

Perfil de Riesgo de Desastres para Venezuela

Banco Interamericano de Desarrollo

División de Medioambiente
Desarrollo Rural y
Administración de Riesgos
por Desastres

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-831

Perfil de Riesgo de Desastres para Venezuela

Banco Interamericano de Desarrollo

Junio 2015

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo

Banco Interamericano de Desarrollo.
Perfil de riesgo de desastres para Venezuela / Banco Interamericano de
Desarrollo.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 831)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Natural disasters—Venezuela. 2. Emergency management—Venezuela. 3.
Disaster relief —Venezuela. I. Banco Interamericano de Desarrollo. División de
Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres.
II. Título. III. Serie.

IDB-TN-831

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2015 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Contacto: Sergio Lacambra, slacambra@iadb.org

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	12
1. METODOLOGÍA Y ALCANCES	14
2. DESASTRES HISTÓRICOS.....	18
2.1 Mayores Desastres Recientes.....	18
2.1.1 Base de Datos de Desastres	22
2.1.2 Agrupación.....	23
2.1.3 Valoración y Curva de Excedencia de Pérdidas	25
3. EVALUACIÓN PROBABILISTA DE LA AMENAZA SÍSMICA	30
3.1 Descripción del Entorno Local.....	30
3.1.1 Sismotectónica en la República Bolivariana de Venezuela	30
3.1.2 Procedimiento de Análisis	33
3.1.3 Parámetros de Sismicidad de las Fuentes Sismogénicas	36
3.1.4 Atenuación de los Parámetros de Amenaza	37
3.2 Cálculo de la Amenaza Sísmica.....	38
3.2.1 Modificación de los Parámetros de Amenaza por Efectos de Sitio.....	39
3.3 Información Empleada en la Modelación	41
3.3.1 Catálogo Sísmico.....	41
3.3.2 Parámetros de Sismicidad.....	43
3.3.3 Fuentes Sismogénicas Modeladas.....	44
3.3.4 Parametrización de las Fuentes Sismogénicas	45
3.3.5 Relaciones de Atenuación de Movimiento Fuerte	48
3.4 Calidad de los Datos Disponibles.....	51
3.5 Resultados de la Amenaza Sísmica para la República Bolivariana de Venezuela	52
3.5.1 Curvas de Amenaza para algunas Ciudades	52
3.5.2 Espectros de Amenaza Uniforme para algunas Ciudades.....	54
3.6 Mapas de Amenaza Sísmica para la República Bolivariana de Venezuela.....	56
3.7 Comparación de los Resultados de Amenaza Sísmica tras Considerar Diferentes Relaciones de Atenuación	60
3.8 Efectos de Sitio en el Área Metropolitana de Caracas y el Municipio de Chacao	62
3.8.1 Forma Funcional.....	64
3.8.2 Propuesta de Modificación de la Forma Funcional	67
3.8.3 Funciones de Transferencia	71
4. EVALUACIÓN PROBABILISTA DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES	73
4.1 Caracterización a Nivel Nacional.....	73
4.1.1 Caracterización.....	73
4.1.2 Sistema de Drenaje	75
4.1.3 Cobertura del Suelo.....	80
4.1.4 Precipitación	81
4.2 Selección de la Cuenca.....	81
4.2.1 Criterios de Selección de la Cuenca de Análisis	82
4.2.2 Recurrencia de las Inundaciones	83
4.2.3 Población Afectada.....	85
4.2.4 Resultado - Selección de la Cuenca	87
4.2.5 Subcuenca Urbana Quebrada Chacaito (Caracas).....	89
4.2.6 Morfometría de la Cuenca de la Quebrada Chacaito.....	92
4.3 Modelación de Lluvias Intensas	94
4.3.1 Información Disponible	95
4.3.2 Resultado - Curvas PADF	96
4.4 Mapas de Escenarios de Lluvia Intensa para la Cuenca de la Quebrada Chacaito	96
4.5 Amenaza por Inundación.....	100

4.5.1	Volúmenes de Flujo	101
4.5.2	Lluvia-Escorrentía.....	103
5.	MODELO DE ACTIVOS EXPUESTOS	104
5.1	Desarrollo del Modelo.....	104
5.2	Información General del País	106
5.2.1	Conformación de la Base de Datos para el Análisis del Riesgo	106
5.2.2	Descripción Geográfica y División Política del País	107
5.2.3	Distribución de la Población	109
5.2.4	Base de Datos de Construcciones	109
5.3	Base de Datos de Infraestructura Urbana	113
5.3.1	Metodología y Alcance	113
5.3.2	Conformación de la Base de Datos de Infraestructura Urbana	113
5.4	Base de Datos de Infraestructura Nacional.....	115
5.4.1	Metodología y Alcance	115
5.4.2	Conformación de la Base de Datos de Infraestructura Nacional	115
5.4.3	Resumen General de Indicadores de Exposición	117
5.5	Presentación Gráfica del Modelo de Activos Expuestos.....	118
5.5.1	Edificaciones Urbanas Según Área Construida, Valor por Estado y Sectores	118
5.5.2	Infraestructura Urbana Según Valores por Estado y Sectores	125
5.5.3	Infraestructura Nacional según Valores por Estado y Sector	127
5.5.4	Resumen de Valores Expuestos Totales por Estado y Sectores.....	130
5.5.5	Información en Mapas Descriptivos	132
6.	VULNERABILIDAD SÍSMICA DE ACTIVOS.....	140
6.1	Aspectos Generales	140
6.2	Funciones de Vulnerabilidad Sísmica	141
6.3	Funciones de Vulnerabilidad para los Elementos Expuestos	142
7.	EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO	147
7.1	Aspectos Generales	147
7.2	Pérdidas Totales a Nivel País	147
8.	CONCENTRACIÓN DE RIESGO SÍSMICO	151
8.1	Comparación de Pérdidas por Estado.....	151
8.1.1	Comparación de Pérdidas por Sector	161
8.1.2	Perdida Máxima Probable para Sectores Público y Privado.....	163
8.1.3	Pérdida Máxima Probable para Sectores Público y Privado.....	165
8.2	Reflexiones sobre la Evaluación Nacional de Riesgo	168
9.	FUNCIONES DE VULNERABILIDAD PARA INUNDACIÓN	173
10.	ANÁLISIS PROBABILISTA DE RIESGO POR INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA CHACAÍTO	177
11.	CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS HÍBRIDA	180
	REFERENCIAS.....	183

Lista de Figuras

FIGURA 1-1. ESQUEMA GENERAL DEL ANÁLISIS DE RIESGO PROBABILISTA.....	15
FIGURA 2-1. DEPOSITO DEL FLUJO DE LODO DE DICIEMBRE DE 1999 SOBRE LA URBANIZACIÓN LOS CORALES EN LA ZONA URBANA DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JULIÁN (VARGAS)	19
FIGURA 2-2. INUNDACIÓN EN EL PUEBLO DE MACANILLA DEL ESTADO MIRANDA EN EL 2010 ...	20
FIGURA 2-3. COLAPSO DEL EDIFICIO SAN JOSÉ EN EL TERREMOTO DE 1967 EN CARACAS, DISTRITO CAPITAL	20
FIGURA 2-4. AFECTACIÓN POR EL TERREMOTO DE 1997 EN LA ESCUELA BÁSICA VALENTÍN VALIENTE DE CARIACO, ESTADO SUCRE	21
FIGURA 2-5. AFECTACIÓN EN SANTA CRUZ DE MORA, ESTADO MÉRIDA EN FEBRERO DE 2005.....	21
FIGURA 2-6. NÚMERO DE REGISTROS POR AÑO.....	22
FIGURA 2-7. DISTRIBUCIÓN DE LA AFECTACIÓN TOTAL POR CATEGORÍA DESPUÉS DE LA AGRUPACIÓN.....	25
FIGURA 2-8. COSTO ANUAL DE LOS DESASTRES NATURALES POR CATEGORÍA.....	27
FIGURA 2-9. COSTO ACUMULADO DE LOS DESASTRES NATURALES POR CATEGORÍA.....	28
FIGURA 2-10. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS POR CATEGORÍA.....	29
FIGURA 2-11. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS TOTALES	29
FIGURA 3-1. ENTORNO TECTÓNICO DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA.....	31
FIGURA 3-2. FALLAS Y LINEAMIENTOS EN LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA	32
FIGURA 3-3. SISTEMAS DE FALLAS PRINCIPALES EN LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA.....	33
FIGURA 3-4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MÓDULO DE AMENAZA SÍSMICA.....	35
FIGURA 3-5. TASAS DE EXCEDENCIA DE FUENTES PARA EL MODELO DE SISMICIDAD DE POISSON.....	37
FIGURA 3-6. FUNCIÓN DE AMPLIFICACIÓN ESPECTRAL TÍPICA DE UN SUELO BLANDO	40
FIGURA 3-7. CATÁLOGO SÍSMICO	42
FIGURA 3-8. ANÁLISIS DE COMPLETITUD PARA $M_0=4.0$	43
FIGURA 3-9. FUENTES SUPERFICIALES	44
FIGURA 3-10. FUENTES PROFUNDAS	45
FIGURA 3-11. DISTRIBUCIÓN NORMAL PARA ESTABLECER LA MAGNITUD MÁXIMA	46
FIGURA 3-12. IDRIS (2008) PARA MAGNITUD DE 7.0 Y PGA	49
FIGURA 3-13. IDRIS (2008) PARA MAGNITUD DE 7.5 Y 0.5 SEG	50
FIGURA 3-14. IDRIS (2008) PARA MAGNITUD DE 8.0 Y PGA	50
FIGURA 3-15. CURVA DE AMENAZA PARA PGA PARA CARACAS.....	53
FIGURA 3-16. CURVA DE AMENAZA PARA PGA PARA MARACAIBO	53
FIGURA 3-17. CURVA DE AMENAZA PARA PGA PARA VALENCIA	53
FIGURA 3-18. CURVA DE AMENAZA PARA PGA PARA BARQUISIMETO	53
FIGURA 3-19. CURVA DE AMENAZA PARA PGA PARA MARACAY	53
FIGURA 3-20. ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME PARA CARACAS	55
FIGURA 3-21. ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME MARACAIBO.....	55
FIGURA 3-22. ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME PARA VALENCIA.....	55
FIGURA 3-23. ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME PARA BARQUISIMETO	55
FIGURA 3-24. ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME PARA MARACAY	55
FIGURA 3-25. PGA PARA PERÍODO DE RETORNO DE 475 AÑOS	57
FIGURA 3-26. PGA PARA PERÍODO DE RETORNO DE 1,000 AÑOS	57
FIGURA 3-27. 0.5S PARA PERÍODO DE RETORNO DE 475 AÑOS	58
FIGURA 3-28. 0.5S PARA PERÍODO DE RETORNO DE 1,000 AÑOS	58
FIGURA 3-29. 1.0S PARA PERÍODO DE RETORNO DE 475 AÑOS	59
FIGURA 3-30. 1.0S PARA PERÍODO DE RETORNO DE 1,000 AÑOS	59
FIGURA 3-31. ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME PARA CARACAS	61
FIGURA 3-32. ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME MARACAIBO.....	61
FIGURA 3-33. ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME PARA VALENCIA.....	61
FIGURA 3-34. ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME PAR BARQUISIMETO	61

