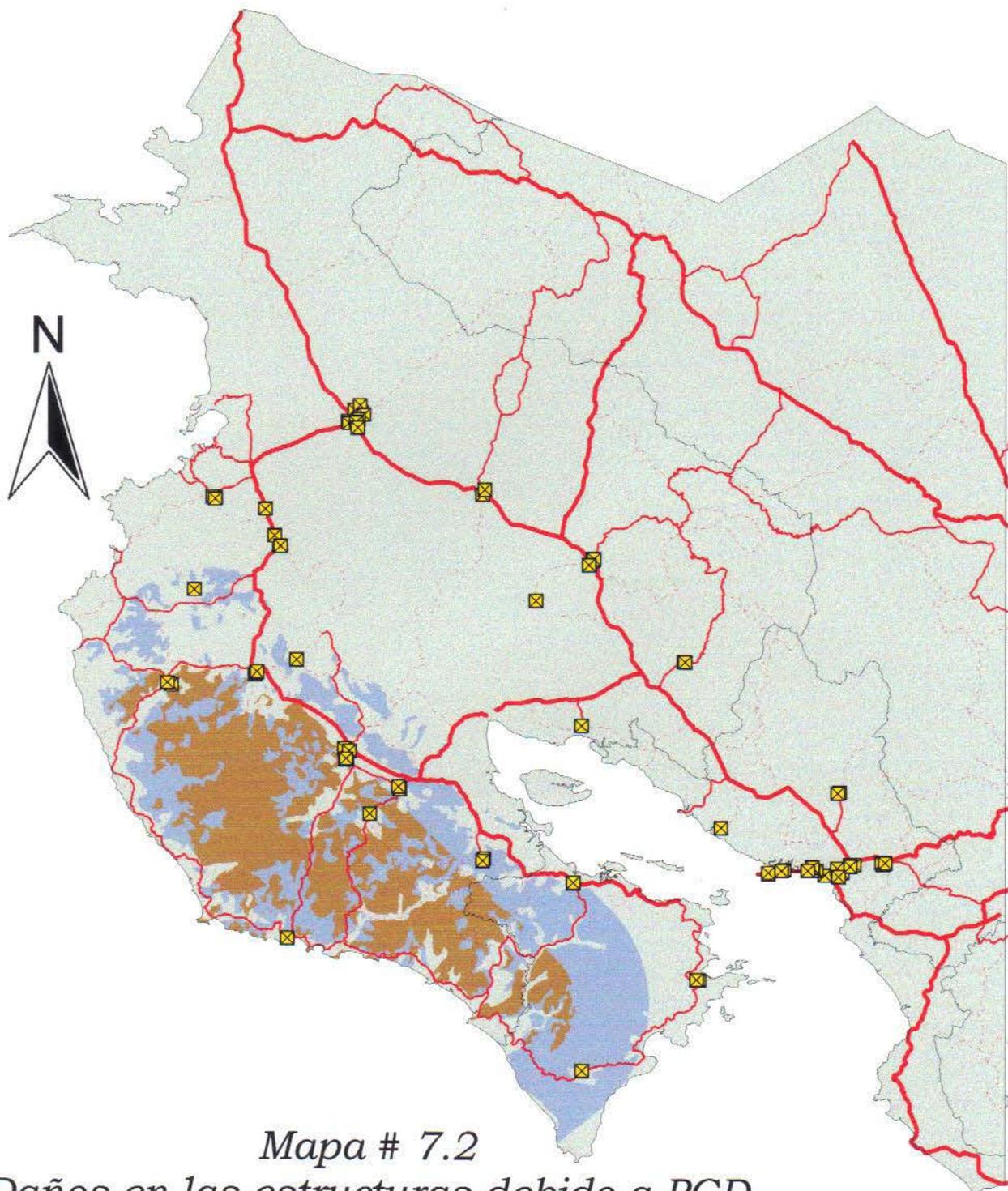
Deformaciones del terreno(cm)

- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 30
- 30 - 80
- 80 - 120
- 120 - 150
- Más de 150



Ubicación

Realizado por:
J.P Montealegre
A. Trezza 7-14



Mapa # 7.2
Daños en las estructuras debido a PGD

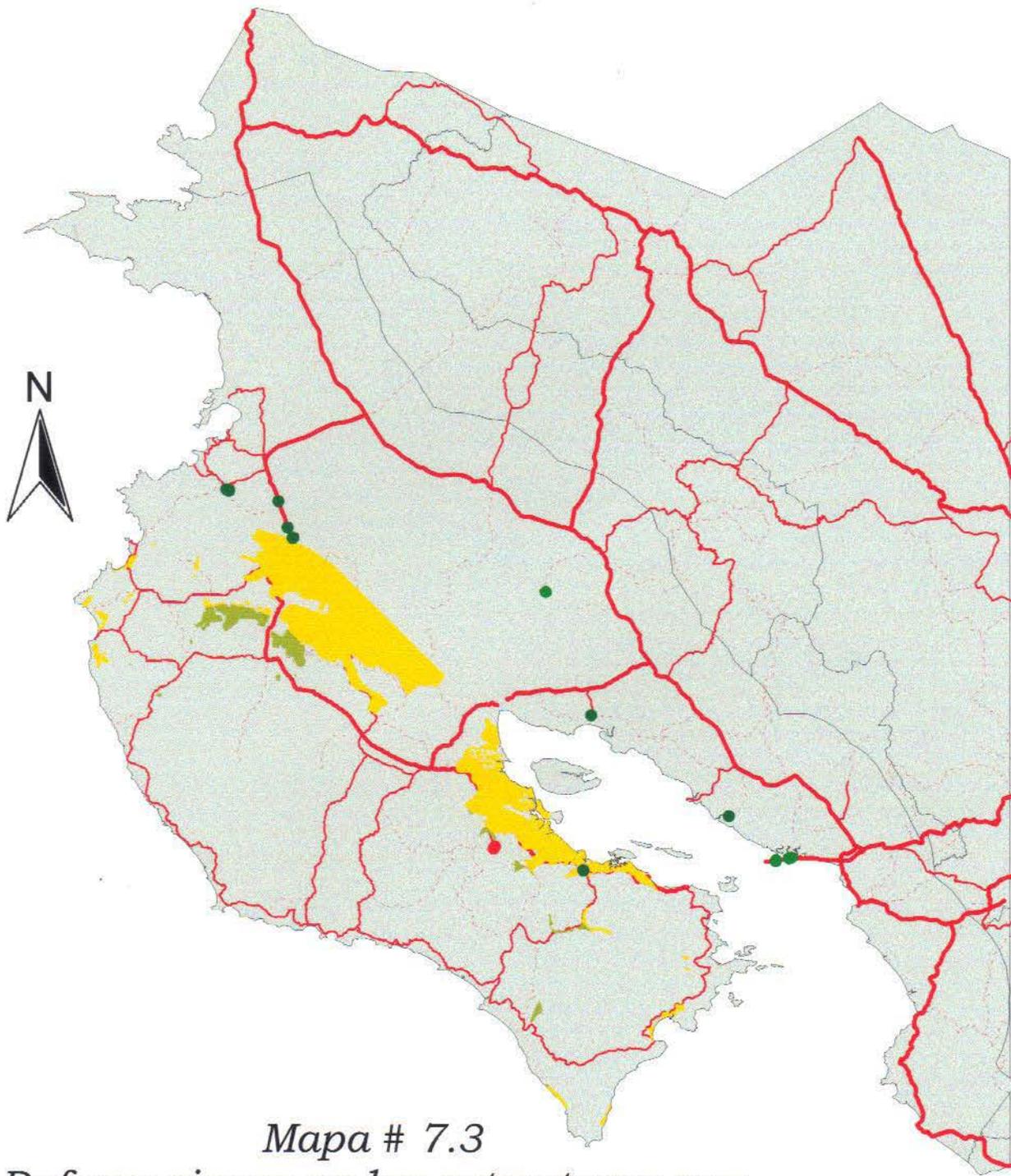
0 40 Kilometers



Daños de las Estructuras por PGD

- ☒ Sin daño
- Daño leve
- ▲ Daño moderado
- Daño general
- ★ Daño total

Realizado por:
J.P Montealegre
A. Trezza 7-15



Mapa # 7.3
Deformaciones en las estructuras que
presentan licuación

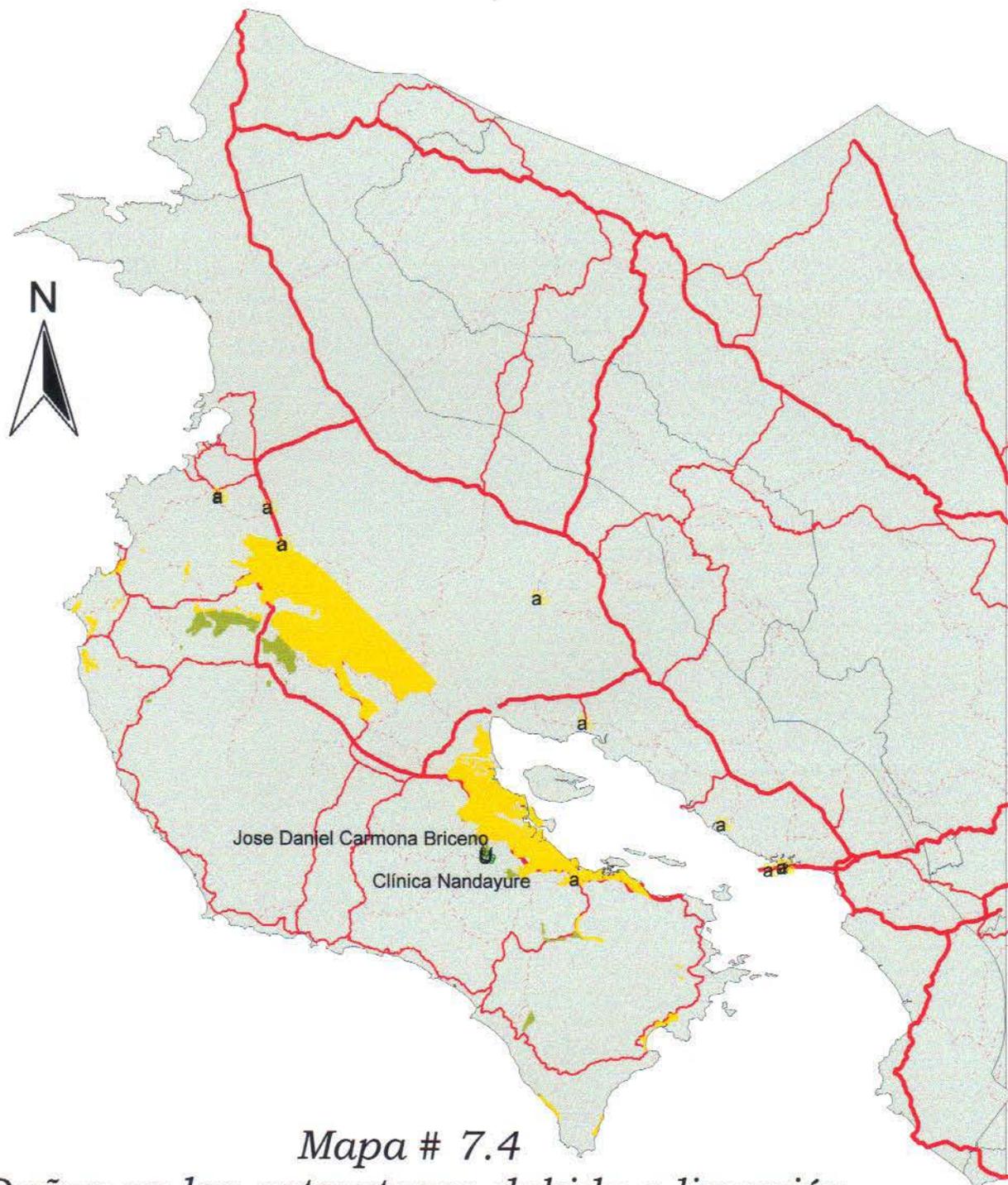
0 40 Kilometers



Deformaciones del terreno(cm)

- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 30
- 30 - 80
- 80 - 120
- 120 - 150
- Más de 150

Realizado por:
J.P Montealegre
A. Trezza



Mapa # 7.4
Daños en las estructuras debido a licuación

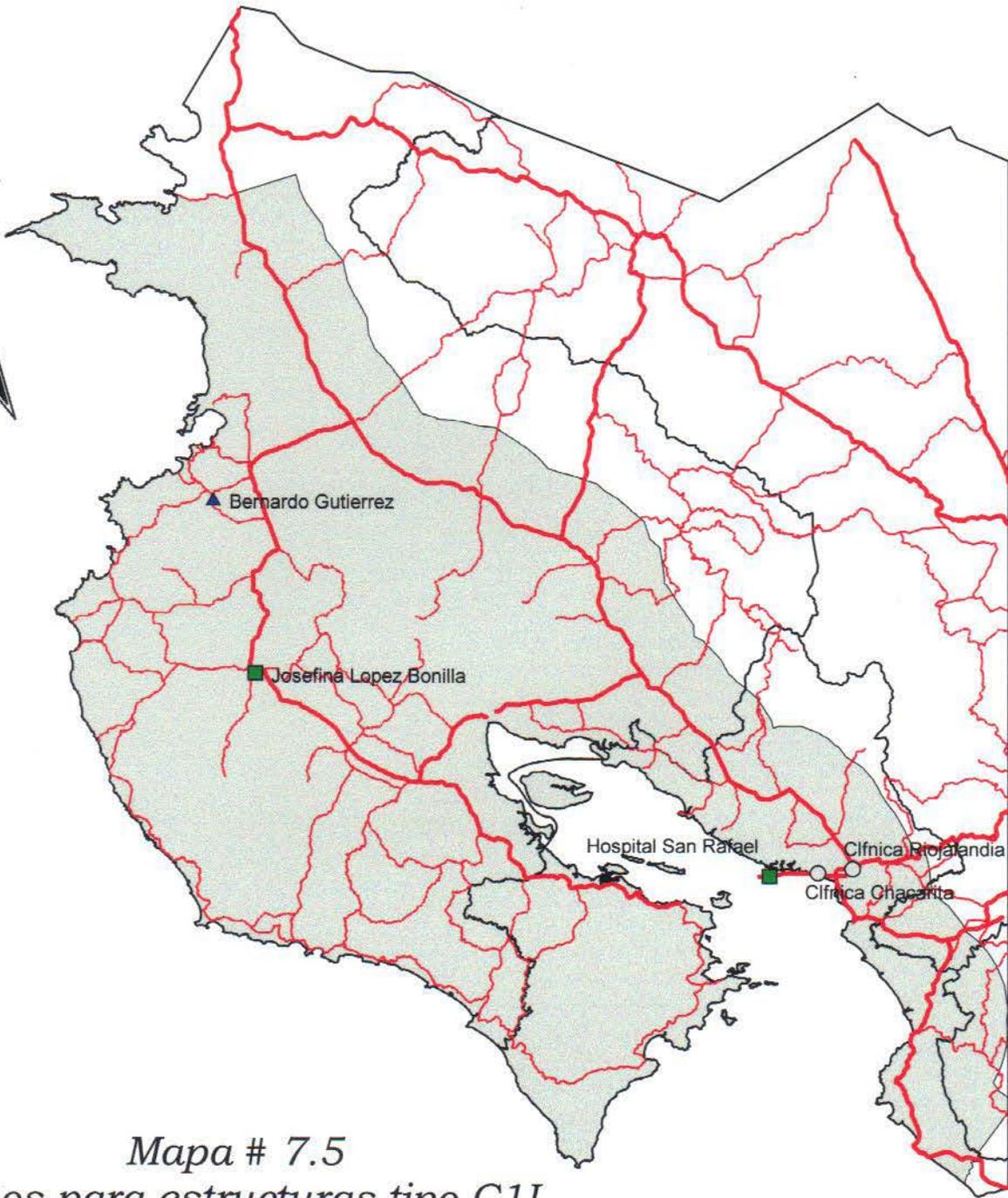
0 40 Kilometers



Daños de las Estructuras por PGD

- a Sin daño
- S Daño leve
- § Daño moderado
- U Daño general
- ★ Daño total

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza 7-17



Mapa # 7.5
Daños para estructuras tipo C1L

0 30 Kilometers



Simbología de Daños

- ☒ Sin daño
- Daño leve
- ▲ Daño moderado
- Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- ▬ Primaria
- ▬ Secundaria
- ▬ Terciaria

■ Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza 7-18



Mapa # 7.6 Daños en Centros de Salud.
Estructuras tipo C3L

0 20 Kilometers



Simbología de Daños

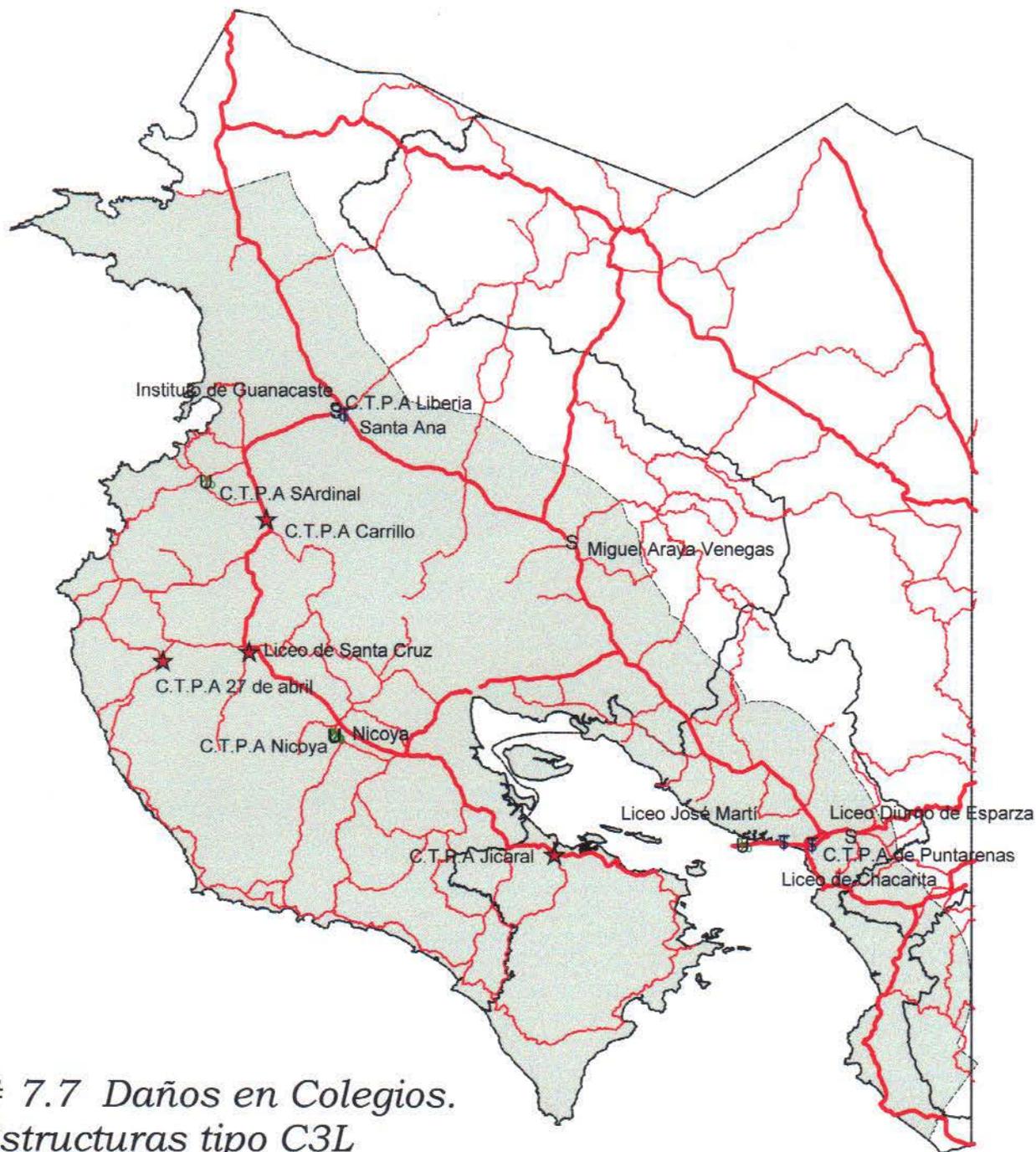
- a Sin daño
- s Daño leve
- § Daño moderado
- u Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
JP Montealegre
A. Trezza 7-19



Mapa # 7.7 Daños en Colegios.
Estructuras tipo C3L

0 30 Kilometers



Simbología de Daños

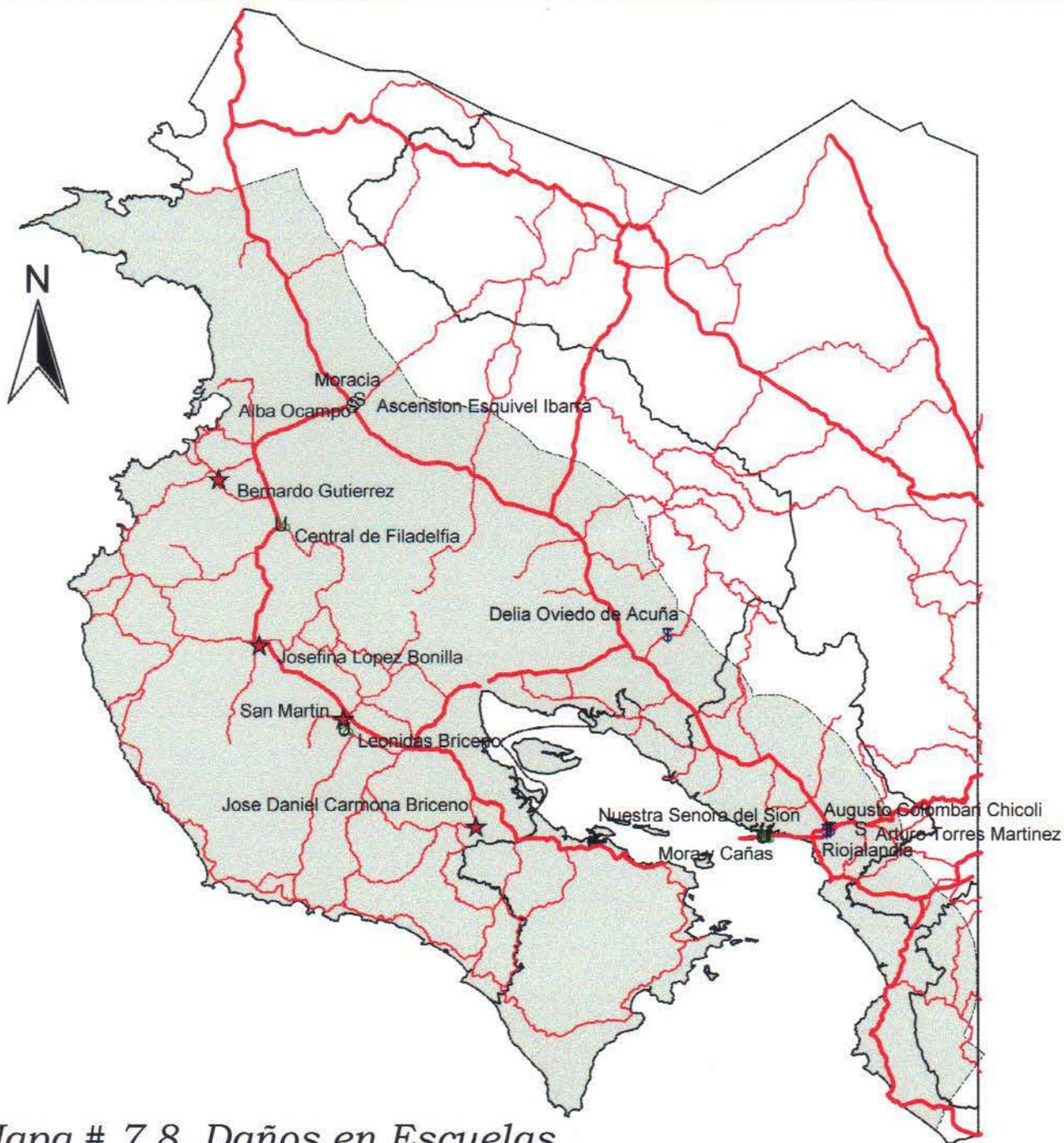
- a Sin daño
- s Daño leve
- § Daño moderado
- u Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
JP Montealegre
A. Treza 7-20