FIGURA 3-35. ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME PARA MARACAY	61
FIGURA 3-36. MICROZONAS DEL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS.....	62
FIGURA 3-37. MICROZONAS PARA EL MUNICIPIO DE CHACAO	63
FIGURA 3-38. FORMA FUNCIONAL DE LOS ESPECTROS DE LA MICROZONIFICACIÓN.....	64
SÍSMICA DE CARACAS	64
FIGURA 3-39. ESPECTROS ELÁSTICOS DE DISEÑO PARA LAS MICROZONAS DE CHACAO	65
FIGURA 3-40. ESPECTRO DE VELOCIDAD PARA LA MICROZONA 3-2	66
FIGURA 3-41. ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO PARA LA MICROZONA 3-2	66
FIGURA 3-42. REPRESENTACIÓN TRIPARTITA DE LAS MICROZONAS DEL MUNICIPIO DE CHACAO	67
FIGURA 3-43. PARÁMETROS A MODIFICAR EN LA FORMA FUNCIONAL	68
FIGURA 3-44. ESPECTROS ELÁSTICOS DE DISEÑO PROPUESTOS PARA LAS MICROZONAS DE CHACAO.....	69
FIGURA 3-45. ESPECTRO DE VELOCIDAD PROPUESTO PARA LA MICROZONA 3-2	69
FIGURA 3-46. ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO PROPUESTO PARA LA MICROZONA 3-2	70
FIGURA 3-47. REPRESENTACIÓN TRIPARTITA DE LAS MICROZONAS DEL MUNICIPIO DE CHACAO CON LAS MODIFICACIONES PROPUESTAS.....	71
FIGURA 3-48. FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA LAS MICROZONAS DEL MUNICIPIO DE CHACAO.....	72
FIGURA 4-1. MAPA DE RELIEVE TOPOGRÁFICO	74
FIGURA 4-2. MAPA DE PENDIENTES	75
FIGURA 4-3. DIRECCIONES DE FLUJO	76
FIGURA 4-4. DIRECCIONES DE FLUJO – ZOOM	77
FIGURA 4-5. CUENCAS Y CAUCES PRINCIPALES.....	78
FIGURA 4-6. PUNTOS DE DRENAJE.....	79
FIGURA 4-7. COBERTURA DE LA TIERRA	80
FIGURA 4-8. EVENTOS DE INUNDACIÓN POR MUNICIPIO.....	84
FIGURA 4-9. EVENTOS DE INUNDACIÓN POR CUENCA	85
FIGURA 4-10. POBLACIÓN AFECTADA POR MUNICIPIO	86
FIGURA 4-11. POBLACIÓN AFECTADA POR CUENCA	87
FIGURA 4-12. ÁREA RECOMENDADA DEL ESTUDIO	89
FIGURA 4-13. CUENCA RÍO TUY.....	90
FIGURA 4-14. CUENCA QUEBRADA CHACAITO	91
FIGURA 4-15. TOPOGRAFÍA DE LA CUENCA	93
FIGURA 4-16. FRECUENCIA DE ALTITUDES Y CURVA HIPSOMÉTRICA PARA LA QUEBRADA CHACAITO	93
FIGURA 4-17. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS RESPECTO DE LA CUENCA DE CHACAITO.....	95
FIGURA 4-18. CURVAS PADF PARA CHACAITO	96
FIGURA 4-19. MAPAS DE ESCENARIOS SELECCIONADOS DE LLUVIAS INTENSAS PARA EVENTOS DE PRECIPITACIÓN DE 1 DÍA. TR 5 AÑOS. P[MM].....	97
FIGURA 4-20. MAPAS DE ESCENARIOS SELECCIONADOS DE LLUVIAS INTENSAS PARA EVENTOS DE PRECIPITACIÓN DE 1 DÍA. TR 50 AÑOS. P[MM].....	98
FIGURA 4-21. MAPAS DE ESCENARIOS SELECCIONADOS DE LLUVIAS INTENSAS PARA EVENTOS DE PRECIPITACIÓN DE 1 DÍA. TR 100 AÑOS. P[MM].....	99
FIGURA 4-22. ZONIFICACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA PARA LA CUENCA DE LA QUEBRADA CHACAITO	103
FIGURA 5-1. MODELO DE ACTIVOS EXPUESTOS	105
FIGURA 5-2. DIVISIÓN POLÍTICA NACIONAL PRINCIPALES ENTIDADES SUBNACIONALES	107
FIGURA 5-3. EXTENSIÓN TERRITORIAL.....	119
FIGURA 5-4. POBLACIÓN POR ESTADO	119
FIGURA 5-5. DENSIDAD POBLACIONAL.....	120
FIGURA 5-6. ÁREA CONSTRUIDA POR ESTADO	120
FIGURA 5-7. VALORES EXPUESTOS DE EDIFICACIONES REGULARES POR ESTADO	121
FIGURA 5-8. ÁREA CONSTRUIDA POR SECTOR DE USO	121

FIGURA 5-9. VALOR EXPUESTO POR SECTOR DE USO	122
FIGURA 5-10. VALOR EXPUESTO POR ESTADO Y SECTOR DE USO	122
FIGURA 5-10. VALOR EXPUESTO POR ESTADO Y SECTOR DE USO (CONTINUACIÓN)	123
FIGURA 5-11. VALOR EXPUESTO POR ESTADO Y SECTOR DE USO	123
FIGURA 5-11. VALOR EXPUESTO POR ESTADO Y SECTOR DE USO (CONTINUACIÓN)	124
FIGURA 5-12. VALOR EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA URBANA POR ESTADO	125
FIGURA 5-13. VALOR EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA URBANA POR SECTOR	126
FIGURA 5-14. VALOR EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA URBANA POR ESTADO Y SECTOR...	126
FIGURA 5-14. VALOR EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA URBANA POR ESTADO Y SECTOR (CONTINUACIÓN).....	127
FIGURA 5-15. VALOR EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA NACIONAL POR ESTADO	128
FIGURA 5-16. VALOR EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA NACIONAL POR SECTOR.....	128
FIGURA 5-17. VALOR EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA NACIONAL POR ESTADO Y SECTOR	129
(CONTINUACIÓN).....	129
FIGURA 5-18. VALOR EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA NACIONAL POR ESTADO	130
FIGURA 5-19. VALOR TOTAL EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA NACIONAL POR SECTORES .	131
FIGURA 5-20. VALOR TOTAL EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA NACIONAL POR ESTADO Y SECTORES	131
FIGURA 5-20. VALOR TOTAL EXPUESTO EN INFRAESTRUCTURA NACIONAL POR ESTADO Y SECTORES (CONTINUACIÓN).....	132
FIGURA 5-21. DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN POR MUNICIPIO	133
FIGURA 5-22. DENSIDAD POBLACIONAL POR MUNICIPIO.....	134
FIGURA 5-23. DISTRIBUCIÓN DE ÁREA CONSTRUIDA POR MUNICIPIO	135
FIGURA 5-24. DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS EN CONSTRUCCIONES REGULARES POR MUNICIPIO	136
FIGURA 5-25. DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS EN INFRAESTRUCTURA NACIONAL POR MUNICIPIO	137
FIGURA 5-26. DISTRIBUCIÓN DE VALOR EXPUESTO TOTAL POR MUNICIPIO	138
FIGURA 5-21. DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE VALORES EXPUESTOS SEGÚN SECTORES POR ESTADO	139
FIGURA 6-1 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD (FUNCIÓN ACELERACIÓN ESPECTRAL) PARA CONSTRUCCIONES.....	144
FIGURA 6-2. FUNCIONES DE VULNERABILIDAD (FUNCIÓN ACELERACIÓN ESPECTRAL) PARA INFRAESTRUCTURA	145
FIGURA 7-1. EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS POR TERREMOTO.....	148
FIGURA 7-2. CURVA DE PML POR TERREMOTO.....	149
FIGURA 7-3. CURVAS DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE DIFERENTES VALORES DE PML, PARA DIFERENTES TIEMPOS DE EXPOSICIÓN	149
FIGURA 8-1. VALORES EXPUESTOS POR ESTADOS	151
FIGURA 8-2. EJEMPLO DE RESULTADOS POR TERREMOTO PARA EL ESTADO DE ZULIA	153
FIGURA 8-3. VALORES DE PML PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN CADA ESTADO	154
FIGURA 8-4. VALORES DE AAL POR ESTADO	155
FIGURA 8-5. VALORES EXPUESTOS POR ESTADO Y AAL AL MILLAR	155
FIGURA 8-6. VALORES DE AAL POR ESTADO PARA LOS DIFERENTES SECTORES	156
FIGURA 8-7. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE AAL (VALOR) POR MUNICIPIO	157
FIGURA 8-8. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE AAL (%) POR MUNICIPIO.....	158
FIGURA 8-9. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE PML (VALOR) POR ESTADO.....	159
FIGURA 8-10. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE PML (%) POR ESTADO.....	160
FIGURA 8-11. VALORES EXPUESTOS POR USO	161
FIGURA 8-12. VALORES DE AAL POR SECTORES	162
FIGURA 8-13. RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN DE AAL POR SECTORES	163
FIGURA 8-14. VALORES EXPUESTOS POR SECTORES.....	164

FIGURA 8-15 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML PARA CONSTRUCCIONES PÚBLICAS	164
FIGURA 8-16. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y PARA CONSTRUCCIONES PRIVADAS ..	165
FIGURA 8-17. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML PARA EL SECTOR ENERGÍA ..	166
FIGURA 8-18. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML PARA EL SECTOR COMUNICACIONES.....	166
FIGURA 8-19. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML POR TERREMOTO PARA EL SECTOR DE VÍAS.....	167
FIGURA 8-20. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS Y DE PML PARA EL SECTOR HIDROCARBUROS	167
FIGURA 8-21. DISTRIBUCIÓN VALORES EXPUESTOS, INTENSIDAD DE AMENAZA Y PÉRDIDA...	169
FIGURA 8-22. CURVA DE AMENAZA.....	170
FIGURA 8-23. MAPA DE AMENAZA FRENTE A VALOR EXPUESTO	171
FIGURA 8-24. MAPA DE AMENAZA FRENTE A PÉRDIDA ANUAL ESPERADA	172
FIGURA 9-1. FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN PARA LOS PÓRTICOS EN CONCRETO RESISTENTES A MOMENTO	173
FIGURA 9-2. FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN PARA LOS SISTEMAS DUALES	174
FIGURA 9-3. FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN PARA LOS PÓRTICOS EN CONCRETO NO DÚCTILES	175
FIGURA 9-4. FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN PARA LOS PÓRTICOS EN ACERO	175
FIGURA 9-5. FUNCIONES DE INUNDACIÓN PARA LAS EDIFICACIONES EN MAMPOSTERÍA	176
FIGURA 10-1. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS PARA RIESGO POR INUNDACIÓN	178
FIGURA 10-2. CURVA DE PML PARA RIESGO POR INUNDACIÓN.....	178
FIGURA 10-3. CURVA DE PROBABILIDAD DE PÉRDIDA PARA DIFERENTES VENTANAS DE EXPOSICIÓN.....	179
FIGURA 11-1. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS DEL ANÁLISIS RETROSPECTIVO.....	181
FIGURA 11-2. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS DEL ANÁLISIS PROSPECTIVO	181
FIGURA 11-3. CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS HÍBRIDA	182