Mapa # 7.8 Daños en Escuelas.
Estructuras tipo C3L

0 30 Kilometers



Simbología de Daños

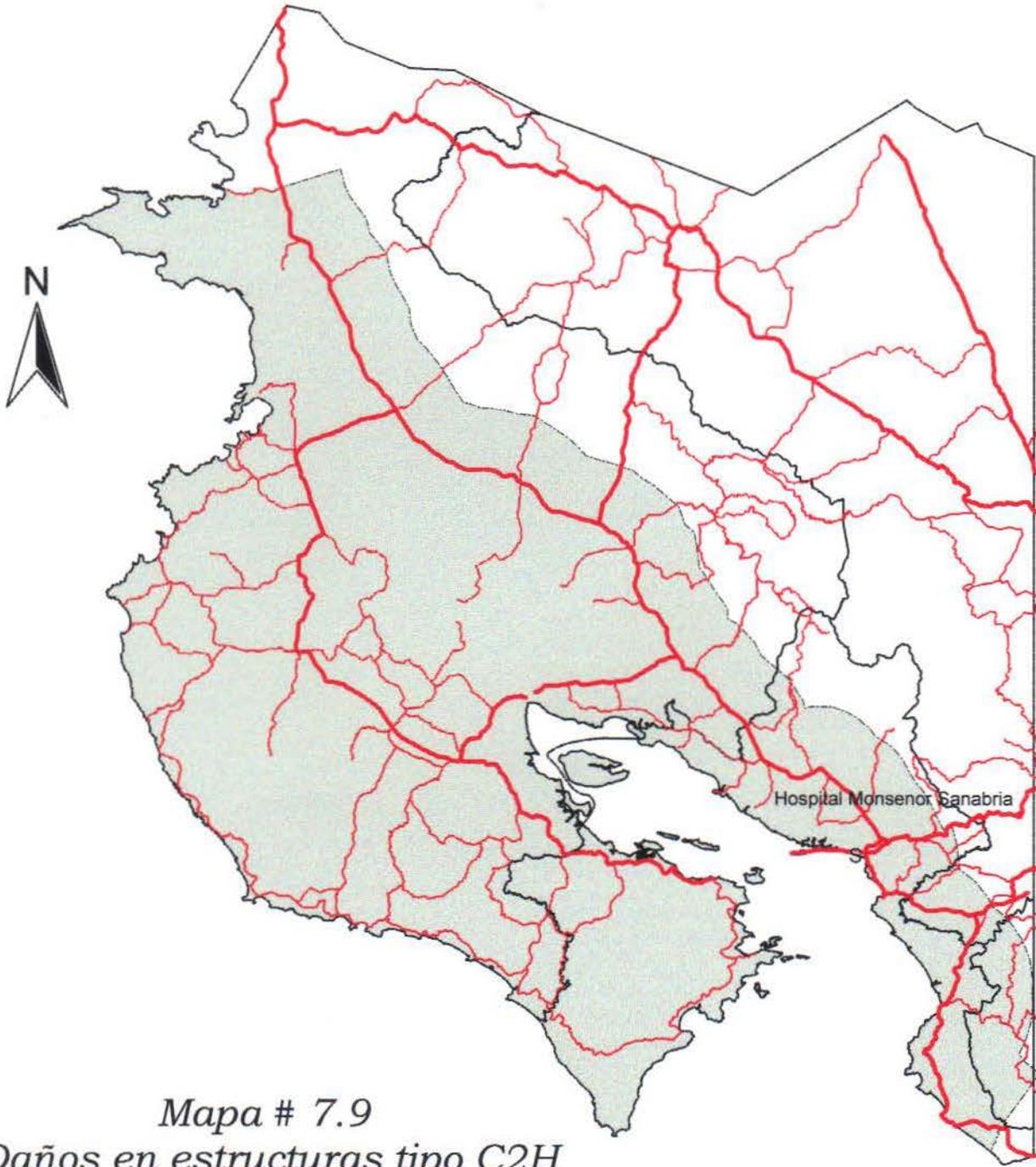
- a Sin daño
- s Daño leve
- § Daño moderado
- u Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza 7-21



Mapa # 7.9
Daños en estructuras tipo C2H



0 20 Kilometers

Simbología de Daños

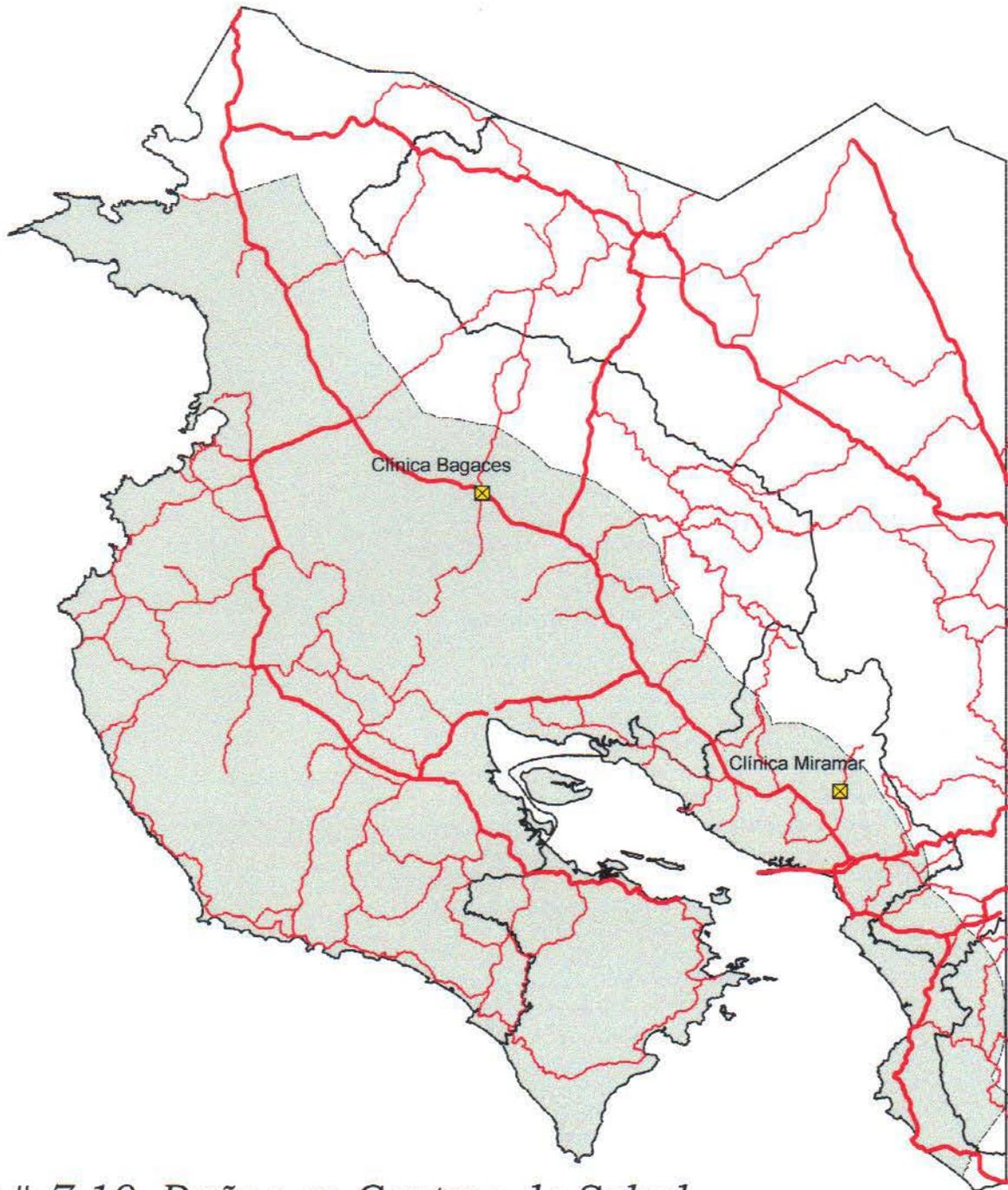
- a Sin daño
- s Daño leve
- § Daño moderado
- u Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
 J.P. Montealegre
 A. Trezza 7-22



Mapa # 7.10 Daños en Centros de Salud.
Estructuras tipo PC2L

0 20 Kilometers



Simbología de Daños

- ☒ Sin daño
- Daño leve
- ▲ Daño moderado
- Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- ▬ Primaria
- ▬ Secundaria
- ▬ Terciaria

■ Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza



Mapa # 7.11 Daños en Colegios.
Estructuras tipo PC2L

0 30 Kilometers



Ubicación

Simbología de Daños

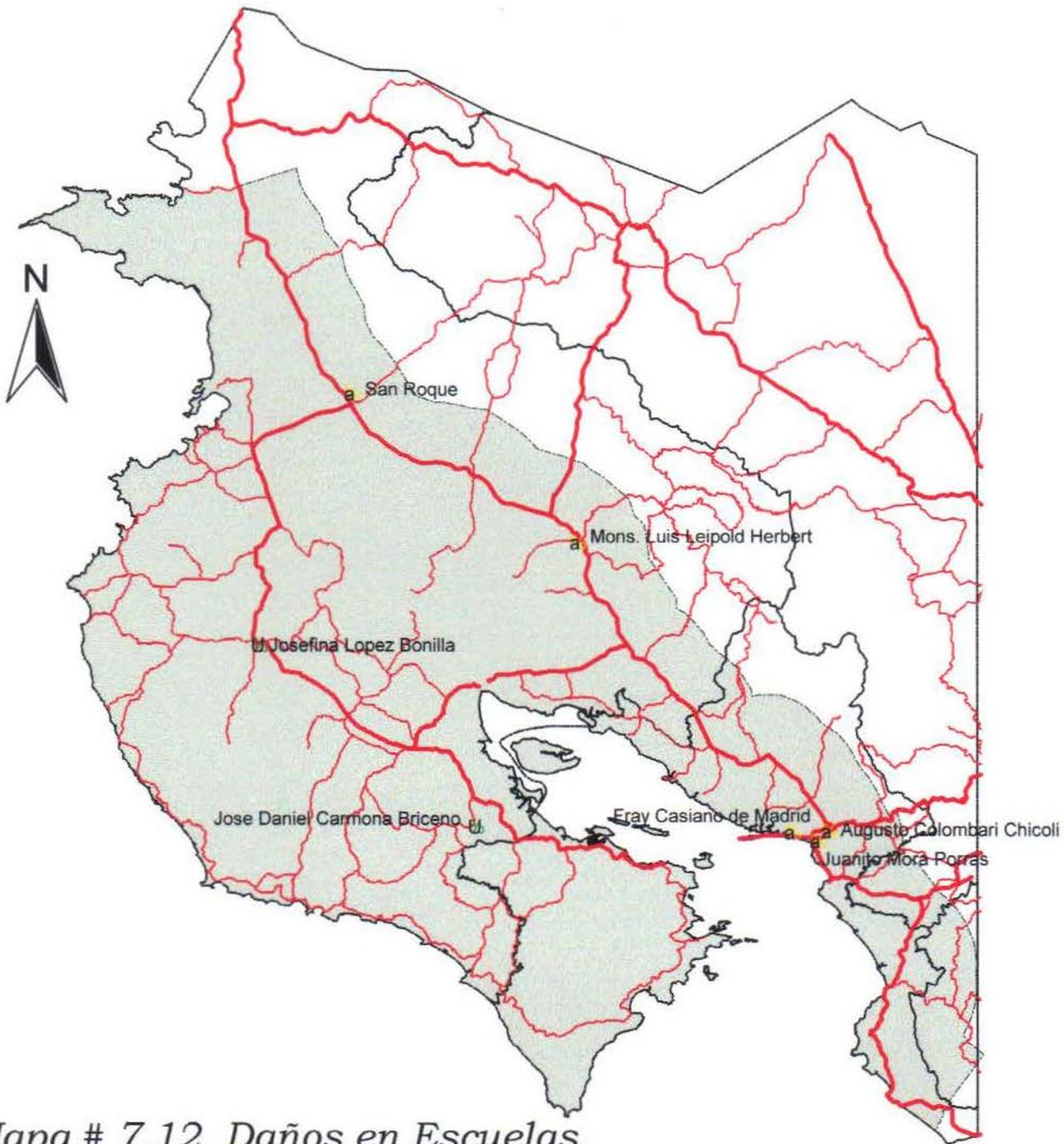
- a Sin daño
- s Daño leve
- 3 Daño moderado
- u Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
JP Montealegre
A. Trezza 7-24



Mapa # 7.12 Daños en Escuelas.
Estructuras tipo PC2L

0 30 Kilometers



Ubicación

Simbología de Daños

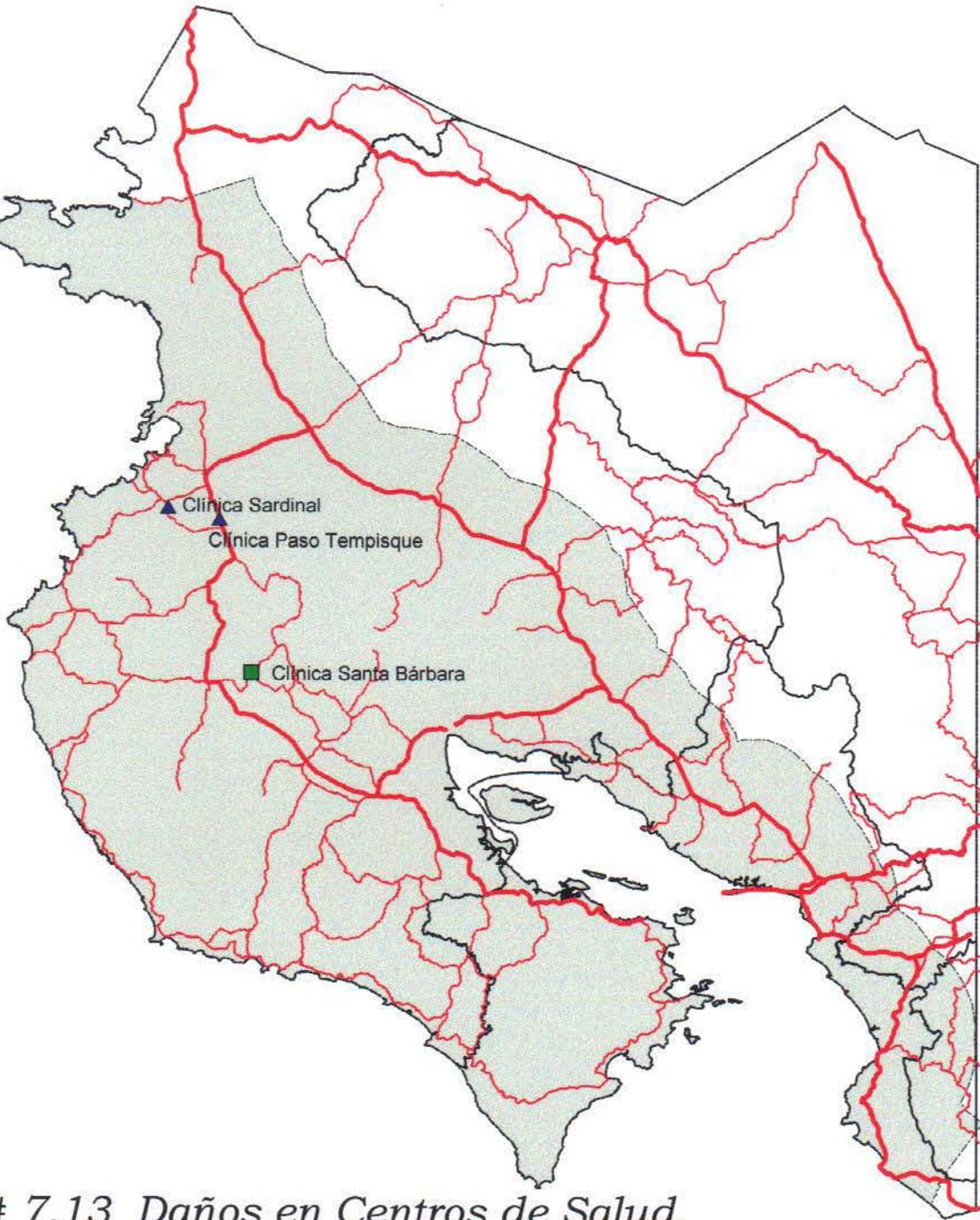
- a Sin daño
- s Daño leve
- § Daño moderado
- u Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
JP Montelegre
A. Trezza 7-25



Mapa # 7.13 Daños en Centros de Salud.
Estructuras tipo S1L

0 20 Kilometers



- Simbología de Daños**
- ☒ Sin daño
 - Daño leve
 - ▲ Daño moderado
 - Daño general
 - ★ Daño total

- Rutas Nacionales**
- ▬ Primaria
 - ▬ Secundaria
 - ▬ Terciaria
- Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza 7-26



Mapa # 7.14 Daños en Colegios.
Estructuras tipo S1L

0 30 Kilometers



Ubicación

Simbología de Daños

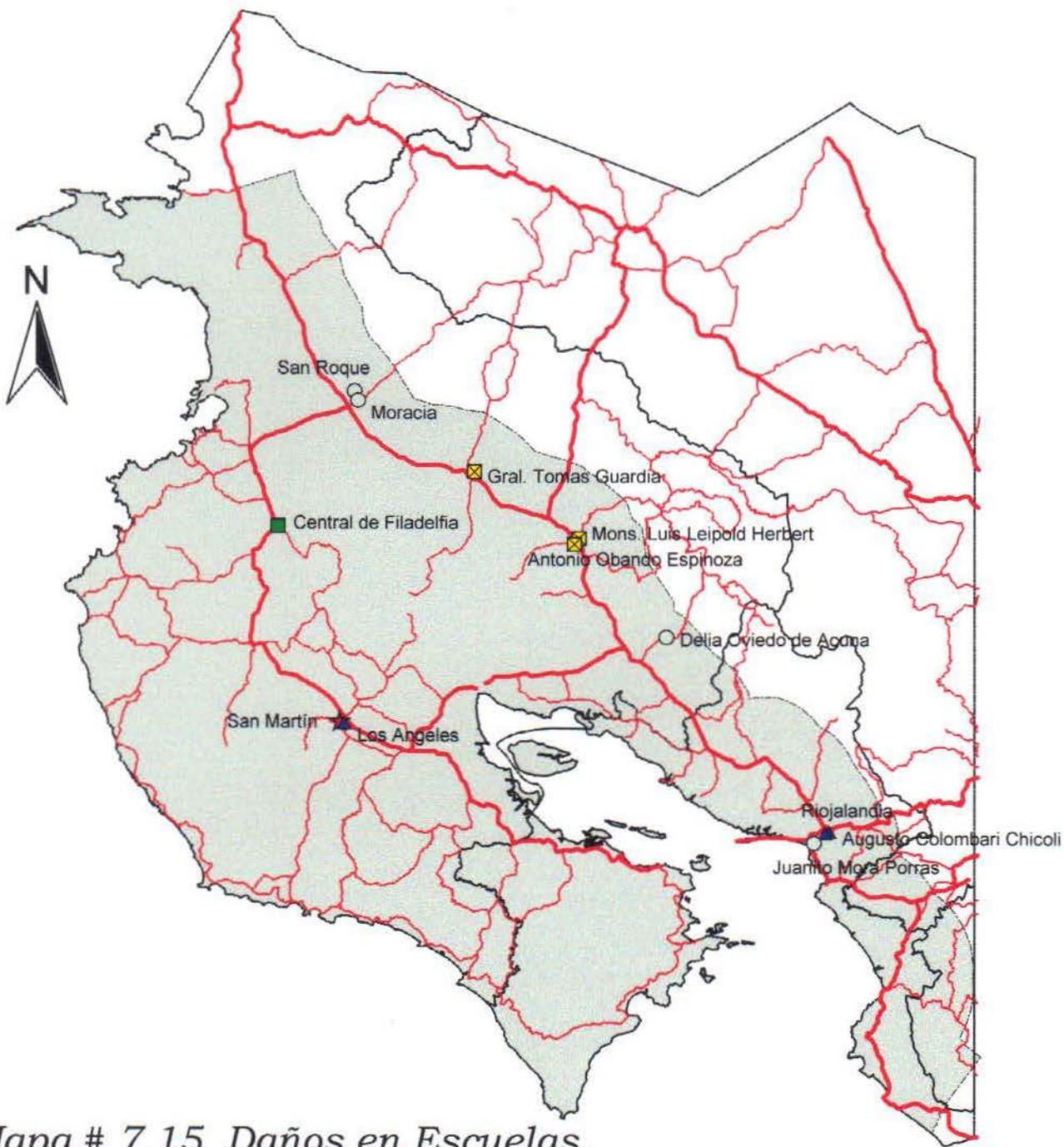
- a Sin daño
- s Daño leve
- § Daño moderado
- u Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
JP Mantelegre
A. Trezza 7-27