Lista de Tablas

TABLA 2-1. PRINCIPALES DESASTRES NATURALES REPORTADOS EN EM-DAT POR DAÑO ESTIMADO	18
TABLA 2-2. INTERVALO DE TIEMPO ENTRE CATEGORÍAS PARA LA AGRUPACIÓN	24
TABLA 2-3. RESUMEN DE AFECTACIÓN DESPUÉS DE LA AGRUPACIÓN	24
TABLA 2-4. COSTOS UNITARIOS	26
TABLA 2-5. PÉRDIDAS POR CATEGORÍA	28
TABLA 3-1. PARÁMETROS DE SISMICIDAD DE LAS FUENTES SÍSMICAS CONSIDERADAS	48
TABLA 3-2. PARÁMETROS DE SISMICIDAD DE LAS FUENTES SÍSMICAS CONSIDERADAS	60
TABLA 4-1. LISTADO DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS CON REGISTROS DIARIOS DISPONIBLES EN CERCANÍAS A LA CUENCA DE CHACAITO	95
TABLA 4-2. VALORES DE N PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO Y USOS DE LA TIERRA (COBERTURA)	102
TABLA 5-1. EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DE ENTIDADES SUBNACIONALES	108
TABLA 5-2. EJEMPLO DE CARACTERÍSTICAS DE LAS CIUDADES MÁS IMPORTANTES	108
TABLA 5-3. EJEMPLO DE BASE DE DATOS DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS CONSTRUIDAS POR UNIDAD SUBNACIONAL Y GRUPO DE USO	111
TABLA 5-4 EJEMPLO DE BASE DE DATOS DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS POR UNIDAD SUBNACIONAL Y GRUPO DE USO	112
TABLA 5-5. EJEMPLO: VALORES EN EXPOSICIÓN DE SISTEMA DE TRANSPORTE, DE SERVICIOS PÚBLICOS Y REDES	114
TABLA 5-6. EJEMPLO: VALORES EN EXPOSICIÓN DE SISTEMA DE TRANSPORTE, DE SERVICIOS PÚBLICOS Y REDES	114
TABLA 5-7. EJEMPLO: VALORES DE EXPOSICIÓN DE LA RED VIAL NACIONAL	116
TABLA 5-8. EJEMPLO: VALORES DE EXPOSICIÓN DE INFRAESTRUCTURA NACIONAL	116
TABLA 5-9. RESUMEN DE INDICADORES DEL MODELO DE ACTIVOS: INDICADORES PROXY	117
TABLA 5-10. RESUMEN DE INDICADORES DEL MODELO DE ACTIVOS: VALORES EXPUESTOS.	117
TABLA 5-10. RESUMEN DE INDICADORES DEL MODELO DE ACTIVOS: VALORES EXPUESTOS (CONTINUACIÓN)	118
TABLA 6-1. TIPOS DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD, TIPO ESTRUCTURAL Y PERIODO DE VIBRACIÓN	146
TABLA 7-1. RESULTADOS GENERALES DE PML	148
TABLA 7-2. ESCENARIOS CRÍTICOS DE ANÁLISIS	150
TABLA 10-1. RESUMEN DE RESULTADOS DE RIESGO POR INUNDACIÓN	177
TABLA 11-1. VALORES DE PÉRDIDA ANUAL ESPERADA SEGÚN EL ENFOQUE USADO PARA DETERMINAR LA CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS	180

Lista de Anexos

ANEXO 1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN RETROSPECTIVA DEL RIESGO POR FENÓMENOS NATURALES	189
ANEXO 2 ANÁLISIS ESPACIAL CON CURVAS PADF	208
ANEXO 3 RESULTADOS POR ENTIDADES SUBNACIONALES	215
ANEXO 4 HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR	240
ANEXO 5 RESULTADOS POR SECTORES	245
ANEXO 6 MODELO DE EXPOSICIÓN “PROXY”	252

Resumen¹

Una de las actividades fundamentales de la gestión del riesgo de desastres a nivel de país es la evaluación del riesgo de desastre. No obstante, pocas metodologías permiten realizar un análisis del riesgo a nivel nacional; primero, debido a la falta de información detallada que impide la conformación de bases de datos robustas para describir la exposición y, segundo, a la falta de metodologías que permitan modelar de manera integrada las amenazas, la vulnerabilidad de los elementos expuestos y el riesgo que se deriva de la convolución de ambas variables. Este informe presenta la evaluación del riesgo de desastres para Venezuela, para amenaza por terremoto a nivel nacional e inundaciones a nivel de cuenca. El objetivo principal es identificar y cuantificar el riesgo de desastres para Venezuela, utilizando un método que permita tener en cuenta las amenazas naturales en forma integral, que incluya una estimación de la exposición de los bienes de infraestructura, definición de vulnerabilidad específica de cada componente de dicha infraestructura y que finalmente permita la evaluación del riesgo mediante un proceso de cálculo probabilista del riesgo de desastres.

Código JEL: Q54

Palabras Claves: Desastres naturales; Modelo de Riesgo Probabilista (MRP); Pérdida Máxima Probable (PML); Vulnerabilidad sísmica; Inundaciones; Venezuela.

¹ Los autores de la presente Nota Técnica son Sergio Lacambra, Especialista Líder de Gestión del Riesgo de Desastres del BID (División Medioambiente, Desarrollo Rural y Gestión del Riesgo de Desastres: INE/RND); Tsuneki Hori, Especialista en Gestión del Riesgo de Desastres (INE/RND) y Ginés Suarez (INE/RND). El desarrollo y publicación de este documento fue financiado por medio de la Cooperación Técnica Regional RG-T2165, financiada por el Fondo Multidonante de Prevención de Desastres con contribuciones de Canadá, España, Japón y Korea. Los autores, además, desean agradecer a: Omar Darío Cardona (Ingeniar, Ltda.); Alex Horía Barbat (CIMNE), y Virginia Jimenez (consultor individual) por su gran contribución en el desarrollo de este estudio. Así como a Ivelisse Justiniano (INE/RND) por su asistencia técnica en la edición y publicación de la presente nota técnica.

Introducción

Una de las actividades fundamentales de la gestión del riesgo de desastres a nivel de país es la evaluación del riesgo de catástrofe, o de eventos extremos, para lo cual es necesario aplicar metodologías confiables que permitan una adecuada estimación y cuantificación del potencial de pérdidas en un tiempo de exposición determinado. No obstante, aunque se han desarrollado a nivel internacional diversas metodologías para la evaluación detallada del riesgo para diferentes tipos de amenazas naturales, pocas metodologías permiten realizar un análisis a nivel país por dos razones principales: primero, la falta de información detallada que impide la conformación de bases de datos robustas para describir la exposición y, segundo, la falta de metodologías que permitan modelar de manera integrada las amenazas, la vulnerabilidad de los elementos expuestos y el riesgo que se deriva de su respectiva convolución.

Para identificar y cuantificar el riesgo de desastres de un país es necesario utilizar e incluso desarrollar un método que permita tener en cuenta las amenazas naturales en forma integral, que incluya de la manera más completa, y en lo posible detallada, la exposición de los bienes de infraestructura –teniendo en cuenta sus principales características–, que permita tener en cuenta la vulnerabilidad específica de cada componente de dicha infraestructura y que finalmente permita la evaluación del riesgo mediante un proceso de cálculo probabilista apropiado que tenga en cuenta las incertidumbres propias de un proceso de este tipo, las inevitables limitaciones en la información y la capacidad cómputo electrónico.

En la mayoría de los casos es necesario utilizar ciertos enfoques o criterios de simplificación y agregación de información, debido a la ausencia de datos o a la inherente baja resolución de la información. Esta circunstancia en ocasiones significa sacrificar algunas características técnico-científicas o econométricas, como la exactitud y la completitud, consideradas en general como deseables e incluso como ineludibles cuando de riesgo se trata.

Este informe presenta la evaluación del riesgo de desastres para Venezuela, para amenaza por terremoto a nivel nacional e inundaciones a nivel de cuenca. La metodología probabilista utilizada es considerada la más robusta para este tipo de modelación e identifica los aspectos más importantes del riesgo de catástrofe con fines de protección financiera de acuerdo con la responsabilidad fiscal del Estado. Adicionalmente, los resultados del análisis pueden ser de especial utilidad para orientar las prioridades del país en materia de gestión del riesgo de desastres en general.

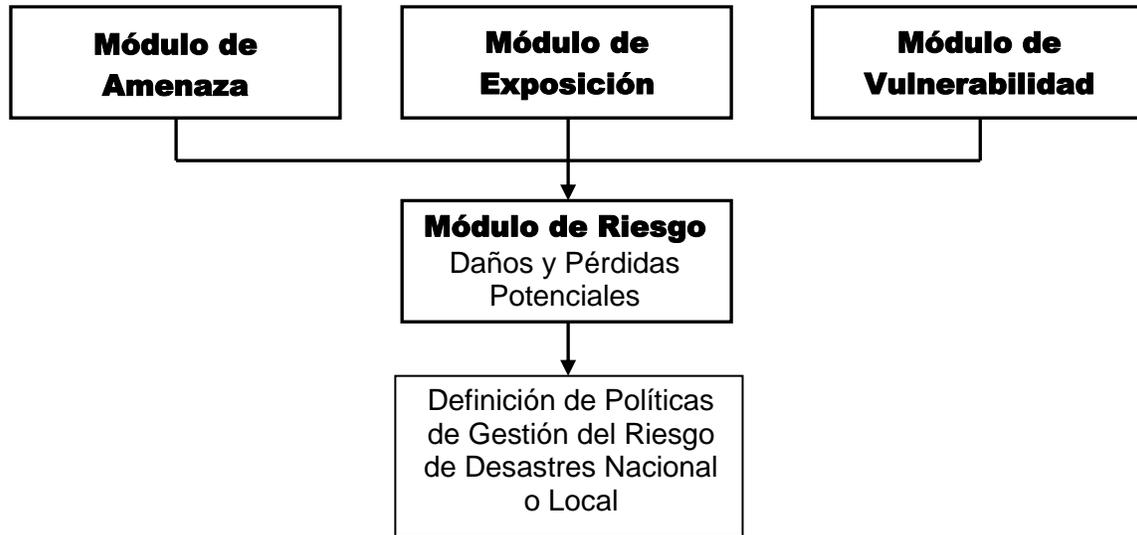
1. Metodología y Alcances

La frecuencia de eventos catastróficos es particularmente baja por lo cual la información histórica, en general, es muy limitada. Considerando las posibilidades de eventos de alta capacidad destructiva en el futuro, la estimación del riesgo debe enfocarse en modelos probabilistas los cuales pueden utilizar la limitada información histórica disponible para pronosticar, de la mejor manera posible, las consecuencias de futuros eventos considerando en forma simultánea las inevitables altas incertidumbres involucradas en los análisis.

Un país puede sufrir las consecuencias de diferentes tipos de eventos naturales; sin embargo, para efectos de esta evaluación se ha tenido en cuenta únicamente dos amenazas: terremotos e inundaciones. Sin desconocer los otros tipos de amenaza que pueden también generar eventos devastadores, el presente análisis se concentra en la amenaza que ha demostrado en el pasado puede generar eventos críticos y que en la mayoría de los casos contiene o serían superiores las pérdidas comparativamente a las que causan otros fenómenos más puntuales o de los que hay pocos indicios de que puedan ocurrir.

La estimación del riesgo debe ser prospectiva, anticipando eventos científicamente posibles que pueden ocurrir en el futuro. Para el caso de eventos sísmicos se utilizan bases sismológicas e ingenieriles, para desarrollar modelos de pronóstico de terremotos que permitan la estimación de daños, pérdidas y efectos de los terremotos como resultado de eventos catastróficos sobre los activos expuestos. Debido a las altas incertidumbres inherentes a los modelos de análisis con respecto a la severidad y a la frecuencia de ocurrencia de los eventos, el modelo de riesgo se basa en formulaciones probabilistas que incorporan dicha incertidumbre en la evaluación del riesgo. El modelo de riesgo probabilista (MRP), construido a partir de una secuencia de módulos, cuantifica las pérdidas potenciales tal como se ilustra en la Figura 1-1.