Mapa # 7.15 Daños en Escuelas.
Estructuras tipo S1L

0 30 Kilometers



Simbología de Daños

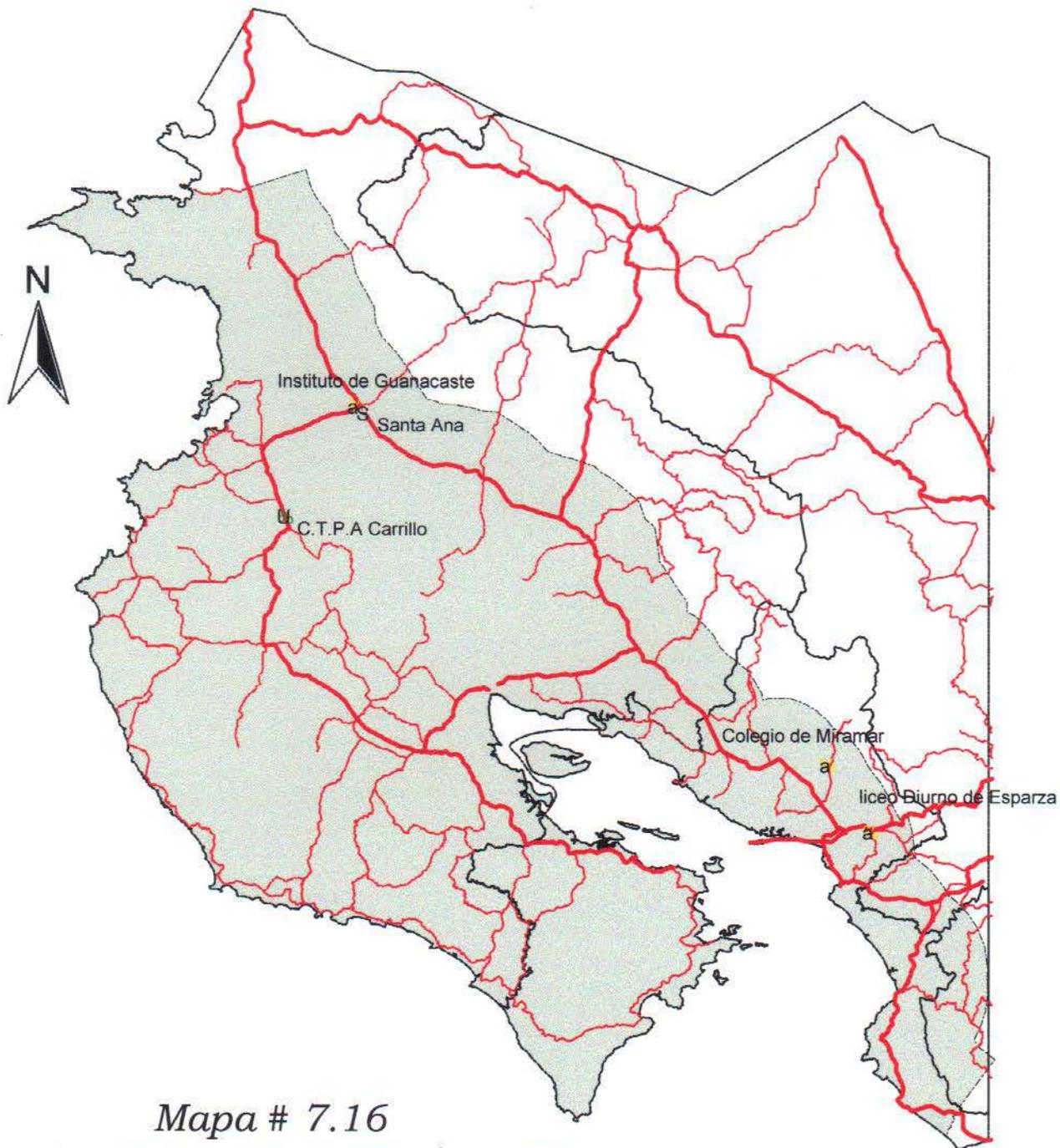
- ☒ Sin daño
- Daño leve
- ▲ Daño moderado
- Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- ▬ Primaria
- ▬ Secundaria
- ▬ Terciaria

■ Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza 7-28



Mapa # 7.16
Daños para estructuras tipo S2L

0 30 Kilometers



Simbología de Daños

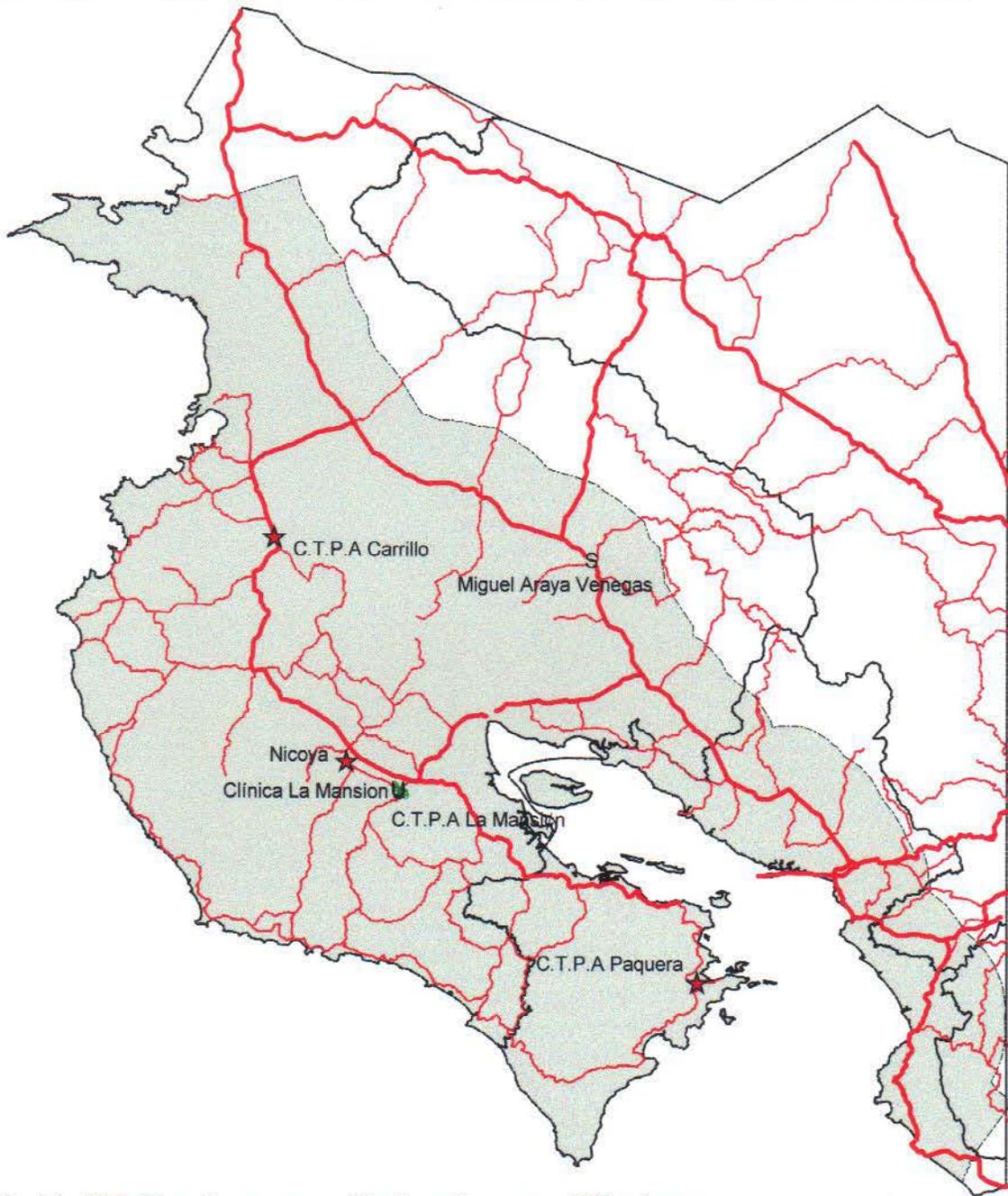
- a Sin daño
- s Daño leve
- § Daño moderado
- u Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
 J.P. Montealegre
 A. Trezza 7-29



Mapa # 7.17 Daños en Colegios y Clínicas.
Estructuras tipo S3L

0 20 Kilometers



Ubicación

Simbología de Daños

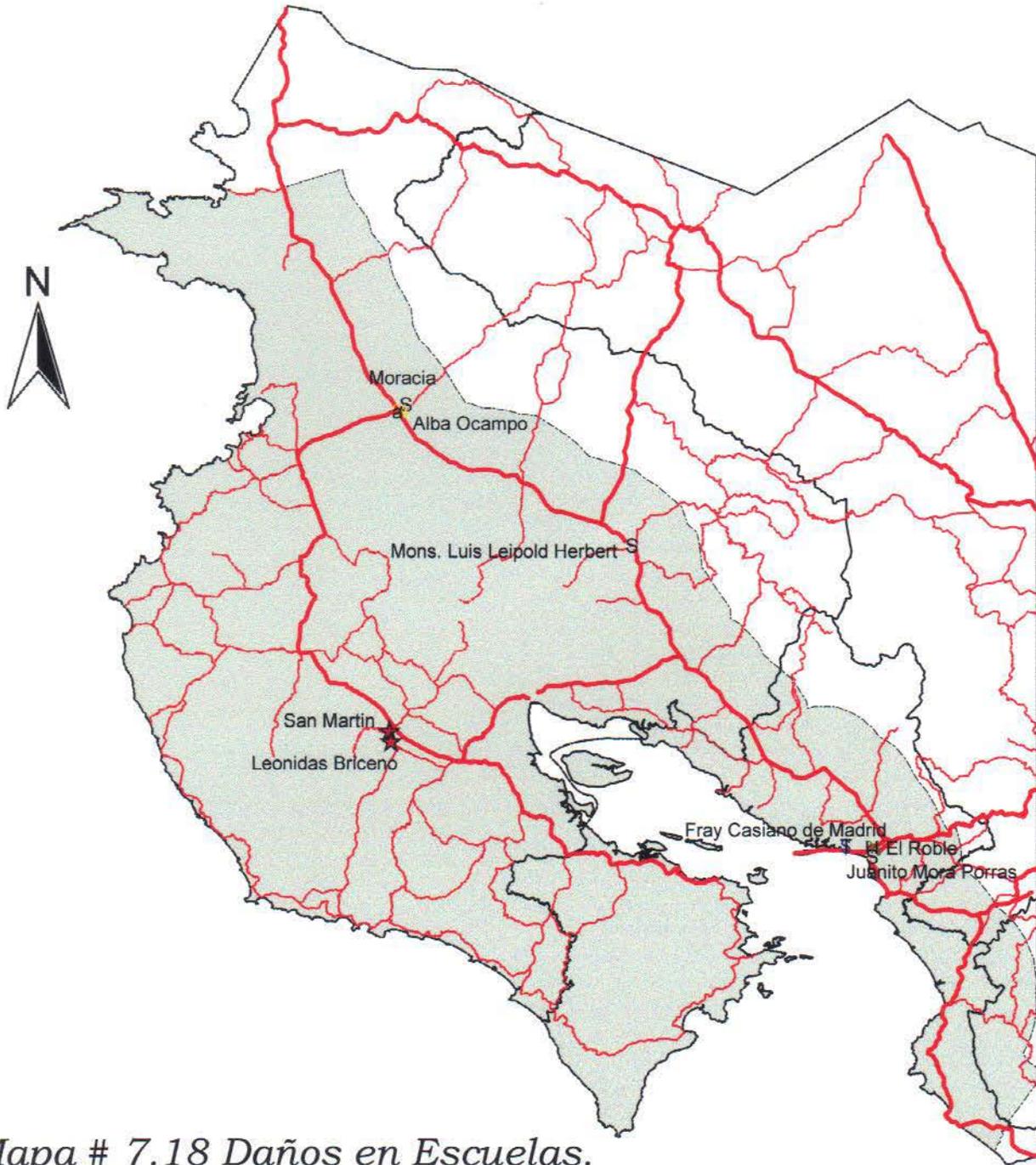
- a Sin daño
- S Daño leve
- \$ Daño moderado
- U Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza 7-30