Figura 1-1. Esquema General del Análisis de Riesgo Probabilista



Los módulos de análisis tienen las siguientes funciones específicas:

- **Módulo de amenazas:** Este módulo permite calcular la amenaza asociada a todos los eventos factibles que podrían ocurrir, a un grupo de eventos seleccionados, o incluso, a un solo evento relevante. Para cada tipo de fenómeno natural, usando este módulo, es posible calcular el valor máximo probable de la intensidad que lo caracteriza para diferentes tasas de ocurrencia o períodos de retorno. En este módulo se produce, para cada tipo de amenaza, un archivo tipo AME (.ame de amenaza), en el cual se incluyen múltiples mallas o retículas, sobre el territorio estudiado, de los diferentes parámetros de intensidad de los fenómenos considerados. Cada malla es un escenario del nivel de intensidad alcanzado por eventos históricos o eventos generados en forma estocástica, con sus respectivas frecuencias de ocurrencia.

- **Módulo de exposición:** Este módulo da cuenta de la descripción de los elementos o activos expuestos que pueden ser afectados. Se basa en archivos en formato tipo *shape* que corresponden a la infraestructura expuesta que va a ser incluida en el análisis de riesgo. La información requerida para estos archivos es la siguiente:

- o Tipo/material de construcción
- o Localización
- o Valor expuesto

En este caso el módulo de exposición se ha desarrollado con base en un modelo *proxy* o descripción simplificada y agregada de los activos expuestos.

- **Módulo de vulnerabilidad:** Este módulo permite la generación de funciones de vulnerabilidad con base en la modificación o utilización directa de funciones ya existentes que se seleccionan a partir de una librería de funciones, o mediante la generación de nuevas funciones a partir de información específica de la clase de estructura que tiene para resistir o hacer frente al fenómeno cada activo o elemento expuesto considerado. La asignación de la función de vulnerabilidad a cada uno de los elementos expuestos se realiza sobre el archivo en el formato *shape* procesado en el módulo de exposición.
- **Módulo de riesgo:** Este módulo realiza la convolución de la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de evaluar el riesgo o las consecuencias o efectos potenciales. El riesgo puede expresarse en general en términos de daño o efectos físicos, pérdida económica absoluta o relativa y/o efectos sobre la población. El presente estudio enfoca solo en términos de danos físicos esperados y su valoración económica.

Una vez estimado el daño físico esperado (valor potencial promedio y su dispersión) en porcentaje para cada uno de los activos o componentes de infraestructura incluidos en el análisis, es posible realizar estimativos de diferentes parámetros o métricas útiles para el análisis propuesto resultado de obtener la curva de probabilidad de excedencia

de pérdidas (LEC o Loss Exceedance Curve en inglés). Este estudio se concentra, entonces, en la evaluación del riesgo del país (en general, por unidades geográficas y por sectores) debido a la amenaza sísmica, utilizando como medida la Perdida Máxima Probable (PML o Probable Maximum Loss, en inglés) para diferentes periodos de retorno y la Pérdida Anual Esperada (AAL o Average Annual Loss, en inglés) o prima técnica de riesgo. Con base en estos resultados, se estima el riesgo específico a nivel de país o a nivel de cuenca dependiendo de tipos de amenazas y la concentración del riesgo. Los valores de PML y AAL son los principales resultados de este informe. Estas medidas o métricas son de especial importancia para el futuro diseño de obras de mitigación, instrumentos de retención (financieros) o transferencia de riesgo, y por lo tanto serán un aporte de especial valor para definir con estudios complementarios una estrategia de gestión del riesgo de desastres del Estado.

2. Desastres Históricos

2.1 Mayores Desastres Recientes

La República Bolivariana de Venezuela ha sido impactada por diferentes tipos de desastres a lo largo de los años, siendo las inundaciones los eventos más frecuentes (ver Tabla 2-1). Seis de los desastres más costosos reportados en la base de datos EM-DAT son inundaciones. La base de datos internacional de desastres EM-DAT, recopila información de desastres cuando estos han alcanzado alguno de los parámetros establecidos, entre los que se encuentran la declaración del estado de emergencia o la solicitud de asistencia internacional.

Tabla 2-1. Principales Desastres Naturales Reportados en EM-DAT por Daño Estimado

Año	Tipo de Desastre	Muertos	Pob. Total Afectada	Daño Estimado (Bs\$ Millones) ²
1999	Inundación	30,000	483,635	157,684
2010	Inundación	41	94,800	8,483
2012	Inundación	-	11,000	4,641
1997	Sismo	80	4,183	4,042
1967	Sismo	240	81,536	2,495
2005	Inundación	76	25,042	2,495
2011	Inundación	8	2,000	798
1981	Sismo	15	-	250
1993	Tormenta tropical	100	5,900	250
1967	Inundación	-	23,000	200

Fuente: EM-DAT, la base de datos internacional de desastres OFDA/CRED – www.emdat.be, Université Catholique de Louvain, Bruselas, Bélgica.

² Dado que la base de datos EM-DAT almacena los valores de pérdidas en USD, fue necesario emplear la tasa de cambio (49.9Bs/USD según SICAD II) para convertir dichos valores a Bolívares.

La Figura 2-1 ilustra los daños causados en la Urbanización Los Corales, en la zona urbana de la Cuenca del río San Julián, de la parroquia Caraballeda en el estado de Vargas, en diciembre de 1999. La Figura 2-2 muestra la inundación ocurrida en el 2010 en el pueblo de Macanilla en el estado Miranda. La Figura 2-3 y la Figura 2-4 ilustran parte de los daños causados por los terremotos de 1967 ocurrido en Caracas, Distrito Capital y de 1997 ocurrido en Cariaco, estado Sucre. La Figura 2-5 muestra parte de los daños del evento ocurrido en el 2005 en Santa Cruz de Mora, en el estado Mérida.

Figura 2-1. Deposito del Flujo de Lodo de Diciembre de 1999 sobre la Urbanización los Corales en la Zona Urbana de la Cuenca del Río San Julián (Vargas)



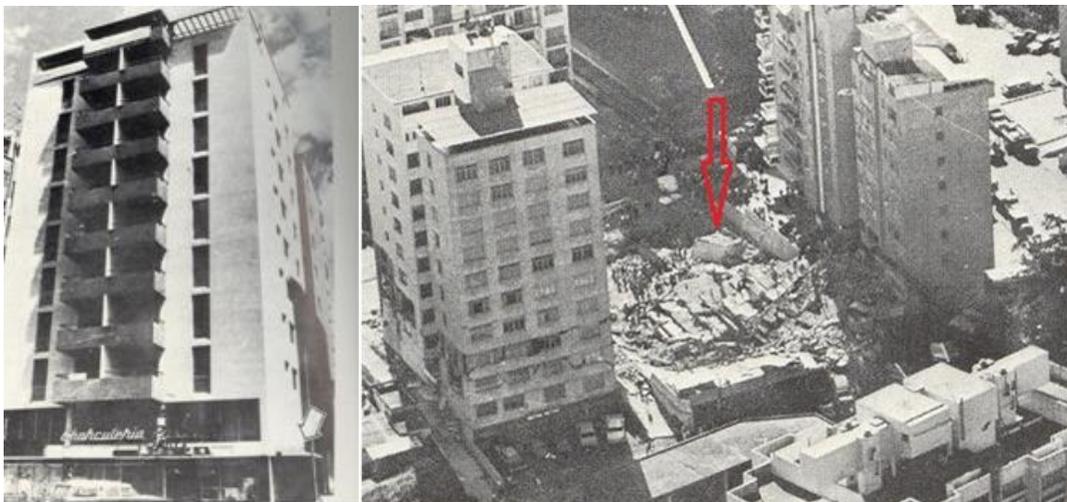
Fuente: Lawson Smith (US ACE); descargada de: <http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0144/>

Figura 2-2. Inundación en el Pueblo de Macanilla del Estado Miranda en el 2010



Fuente: AFP; descargada de: <http://www.elmundo.es/america/2010/12/03/venezuela/1291405343.html>

Figura 2-3. Colapso del Edificio San José en el Terremoto de 1967 en Caracas, Distrito Capital



Fuente: Espinosa y Algermissen

Figura 2-4. Afectación por el Terremoto de 1997 en la Escuela Básica Valentín Valiente de Cariaco, Estado Sucre



Fuente: FUNVISIS

Figura 2-5. Afectación en Santa Cruz de Mora, Estado Mérida en Febrero de 2005



Fuente: Laffaille, Ferrer y Dugarte, 2005

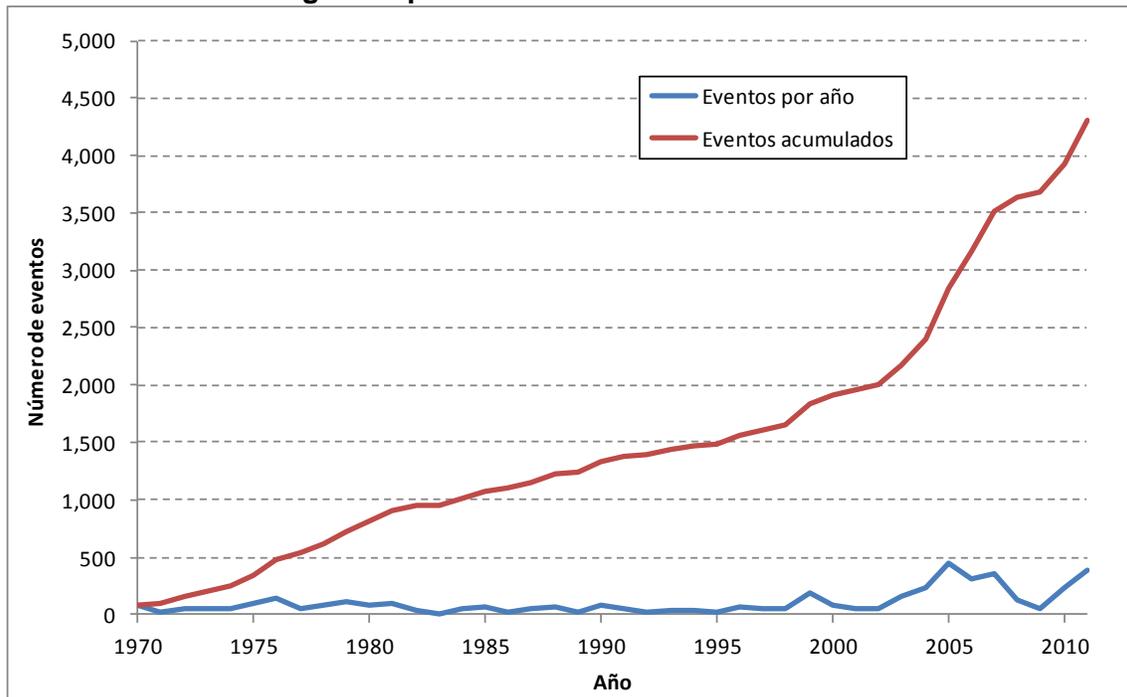
Empleando la metodología de análisis retrospectivo del riesgo, la cual se presenta en detalle en el Anexo 1, es posible estimar el impacto que han tenido otros desastres, los cuales han sido almacenados en la base de datos de desastres local DesInventar y

para los cuales no se cuenta con el nivel de detalle necesario para obtener diferentes métricas del riesgo.

2.1.1 Base de Datos de Desastres

La base de datos de desastres de la República Bolivariana de Venezuela, contiene registros que datan desde 1530 hasta 2012. Debido a que representa un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente, se seleccionó un periodo de análisis entre los años 1970 a 2011. La Figura 2-6 ilustra la evolución del número de eventos registrados para cada año.

Figura 2-6. Número de Registros por Año



Se requiere clasificar los eventos existentes en una de las siguientes categorías:

- Tectónicos: relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
- Deslizamientos: eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.

- Volcánicos: eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
- Sequía: eventos hidrometeorológicos en los que la afectación es debido a la ausencia extrema de humedad en la atmósfera.
- Hidrometeorológicos: eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros en los que la afectación sea debido a la condensación del aire.
- Huracán: Eventos climáticos extremos como huracanes, ciclones y tormentas tropicales.

2.1.2 Agrupación

La base de desastres DesInventar³ almacena las consecuencias reportadas de los diferentes eventos a nivel de parroquias, lo que en general permite un análisis a nivel local del comportamiento de los desastres debidos a fenómenos naturales. Lo anterior significa que es necesario definir reglas temporales y espaciales, mediante las cuales diferentes registros serán agrupados en un único evento. La agrupación se realiza de manera espacial sobre los registros que comparten el mismo estado. La Tabla 2-2 muestra los intervalos de tiempo para la agrupación de registros de la misma categoría, así mismo, muestra los intervalos de tiempo mediante los cuales registros de diferentes categorías, asumiendo una relación causa-efecto, serán agrupados.

³ <http://online.desinventar.org/>

Tabla 2-2. Intervalo de Tiempo Entre Categorías para la Agrupación

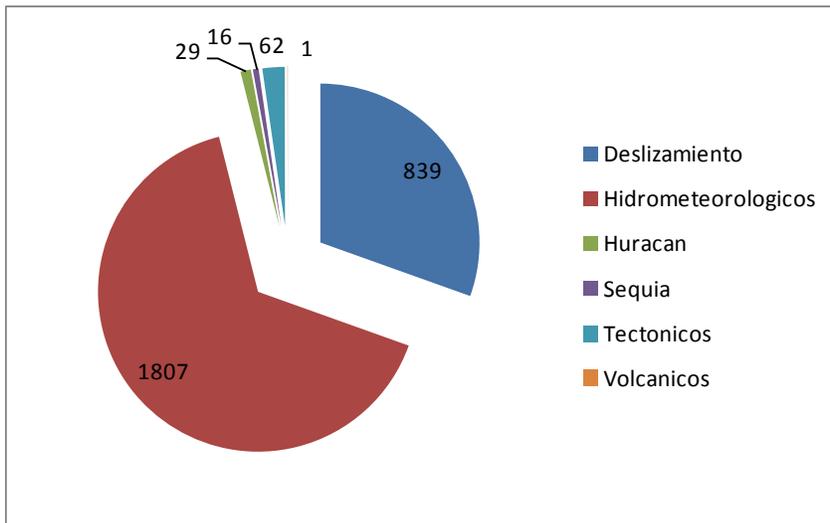
Categoría Detonante	Categoría Causada	Intervalo [días]
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	3
Huracán	Hidrometeorológicos	5
Huracán	Huracán	5
Sequía	Sequía	1
Tectónicos	Deslizamientos	2
Tectónicos	Tectónicos	1
Volcánicos	Volcánicos	1

De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación, los cuales se presentan en la Tabla 2-3. En la Figura 2-7 se puede notar cómo los desastres hidrometeorológicos son los principales causantes de pérdidas físicas y humanas. Los deslizamientos muestran una contribución importante en las pérdidas por fenómenos naturales, y aunque en muchos casos estos puedan haber sido causados por eventos hidrometeorológicos, la información disponible en la base de datos no permitió generar dicha relación.

Tabla 2-3. Resumen de Afectación Después de la Agrupación

Categoría	Registros	Heridos	Muertos	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruídas
Deslizamiento	839	23	743	13,603	11,979
Hidrometeorológicos	1,807	337	3,402	246,414	97,033
Huracán	29	0	91	1,540	200
Sequía	16	0	0	0	0
Tectónicos	62	16	190	1,055	1,235
Volcánicos	1	0	0	0	0

Figura 2-7. Distribución de la Afectación Total por Categoría Después de la Agrupación



2.1.3 Valoración y Curva de Excedencia de Pérdidas

El último paso del análisis corresponde a la valoración económica de las consecuencias de los registros agrupados. La valoración económica de los registros agrupados se realiza estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales, considerando que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas con una vivienda de interés social y ayudara en la reparación de las viviendas afectadas. La Tabla 2-4 presenta un resumen de los diferentes costos unitarios empleados de los daños considerados para la valoración económica de los desastres de la base de datos.

Tabla 2-4. Costos Unitarios

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas	Centros Educativos⁴	Centros de Salud⁵	Vías⁶
Área [m ²]	45	45	75	48	-
Valor/m ² [Bs] ⁷	21,602	21,602	21,602	21,602	-
Urbanismo [%] ⁸	0%	40%	40%	40%	-
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	-
Costo por Unidad [\$Bs/Unidad]	243,026	1,360,947	2,268,245	1,451,677	6,088

Empleando los registros obtenidos es posible mostrar el comportamiento de pérdidas económicas causadas anualmente por cada una de las categorías de análisis. La Figura 2-8 muestra la pérdida económica anual para cada categoría y en ella puede observarse como los fenómenos hidrometeorológicos son los que históricamente han aportado la mayor afectación. Es importante anotar que la evaluación de las pérdidas de los desastres busca obtener un valor mínimo que cada uno de los desastres pudo haber causado en la sociedad y que por tanto los resultados no son comparables con la información proveniente de EM-DAT mostrada en la Tabla 2-1, ni con evaluaciones más exhaustivas, como el informe de la CEPAL “Los Efectos Socioeconómicos de las Inundaciones y Deslizamientos en Venezuela en 1999” (CEPAL, 2000).

⁴ Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m, y una zona administrativa de 15 m².

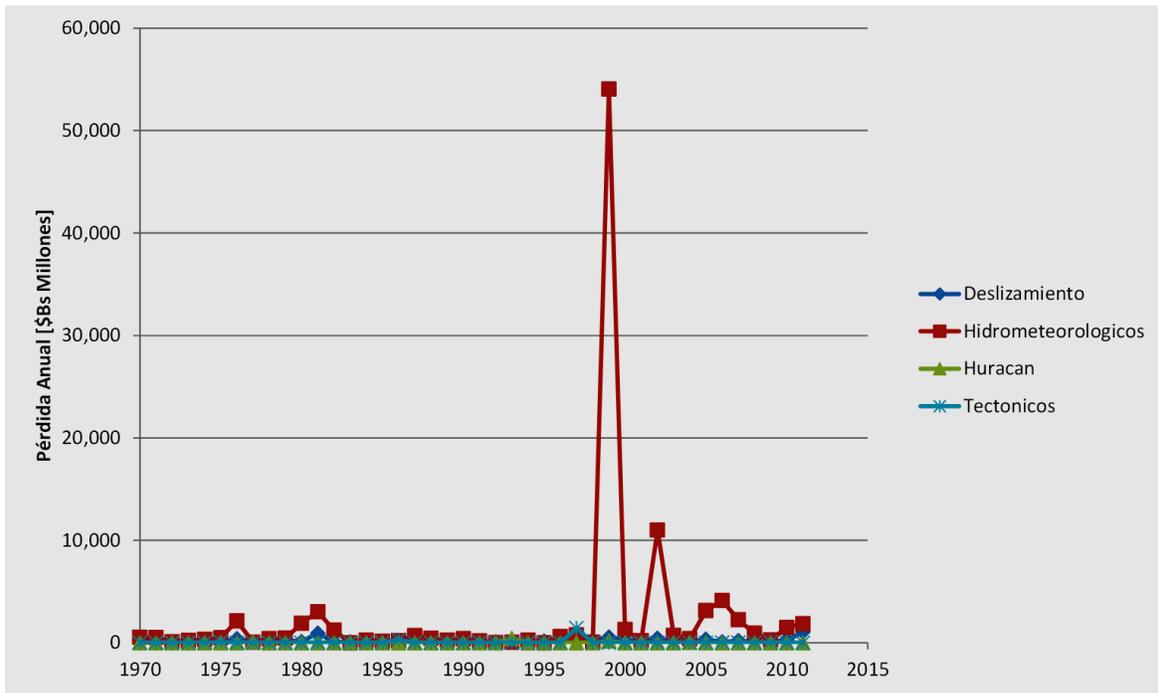
⁵ Área estimada considerando una sala de espera (3 x 4), una zona de atención medica de urgencias básicas y primeros auxilios (5 x 4) y áreas de almacenamiento (insumos médicos y mantenimiento).

⁶ El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional.

⁷ Se estima un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente 1.18% PIBPC + 15,206.52.

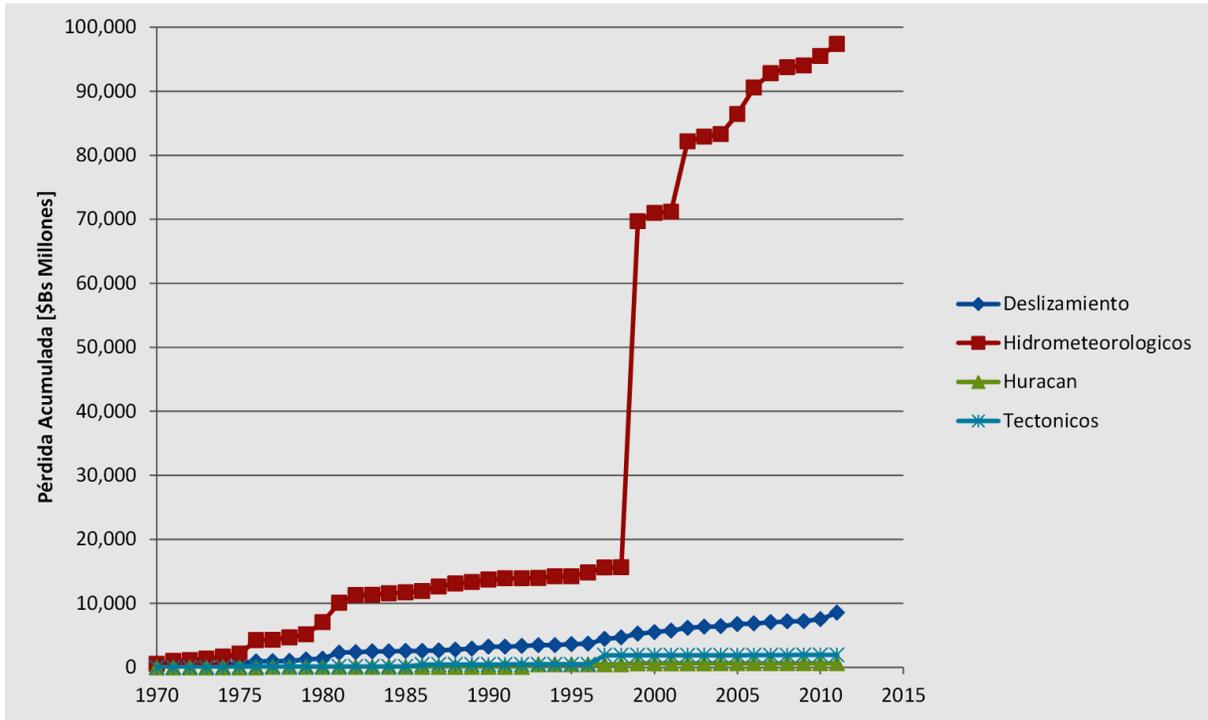
⁸ Entre los costos que engloba este concepto están: Servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.

Figura 2-8. Costo Anual de los Desastres Naturales por Categoría



La Figura 2-9 muestra las pérdidas económicas acumuladas para cada una de las diferentes categorías, este es el monto total estimado de recursos que durante el periodo de análisis (1970 a 2011) hubieran sido necesarios para recuperar los bienes impactados.

Figura 2-9. Costo Acumulado de los Desastres Naturales por Categoría



Finalmente, conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla 2-4 y a la afectación presentada en la Tabla 2-3 para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla 2-5 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría. Las Figuras 2-10 y 2-11 presentan las curvas de excedencia de pérdidas por categoría y totales, respectivamente.