Mapa # 7.18 Daños en Escuelas.
Estructuras tipo S3L

0 20 Kilometers



Ubicación

Simbología de Daños

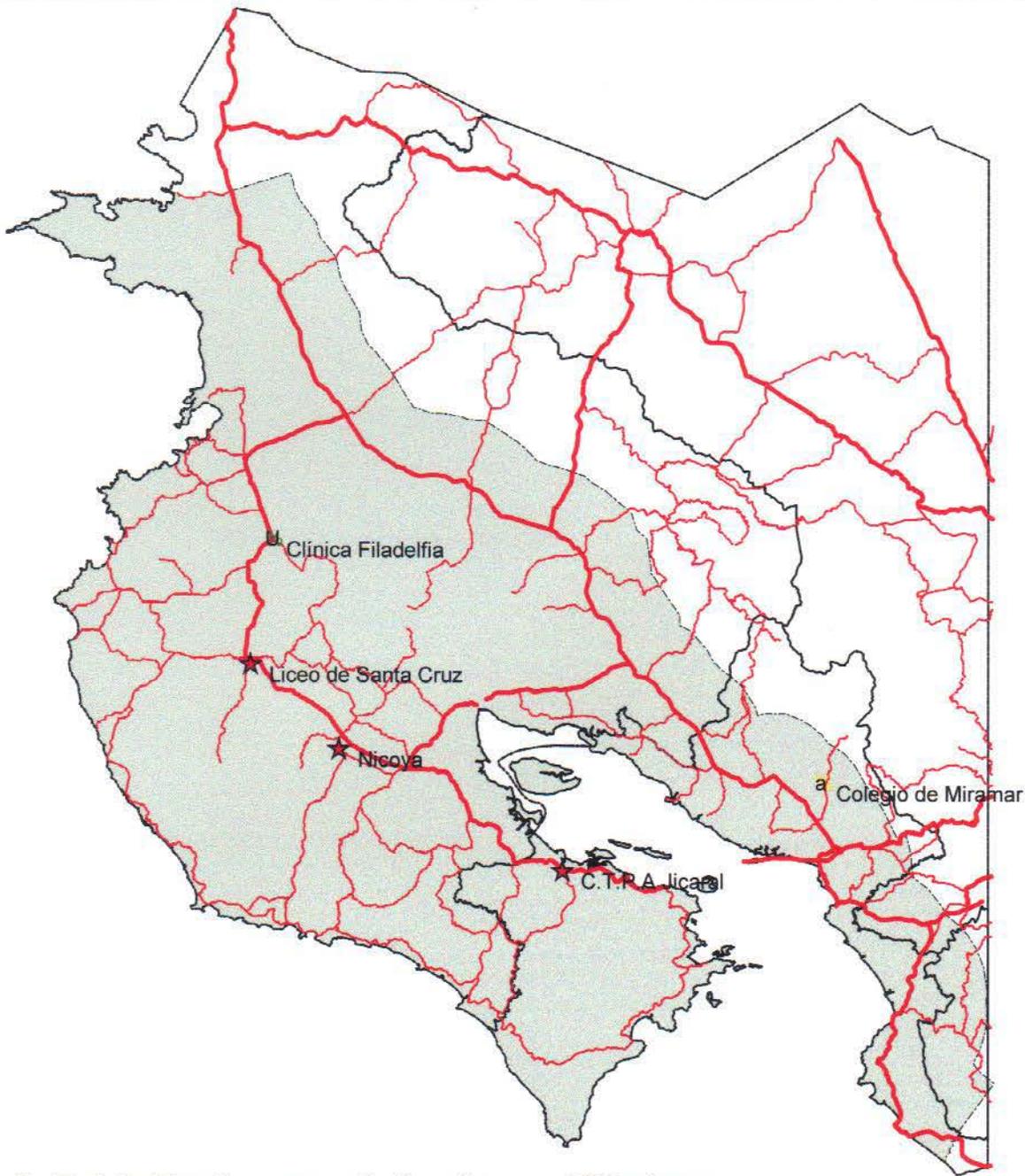
- a Sin daño
- s Daño leve
- § Daño moderado
- u Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
JP Mantealegre
A. Trezza 7-31



Mapa # 7.19 Daños en Colegios y Clínicas
Estructuras tipo URML

0 40 Kilometers



Ubicación

Simbología de Daños

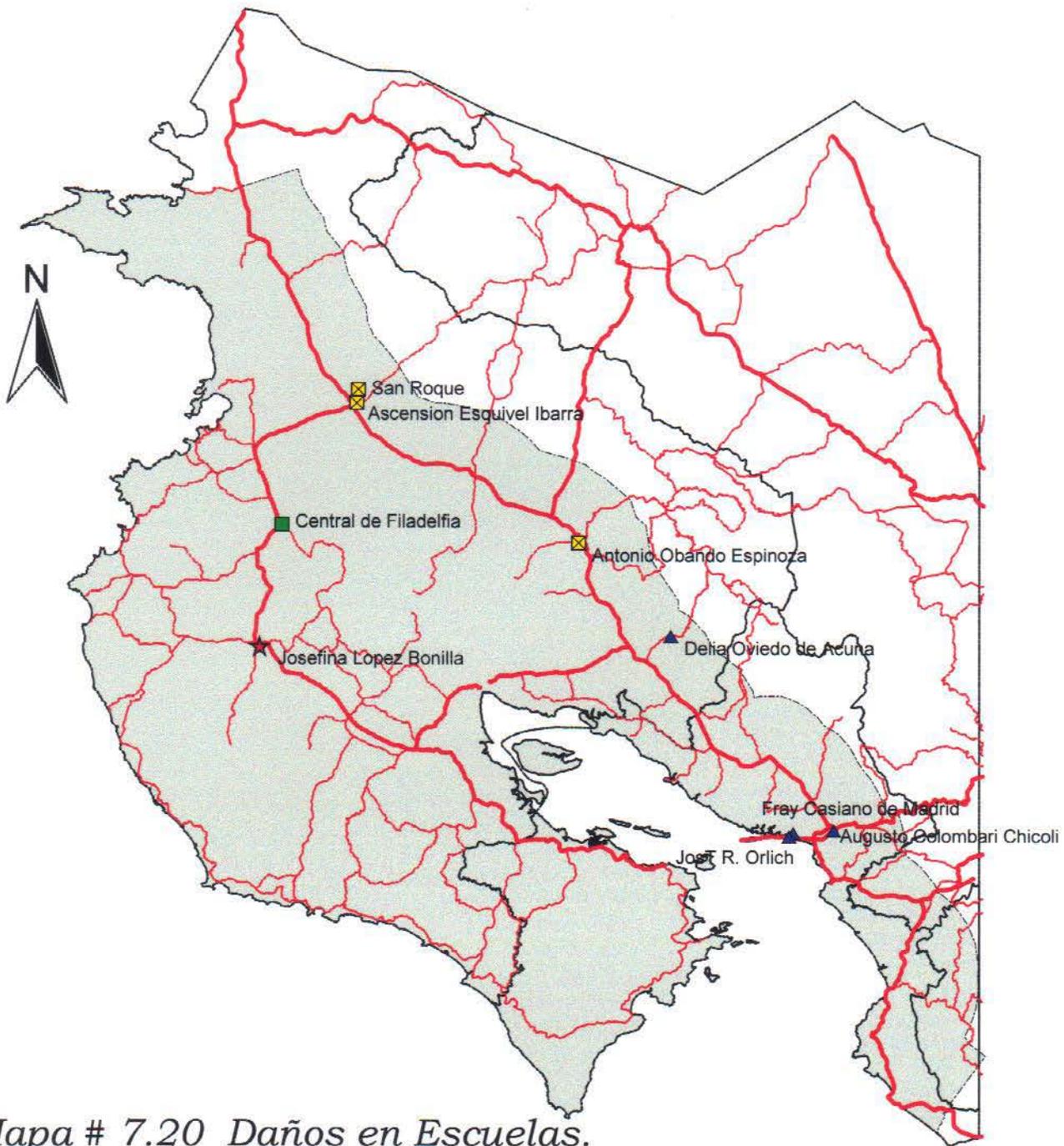
- a Sin daño
- S Daño leve
- \$ Daño moderado
- Ⓢ Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
JP Montealegre
A. Trezza 7-32



Mapa # 7.20 Daños en Escuelas.
Estructuras tipo URML

0 30 Kilometers



Ubicación

Simbología de Daños

- ☒ Sin daño
- Daño leve
- ▲ Daño moderado
- Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- ▬ Primaria
- ▬ Secundaria
- ▬ Terciaria

■ Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza 7-33



Mapa # 7.21
Daños en estructuras tipo W1L

0 30 Kilometers



Simbología de Daños

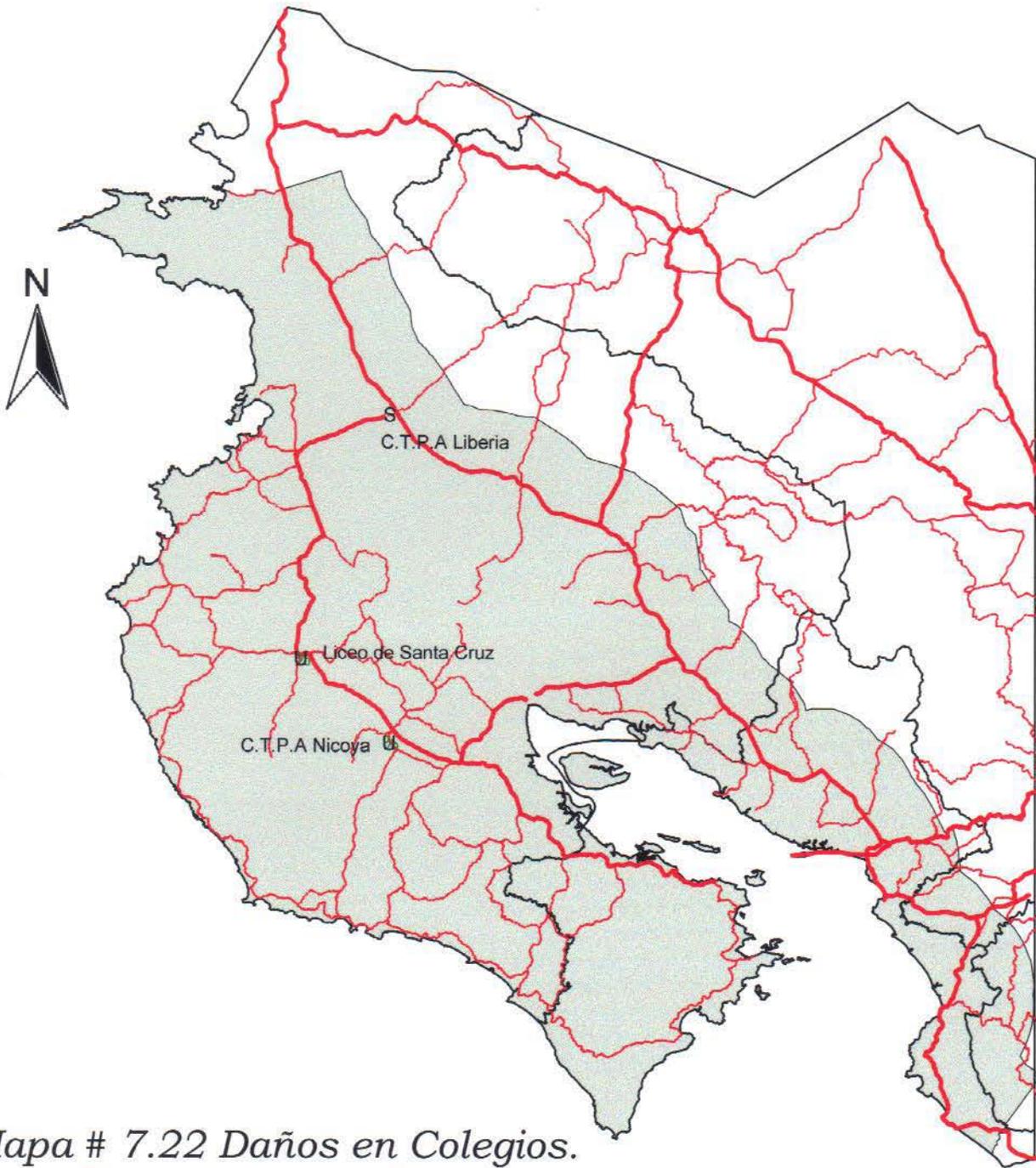
- a Sin daño
- s Daño leve
- § Daño moderado
- u Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza 7-34



Mapa # 7.22 Daños en Colegios.
Estructuras tipo W2L

0 30 Kilometers



Ubicación

Simbología de Daños

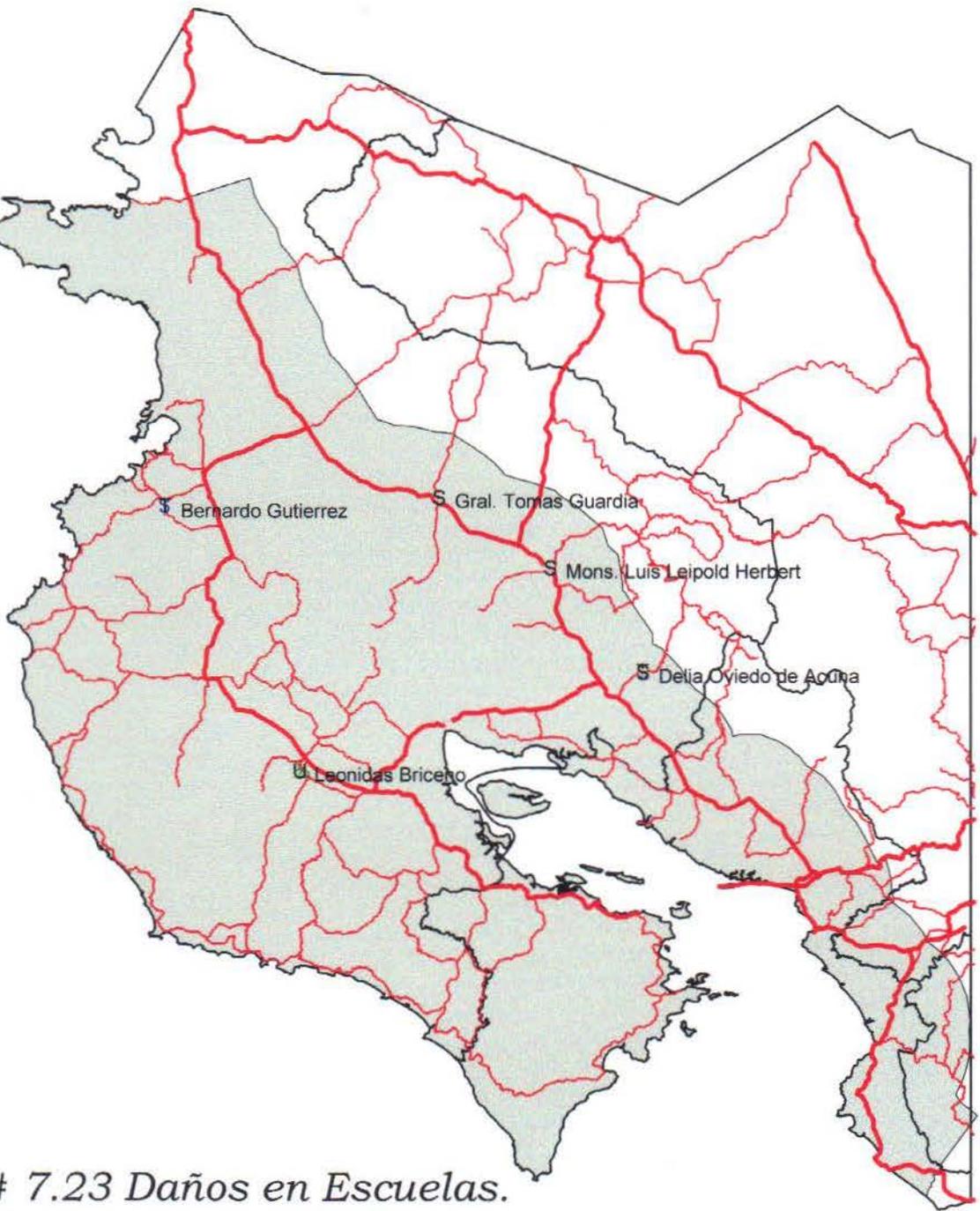
- a Sin daño
- s Daño leve
- § Daño moderado
- ⊕ Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- ▬ Primaria
- ▬ Secundaria
- ▬ Terciaria

■ Zona de Estudio

Realizado por:
J.P. Montealegre
A. Trezza 7-35



Mapa # 7.23 Daños en Escuelas.
Estructuras tipo W2L

0 40 Kilometers



Simbología de Daños

- a Sin daño
- s Daño leve
- \$ Daño moderado
- U Daño general
- ★ Daño total

Rutas Nacionales

- Primaria
- Secundaria
- Terciaria

Zona de Estudio

Realizado por:
JP Montealegre
A. Trezza 7-36

Capítulo 8

Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

El contar con una base de datos con el inventario de la infraestructura de los servicios de educación y salud es de gran importancia para el país. Estas bases de datos no solo sirven para realizar estimaciones de daños por un sismo específico como el que se presenta en este trabajo, sino que también es útil para dar un mantenimiento adecuado a estas instalaciones y para utilizar de forma óptima estos recursos en caso de que ocurra una emergencia debida a un terremoto. Para este tipo de tareas son de especial utilidad los sistemas de información geográfica.

En nuestro país aún no existe un inventario completo de la infraestructura de los centros de educación y de salud, por lo que para realizar este trabajo fue necesario recopilar la información del campo. Sin embargo, como se explicó anteriormente es de mucha importancia que el país cuente con esta base datos, la cual además de los datos de identificación de la institución, ubicación, planos constructivos, memorias de cálculo estructural, características y condiciones físicas de la edificación, niveles de ocupación de las estructuras, debe incluir información sobre los peligros naturales prevaecientes en la zona, y la historia de los peligros naturales que han afectado el lugar donde se ubica la edificación.

A pesar de que la metodología HAZUS realiza estimaciones de daños muy explícitas, se debe tener en cuenta que aún cuando se utilicen los métodos más recientes, estos daños tienen una incertidumbre inherente a cualquier metodología de este tipo. Los resultados que se obtuvieron del análisis dependen de la calidad de los datos de entrada que fueron utilizados. Es importante que los datos que provienen de las visitas al campo sean claros y permitan clasificar la estructura correctamente dentro de los modelos que propone HAZUS. Para esto es recomendable el uso de formularios de campo para la recolección de datos. Este formulario debe estar elaborado de forma tal que se pueda recolectar la información necesaria de forma rápida, clara y ordenada.

Por otro lado se debe poner especial atención a la escala de la información que se utilice relativa a los mapas geológicos y a la ubicación de los edificios en estudio. En este sentido, los resultados tienen una incertidumbre asociada a la de los mapas geológicos utilizados. En este caso se utilizaron mapas geológicos escala 1:200000 por lo que se debe tomar en cuenta la precisión de la información de entrada a la hora de evaluar los resultados de estructuras que se encuentren en zonas cercanas al límite entre la roca y el suelo.

Otros factores que son fuente de incertidumbre son la magnitud y la ubicación del sismo que se esté considerando. A pesar de que esta información proviene de estudios científicos realizados por geólogos y sismólogos, estos estudios también tienen una incertidumbre asociada. Este aspecto es de especial importancia en lugares donde la situación sísmica ha sido poco estudiada. Entre mejores sean los estudios para tratar de predecir el sismo en análisis, más precisos serán los resultados que se obtengan a partir del análisis.

Cada país cuenta con una gran variedad de tipos de sistemas estructurales los cuales han sido construidos a lo largo del tiempo utilizando diferentes códigos de diseño. Debido a esta complejidad, se conoce relativamente poco sobre la capacidad estructural de muchos edificios. Ni siquiera se cuenta con la suficiente información sobre eventos sísmicos pasados o pruebas de laboratorio que permitan predicciones de daño exactas para todos los tipos específicos de edificios. Por esta razón, la metodología agrupa los edificios en categorías, basado en algunas características claves. Luego, se utiliza la información existente para determinar la relación entre estas características claves de la infraestructura con el daño asociado a cada categoría. Es importante comprender que la estimación de daños que se realiza es de carácter probabilístico, y no contempla el análisis del comportamiento estructural específico de cada estructura analizada, sino el comportamiento estructural de la categoría en la cual se ha clasificado este edificio.

Por otro lado, la metodología no contempla daños existentes, problemas de concepción estructural ni defectos constructivos, los cuales hacen la estructura aun más vulnerable ante la ocurrencia de un terremoto. Por esta razón en los casos en los que se observaron los problemas mencionados se recomienda sobrestimar los daños que se

presentan y realizar análisis detallados para cada estructura en particular con el fin de conocer el comportamiento de la estructura ante las sollicitaciones sísmicas.

El posible rango de daños esperados puede ser evaluado realizando un análisis de sensibilidad en el que se observe la variabilidad de los resultados al cambiar los valores de algunas variables de entrada.

La infraestructura de educación y salud en Costa Rica presenta patrones repetitivos en cuanto a sistemas estructurales se refiere. Por esta razón es especialmente recomendable aplicar metodologías como la utilizada, en las que se tiende a agrupar las estructuras en diversos tipos de sistemas estructurales. De esta forma es posible realizar el análisis para una gran cantidad de edificios y obtener un resultado confiable de su vulnerabilidad. Esto permite identificar las estructuras que merecen prioridad y necesitan análisis más detallados con el fin de proponer soluciones de reforzamiento concretas.