Tabla 2-5. Pérdidas por Categoría

Categoría	Eventos	Eventos por Año	Pérdida Acumulada [\$Bs]	Pérdida Anual [\$Bs]	Pérdida Promedio por Evento [\$Bs]
Deslizamiento	839	20	8,544,304,645	203,435,813	10,183,891
Hidrometeorológicos	1,807	43	97,350,368,531	2,317,865,92	53,874,036
Huracán	29	1	650,361,470	15,484,818	22,426,258
Sequía	16	0	1,094,806	26,048	68,413
Tectónicos	62	1	1,954,016,236	46,524,215	31,516,391
Volcánicos	1	0	0	0	0
TOTAL 42 años	2,754	65	108,500,145,688	2,583,336,82	39,397,298

Figura 2-10. Curva de Excedencia de Pérdidas por Categoría

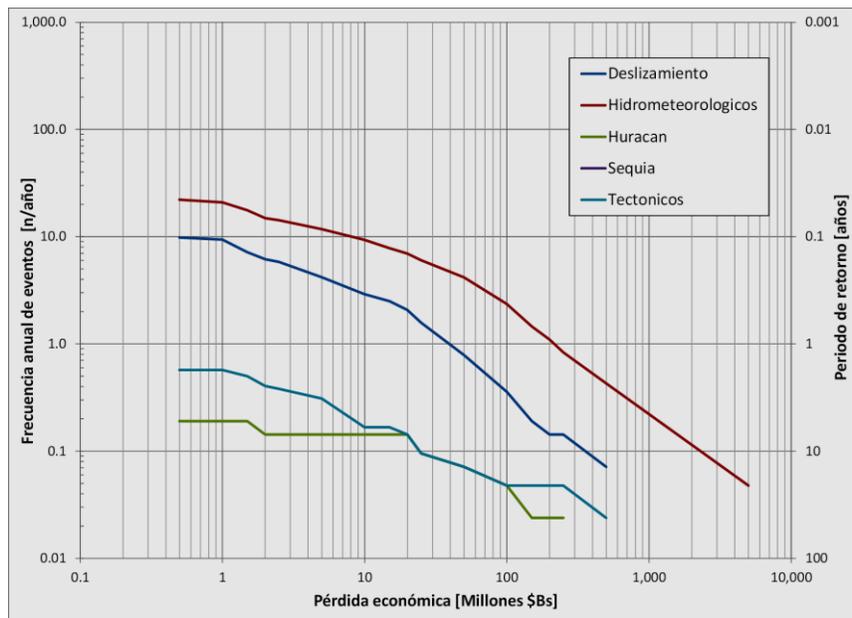
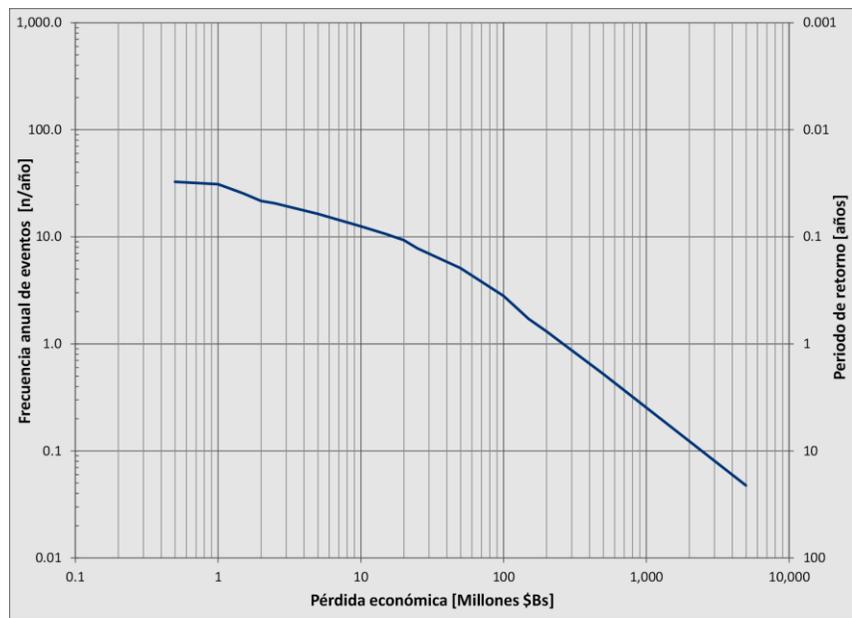


Figura 2-11. Curva de Excedencia de Pérdidas Totales



3. Evaluación Probabilista de la Amenaza Sísmica

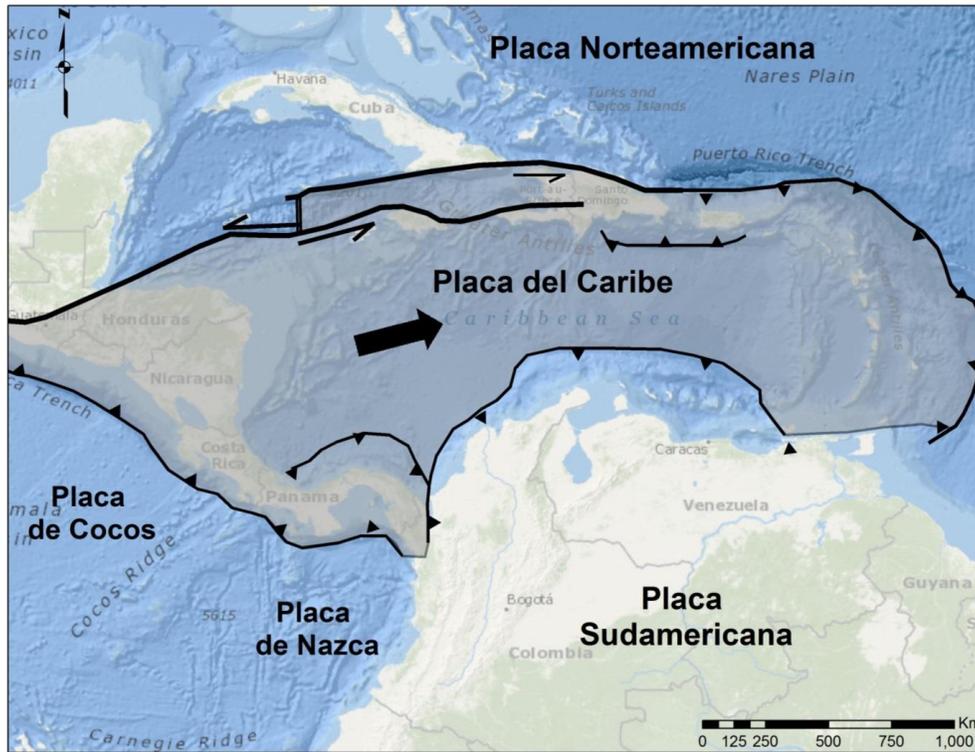
Este capítulo presenta la evaluación probabilista de la amenaza sísmica para la República Bolivariana de Venezuela utilizando un modelo de plano fuente con la información disponible. A partir de la sismotectónica de la región, estudios previos y la sismicidad registrada e histórica, se definieron una serie de fuentes sismogénicas, las cuales cubren la totalidad del territorio nacional y permiten dar cuenta de las condiciones de sismicidad generales y su variación regional.

3.1 Descripción del Entorno Local

3.1.1 Sismotectónica en la República Bolivariana de Venezuela

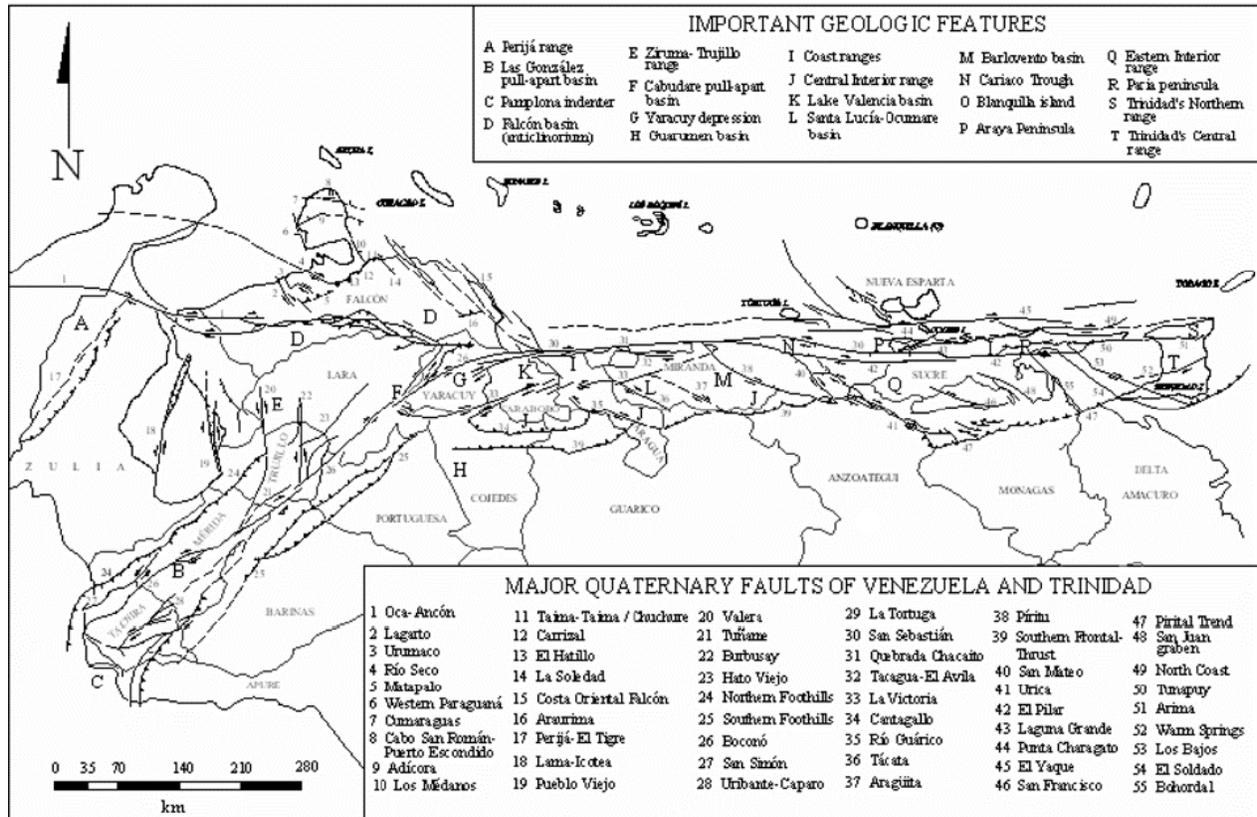
La sismotectónica de la República Bolivariana de Venezuela, es controlada principalmente por la interacción entre las Placas Norteamericana, Sudamericana y del Caribe. En la interfaz de estas dos placas se genera un sistema tectónico complejo con un gran número de fallas que crea una franja sísmicamente activa a lo largo del límite de placa. La Figura 3-1 muestra el contexto sismotectónico de esta región del Caribe. La Figura 3-2 muestra los lineamientos de las fallas presentes en la República Bolivariana de Venezuela.

Figura 3-1. Entorno tectónico de la República Bolivariana de Venezuela



Fuente: Adaptado de Placas Tectónicas, 2010.

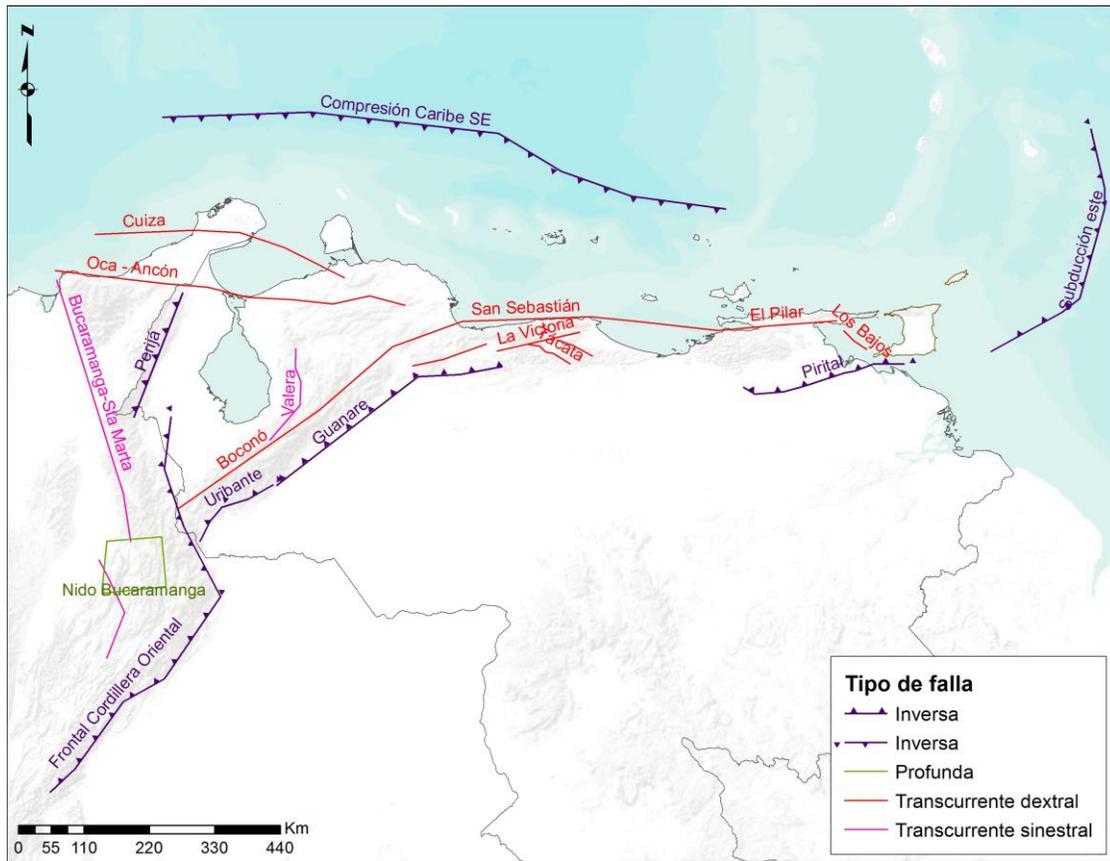
Figura 3-2. Fallas y Lineamientos en la República Bolivariana de Venezuela



Fuente: Audemard et al., 2006.

A partir del contexto tectónico presentado en la Figura 3-2 es posible identificar trazos generalizados que agrupan las pequeñas fallas en fuentes sismogénicas principales. La Figura 3-3 muestra estas estructuras principales.

Figura 3-3. Sistemas de Fallas Principales en la República Bolivariana de Venezuela



Fuente: Adaptado de Audemard et al., 2000; Audemard et al., 2006; Veloza et al., 2012.

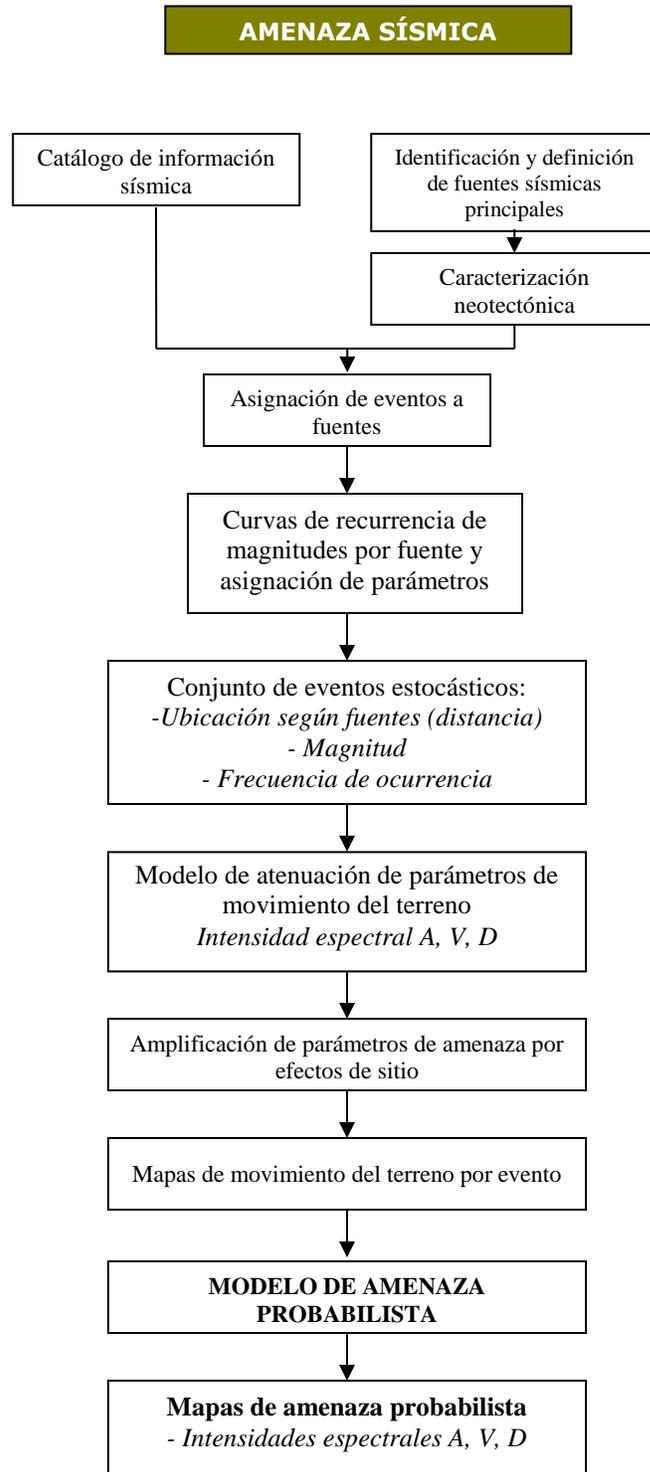
3.1.2 Procedimiento de Análisis

La Figura 3-4 presenta un diagrama de flujo con los principales elementos del modelo de amenaza sísmica aplicado. Los pasos principales de la metodología utilizada son los siguientes:

- (1) **Definición y caracterización de las fuentes sismogénicas principales:** a partir de la información geológica y neotectónica recolectada, así como estudios previos, se definen geoméricamente las principales fuentes sismogénicas.
- (2) **Asignación de parámetros de sismicidad a las diferentes fuentes sísmicas:** con base en el catálogo sísmico histórico, y estudios previos realizados, se asignan los parámetros de sismicidad a cada fuente sismogénica identificada.

- (3) **Generación de un conjunto de eventos estocásticos compatible con la distribución de ubicación, profundidad, frecuencias y magnitudes:** a partir de toda la información anterior, se generan un conjunto de eventos sísmicos posibles por medio de un muestreo basado en división recursiva de la geometría de las fuentes, y asignación de parámetros de sismicidad a cada segmento de manera ponderada según su aporte de área en el área total. Para cada segmento se generan una serie de escenarios de diversas magnitudes, cuyas probabilidades de ocurrir se calculan a partir la curva de recurrencia de magnitudes específica de esa fuente.
- (4) **Modelo de atenuación de parámetros de movimiento del terreno:** con base en información recolectada, estudios previos y el estado del conocimiento actual acerca de las funciones de atenuación espectrales, se definen las funciones de atenuación apropiadas.
- (5) **Generación de mapas de amenaza de eventos representativos:** se generan los mapas de distribución espacial de intensidad sísmica, de acuerdo con sus valores máximos y espectrales.
- (6) **Amplificación de parámetros de amenaza por efectos de sitio:** la respuesta dinámica de depósitos de suelo modifica las características del movimiento en amplitud, contenido frecuencial y duración. El efecto de amplificación y deamplificación de los parámetros de amenaza por efecto de los depósitos de suelo blando superficiales se cuantifica de diversas formas. Es común hacerlo por medio de la propagación de ondas de corte por los estratos de suelo.
- (7) **Aplicación del modelo de probabilístico de amenaza sísmica:** obtención de mapas de amenaza sísmica para diferentes parámetros de intensidad. Los mapas se calculan para diferentes periodos de retorno de análisis.
- (8) **Parámetros de movimiento del terreno:** los parámetros de movimiento del terreno que mejor representan los daños eventuales en obras de infraestructura son los siguientes:
- Aceleración máxima del terreno.
 - Aceleraciones espectrales para diferentes periodos estructurales de vibración.

Figura 3-4. Diagrama de Flujo del Módulo de Amenaza Sísmica



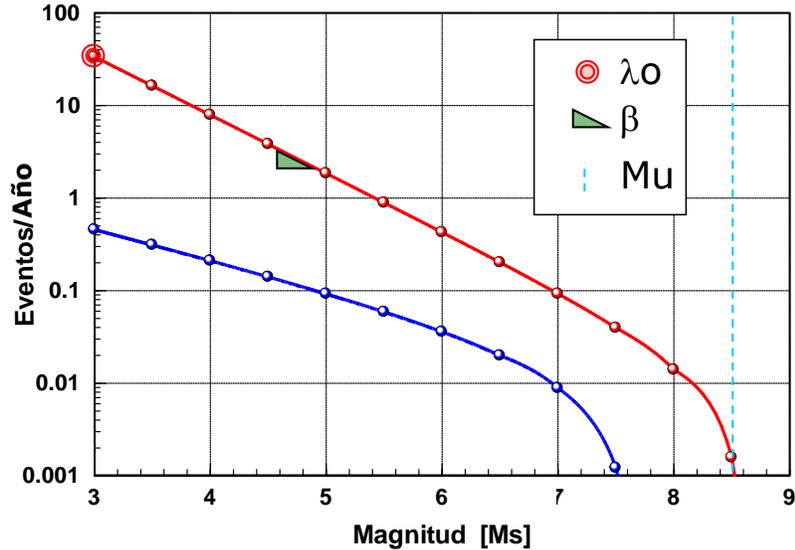
3.1.3 Parámetros de Sismicidad de las Fuentes Sismogénicas

La actividad de la i -ésima fuente sísmica se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes, $\lambda_i(M)$, generadas por esta fuente. La tasa de excedencia de magnitudes mide qué tan frecuentemente se generan temblores con magnitud superior a una específica. Para la mayor parte de las fuentes sísmicas, la función $\lambda_i(M)$ es una versión modificada de la relación de Gutenberg y Richter (G-R). En estos casos, la sismicidad queda descrita de la siguiente manera (Cornell, 1968):

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_U}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_U}} \quad (\text{Ec. 1-1})$$

donde M_0 es la mínima magnitud relevante. λ_0 , β , y M_U son parámetros que definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas. Estos parámetros, diferentes para cada fuente, se estiman por medio de procedimientos estadísticos, que incluyen información sobre regiones tectónicamente similares a las del país, más información experta, especialmente sobre el valor de M_U , la máxima magnitud que puede generarse en cada fuente. La Figura 3-5 presenta a manera de ejemplo dos curvas de recurrencia para dos fuentes sismogénicas diferentes.