Analizando los resultados obtenidos se notó un excelente comportamiento para las estructuras de concreto prefabricadas, sobre todo para las aceleraciones bajas a intermedias, mientras que el aula tipo Van Dam se comporta mejor en las aceleraciones altas. Este comportamiento se explica debido a que las estructuras de concreto, más rígidas que las de acero, inicialmente presentan desplazamientos menores. Sin embargo para las categorías de daño mayores (general y total) en las que se produce la falla de conexiones y elementos estructurales, este daño se presenta antes en las de concreto que en las de acero. Esto ocurre debido a que los elementos de acero tienen un comportamiento más dúctil que los de concreto reforzado. Por esa razón tienen la capacidad de liberar una mayor cantidad de energía por medio de deformaciones antes de que se presente el colapso. Sin embargo en algunas ocasiones, a pesar de que no se produzca el colapso de la estructura, esta puede dejar de ser funcional debido a grandes deformaciones, las cuales imposibilitarían el uso adecuado de la misma. Esto es muy común en el caso de los centros hospitalarios en los que en experiencias anteriores ha ocurrido que la estructura no colapsa, pero la caída de paredes de división liviana y cielos suspendidos, ha dañado equipos o imposibilitado la salida de los cuerpos de rescate.

En el caso de los centros educativos se recomienda el uso de aulas tipo Van Dam y de concreto prefabricadas. Sin embargo a la hora de decidir cual es la estructura idónea a la hora de planificar , hay que tomar en cuenta diversos criterios como costos

constructivos y mantenimiento, entre otros aspectos. Por estas razones lo más recomendable es utilizar las aulas tipo PC, ya que el mantenimiento que se le brinda a los centros educativos es casi nulo, y las aulas que tienen como base los marcos de acero tienen la desventaja de requerir mantenimiento anticorrosivo periódicamente. Otras de las estructuras que también se comportan bastante bien son las de marcos de concreto con mampostería confinada, sin embargo, este tipo de construcciones presentan desventajas económicas con respecto a las prefabricadas desde el punto de vista de tiempo de construcción y costos de mano de obra.

Se puede apreciar el efecto directo que tiene el año de construcción en la determinación de daños para una misma clasificación. Este caso se puede notar en la Escuela Bernardo Gutiérrez, la cual tiene edificaciones del tipo C3L para los años 1953 y 1986. La primera cae en el rango correspondiente a la etapa de que no el código carece de requerimientos sismo - resistentes, mientras que para la segunda se va a utilizar el de código con bajos requerimientos. Se puede ver que a pesar de que ambas tienen la misma aceleración del terreno producida por el sismo estudiado, los daños pasan de general para el caso de la construcción más nueva a total para la construcción realizada en 1953. Esto demuestra el castigo que le da el método a la estructura según el código utilizado, ya que no es lo mismo elaborar un diseño con base en un código que sea riguroso, a uno que no lo sea, por lo que las construcciones van a sufrir diferentes daños. Esto mismo sucede en la escuela de San Martín. Otro de los ejemplos interesantes en este sentido es en la escuela José R. Orlich Zamora, donde hay diversas edificaciones, todas de distintos años, las cuales son de mampostería inconfina, y se puede observar que el daño disminuye conforme aumente la rigurosidad del código.

Se debe enfatizar el adecuado comportamiento de las estructuras de madera con respecto a los otros tipos de edificaciones que clasifican en el mismo rango de nivel del código utilizado, de acuerdo a la fecha de construcción. Sin embargo estas estructuras tienen varias desventajas ya que son edificaciones más calientes y pueden resultar más caras ya que requieren un alto mantenimiento y se deterioran rápidamente. Estos defectos hacen que se haya dejado de utilizar la madera en la construcción de aulas, por lo que recientemente se han utilizado otras alternativas como los marcos de acero y concreto prefabricados.

Las aulas de tipo Galindo son las estructuras más vulnerables ya que son las que más fácilmente presentan daños. Esto se puede observar en las escuelas Leonidas Briceño y en el C.T.P.A Paquera, donde las estructuras de este tienen grados mayores de daños que las otras. Esto ocurre debido a que los desplazamientos laterales del marco principal no se encuentran restringidos por otros elementos, como paredes de mampostería, baldosas ni arriostres laterales.

Se pudo comprobar el efecto que produce el tipo de suelo presente en la zona de estudio en las aceleraciones que se esperan producto del sismo. Como caso particular se puede citar el caso de la ciudad de Santa Cruz, la cual a pesar de encontrarse en una zona relativamente lejana al área de ruptura esperada, presenta las aceleraciones pico más fuertes de la zona de estudio. Esto se debe a que se encuentra en una zona de depósitos aluviales, los cuales producen un fenómeno de amplificación de onda y como consecuencia fuertes aceleraciones, las cuales van a afectar directamente el comportamiento de las estructuras presentes.

8.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar un análisis detallado para aquellas estructuras de importancia en las cuales se esperan mayores niveles de daño, o que se encuentran dañadas. Este es el caso de los siguientes centros:

- Hospital La Anexión
- Hospital San Rafael.
- Clínica de Santa Cruz
- Clínica de Sámara
- Liceo de Nicoya
- Escuela Josefina López Bonilla

El Hospital La Anexión es una estructura de especial interés, ya que según el estudio de Bravo y Calvo (Ref. 4), la red vial presentará graves daños, los cuales dejarían incomunicada la Península de Nicoya con el resto del país. Por esta razón, la totalidad de las emergencias que se presenten en la zona deberán ser atendidas en este Hospital, sin tener la opción de trasladarlas a otros hospitales como el Enrique Baltodano o el Monseñor Sanabria.

Además se recomienda la construcción de las curvas de fragilidad correspondientes a los sistemas constructivos típicos presentes en los centros educativos de nuestro país que no se adapten totalmente a los propuestos por la metodología HAZUS. Es el caso de las construcciones de mampostería confinada reforzada y las edificaciones de abobe. Esta información permitiría tener una mayor certeza a la hora de predecir daños esperados en tales estructuras.

El análisis realizado es la base para realizar otros trabajos en los que calculen las pérdidas directas, indirectas y de víctimas, producto del terremoto, para así tener una mejor noción de los efectos que va a producir el evento sísmico.

Para efectos de las políticas de planificación e inversiones en el sector educativo para zonas de alto riesgo sísmico, como es el caso de la Península de Nicoya, se

recomienda la utilización de sistemas constructivos tipo Van Dam y de concreto prefabricado.

Se recomienda reforzar las aulas tipo Galindo mediante sistemas de arriostramiento lateral que permitan restringir los desplazamientos laterales y consecuentemente disminuir el daño producido por el sismo en estas estructuras.

Para edificios importantes como es el caso de clínicas y hospitales se recomienda la utilización de muros de cortante los cuales aportan una mayor rigidez a la estructura y producen un mejor comportamiento sísmico.

La información generada para realizar este análisis, así como los resultados del mismo son una herramienta valiosa para la mitigación sísmica en esta zona de la Península de Nicoya.

9. Referencias Bibliográficas

1. Applied Technology Council (ATC). ATC-13 Earthquake damage evaluation data for California. California, 1985
2. Applied Technology Council (ATC). Seismic resistance of Highway Bridges. Proceedings of Second Joint U.S. - New Zealand Workshop on . ATC -12 -1. California, 1985.
3. Applied Technology Council (ATC). Seismic vulnerability and impact of disruption of lifelines in the Conterminous Unites States. California, 1991.
4. Bravo, A. y Calvo M. Evaluación del Impacto sobre la red vial de un terremoto en la Península de Nicoya. Informe de Trabajo de Graduación, Universidad de Costa Rica, 1997.
5. Carrara, A. y F. Guzzeti. Geographical information systems in assessing natural hazards. Kluwer Academic Publisher. Holanda, 1995.
6. California Department of Conservation. Division of Mines and Geology Earthquake planning scenario. For a magnitude 7.5 earthquake on the Hayward Fault in the San Francisco Bay Area.. California, 1987.
7. Earthquake Engineering Research Institute (EERI) The anticipated Tokai earthquake, Japanesse prediction an preparedness activities. California, 1984.
8. Escuela Politécnica Nacional The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project.. GeoHazards International. Stanford University. California, 1994.
9. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para

el Desarrollo Regional Integrado. Washigton, D.C. 1993.

10. Federal Emergency Management Agency. Seismic Considerations Elementary and Secondary Schools. FEMA 149. Washington , 1987.
11. Federal Emergency Management Agency. Seismic Evaluation of Existing Buildings: Supporting Documentation.FEMA 175. Washington , 1987.
12. Federal Emergency Management Agency. Seismic Considerations Health Care Facilities. FEMA 150. Washington , 1987.
13. Federal Emergency Management Agency (FEMA). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook California, 1988.
14. Hemispheric Congress on Disaster Reduction and Sustainable Development. International Hurricane Center at Florida International University. September, 1996.
15. Hoefler, G. y J. Fernández. Invirtiendo en el futuro de Quito. Proyecto de Seguridad Sísmica para las construcciones escolares de Quito, Ecuador. GeoHazards International. Stanford University. California, 1994.
16. Kollun, R. y T. Bartell. Risk assessment and management handbook for environmental, help, and safety professional. McGraw-Hill, Inc. Nueva York, 1996.
17. Ministerio de Economía, Industria y Comercio. Población de Costa Rica por provincia, cantón y distrito, al primero de setiembre de 1997. San José. 1998.
18. National Institute of Building Sciences. HAZUS: Earthquake loss estimation methodology. Vol I. Washigton, D.C. 1997.

19. Nishenko, Stuart. Circum-Pacific Potential: 1989-1999. National Earthquake Information Center, United States Geological Survey. Denver, U.S.A. 1991
20. Organización Panamericana de la salud. Mitigación de desastres en las instalaciones de la salud. Evaluación y Reducción de la vulnerabilidad física y funcional. vol 4, Washington, D.C.1993.
21. Organización de los Estados Americanos. Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. DOCUMENTO DE TRABAJO: El rol de los organismos internacionales de cooperación técnica y financiamiento en la reducción de la vulnerabilidad del sector educativo a peligros naturales en centroamérica. Washigton, D.C. 1990.
22. Protti, Marino y otros. The March 25, 1990, earthquake at the entrance of the Nicoya Gulf, Costa Rica: its prior activity, foreshocks, aftershocks, and triggered seismicity: Journal of Geophysical Research, vol 100. 1995.
23. Risk Management Solutions Inc. HAZUS 97. Technical Manual. Earthquake Loss Estimation Methodology. Vol. II. Washington, D.C. 1997.
24. Risk Management Solutions Inc. What if a Major Earthquake strikes the Los Angeles Area? Topical Issues Series. Stanford University. California, 1995.
25. Risk Management Solutions Inc. What if the 1906 Earthquake strikes again? A San Francisco Bay Area Scenario. Topical Issues Series. Stanford University. California, 1995.
26. Risk Management Solutions Inc. What if the 1923 Earthquake strikes again? A Five Prefecture Tokyo Region Scenario. Topical Issues Series. Stanford University. California, 1995.

27. Taniguchi, H. A study on urban earthquake risk assessment and mitigation. Department of Civil Engineering. Aichi Institute of Technology. Japón, 1989.

28. Youngs et al. Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes. En Seismological Research Letters. Vol 68, Núm 1. Michigan, EE.UU