Figura 3-5. Tasas de Excedencia de Fuentes para el Modelo de Sismicidad de Poisson



3.1.4 Atenuación de los Parámetros de Amenaza

Una vez determinada la tasa de actividad de cada una de las fuentes sísmicas, es necesario evaluar los efectos que, en términos de intensidad sísmica, produce cada una de ellas en un sitio de interés. Para ello se requiere saber qué intensidad se presentaría en el sitio en cuestión, hasta ahora supuesto en terreno firme, si en la i -ésima fuente ocurriera un temblor con magnitud dada. A las expresiones que relacionan magnitud, posición relativa fuente-sitio e intensidad sísmica se les conoce como *leyes de atenuación*. Usualmente, la posición relativa fuente-sitio se especifica mediante la distancia focal, es decir, la distancia entre el foco sísmico y el sitio. Las leyes de atenuación pueden adoptar formas muy diversas. En este caso se utilizan diversas leyes de atenuación dependiendo del tipo de sismo. Como se verá más adelante, se considera que las intensidades sísmicas relevantes son las ordenadas del espectro de respuesta a , (pseudoaceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico), cantidades que son aproximadamente proporcionales a las fuerzas laterales de inercia que se generan en las estructuras durante sismos.

La intensidad sísmica no está exenta de incertidumbre por lo que no puede considerarse como una variable determinista. Por esta razón, se supone que la intensidad sísmica a es una variable aleatoria de distribución log-normal con mediana dada por la ley de atenuación y desviación típica del logaritmo natural igual a σ_{lna} . Dentro de los análisis desarrollados se clasifican las fuentes sísmicas en dos grupos; fuentes activas o intraplaca y fuentes de subducción. A cada uno de estos tipos de fuentes está asociada una ley de atenuación diferente.

Se utilizan leyes de atenuación espectrales que toman en cuenta el hecho de que la atenuación es diferente para ondas de diferentes frecuencias, con lo cual es posible calcular el espectro de respuesta esperado dadas una magnitud y una distancia.

3.2 Cálculo de la Amenaza Sísmica

Una vez conocidas la sismicidad de las fuentes y los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, puede calcularse la amenaza sísmica considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura. La amenaza, expresada en términos de las tasas de excedencia de intensidades a , se calcula mediante la siguiente expresión (Ordaz, 2000):

$$v(a) = \sum_{n=1}^N \int_{M_0}^{M_U} -\frac{\partial \lambda}{\partial M} \Pr(A > a | M, R_i) dM \quad (\text{Ec. 1-2})$$

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas N , y $\Pr(A > a | M, R_i)$ es la probabilidad de que la intensidad exceda un cierto valor, dadas la magnitud del sismo M , y la distancia entre la i -ésima fuente y el sitio R_i . Las funciones $\lambda_i(M)$ son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas. La integral se realiza desde M_0 hasta M_U , lo que indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes.

Conviene hacer notar que la ecuación anterior sería exacta si las fuentes sísmicas fueran puntos. En realidad son volúmenes, por lo que los epicentros no sólo pueden ocurrir en los centros de las fuentes sino, con igual probabilidad, en cualquier punto dentro del volumen correspondiente. Se debe tomar en cuenta esta situación subdividiendo las fuentes sísmicas en triángulos, en cuyo centro de gravedad se considera concentrada la sismicidad del triángulo. La subdivisión se hace recursivamente hasta alcanzar un tamaño de triángulo suficientemente pequeño como para garantizar la precisión en la integración de la ecuación anterior.

En vista de que se supone que, dadas la magnitud y la distancia, la intensidad tiene distribución lognormal, la probabilidad $\Pr(A > a | M, R_i)$ se calcula de la siguiente manera (Ordaz, 2000):

$$\Pr(A > a | M, R_i) = \Phi \left(\frac{1}{\sigma_{Lna}} \ln \frac{\text{MED}(A | M, R_i)}{a} \right) \quad \text{(Ec. 1-3)}$$

siendo (ϕ) la distribución normal estándar, $\text{MED}(A | M, R_i)$ la mediana de la intensidad (dado por la ley de atenuación correspondiente) y σ_{Lna} su correspondiente desviación estándar.

Los cálculos de la amenaza sísmica se han realizado utilizando el programa de cálculo CRISIS 2007 V7.6 (Ordaz et al., 2007) que corresponde al módulo de amenaza sísmica de la Plataforma CAPRA⁹.

3.2.1 Modificación de los Parámetros de Amenaza por Efectos de Sitio

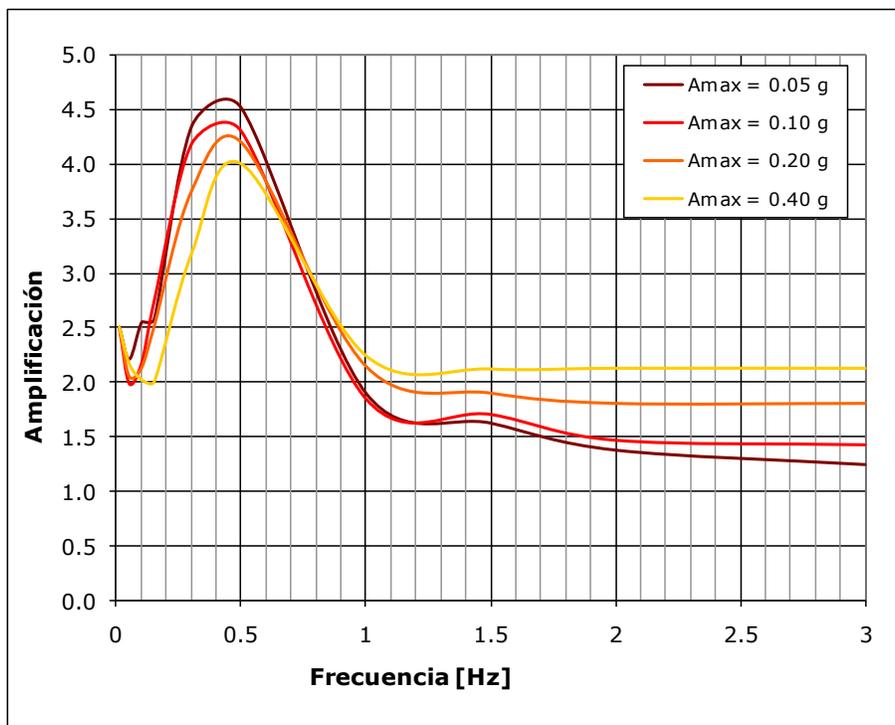
Durante un sismo, se presentan principalmente dos tipos de respuesta de sitio que pueden llegar a producir problemas de consideración. Uno en el que el suelo modifica el

⁹ www.ecapra.org

contenido frecuencial y la amplitud del sismo, haciéndolo más o menos destructivo; en el otro el suelo mismo falla y se fisura, moviéndose horizontal y verticalmente.

El comportamiento dinámico de depósitos estratificados se modela mediante funciones de transferencia espectrales, las cuales permiten conocer el valor de amplificación por el cual se deben modificar las aceleraciones espectrales calculadas a nivel de terreno firme. Estas funciones de transferencia deben construirse para diferentes valores de aceleración máxima del terreno, con el fin de tener en cuenta el efecto no lineal de degradación de los suelos. En la Figura 3-6 se presenta una función de transferencia espectral típica.

Figura 3-6. Función de Amplificación Espectral Típica de un Suelo Blando



A partir de la función de amplificación definida para el sitio de análisis, las aceleraciones espectrales a nivel de superficie Sa_{sup} , se calculan como:

$$Sa_{sup} = A_{Amax} \cdot Sa_{ff} \quad (\text{Ec. 1-4})$$

donde A_{Amax} es el nivel de amplificación calculado para un valor de A_{max} (aceleración máxima del terreno firme) dado, y Sa_{ff} es la aceleración espectral calculada a nivel del terreno firme, empleando el modelo de amenaza sísmica.

3.3 Información Empleada en la Modelación

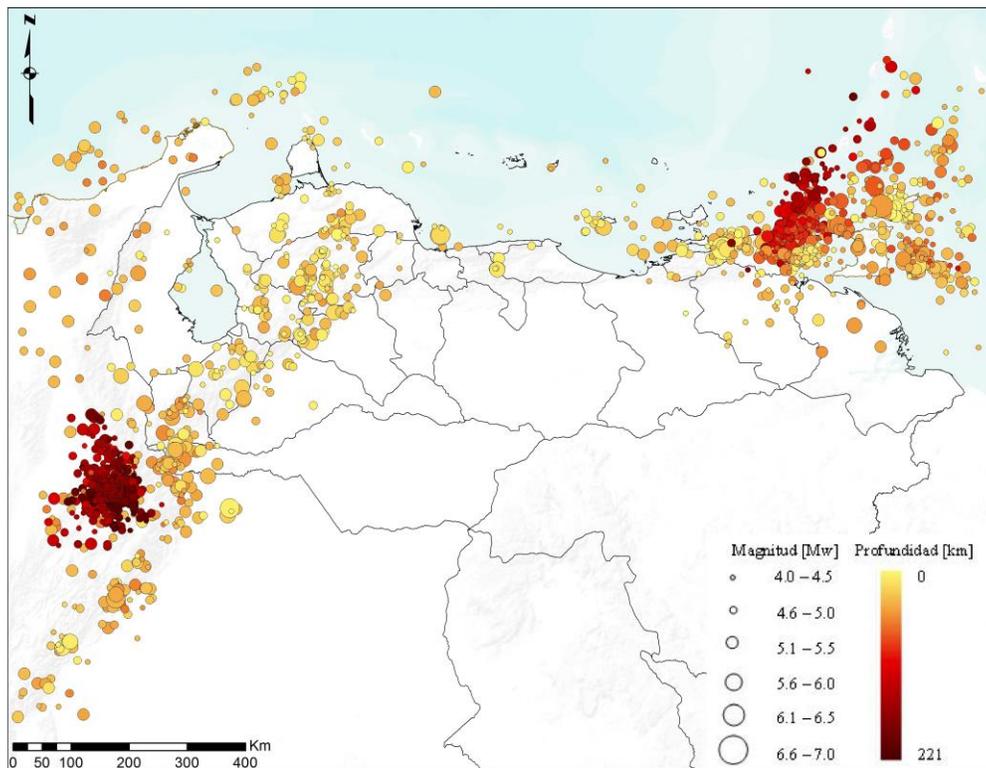
3.3.1 Catálogo Sísmico

Para la realización de este estudio se contó con dos catálogos de eventos sísmicos; el primero correspondiente al United States Geological Survey (USGS, 2013) y el segundo al International Seismological Centre (ISC), el cual fue realizado dentro del proyecto Global Earthquake Model (GEM) (Storchak et al., 2013). Ambos catálogos fueron examinados, realizando las debidas revisiones para determinar la calidad y completitud de la información contenida en cada uno de ellos.

Una vez se realizó el proceso de unión de los catálogos se realizó un análisis de completitud de los eventos para diferentes valores umbral de magnitud. Para esto, se ha seguido el procedimiento propuesto por Tinti y Mulargia (1985) en el cual anualmente se acumulan de manera gráfica el número de eventos que igualan o exceden la magnitud umbral y así entonces, determinar el año a partir del cual la pendiente de la curva se mantiene constante. Se dice entonces que el catálogo está completo para la magnitud M_0 a partir del año encontrado, y son los eventos dentro de esta ventana de tiempo los que se consideran para el proceso de caracterización y parametrización de las fuentes sismogénicas.

El catálogo utilizado para este estudio consta de 2,969 eventos registrados dentro del territorio nacional pero también considerando aquellos ocurridos en países fronterizos, entre 74.5°O y 59.5°O de longitud y 0.5°N y 13.5°N de latitud. El catálogo abarca el periodo de tiempo entre 1973 y el 31/12/2013. Se ha seleccionado una magnitud umbral de 4.0 y en los registros del catálogo se ha encontrado una máxima de ($M_W=7.0$). La Figura 3-7 muestra los eventos presentes en el catálogo sísmico utilizado.

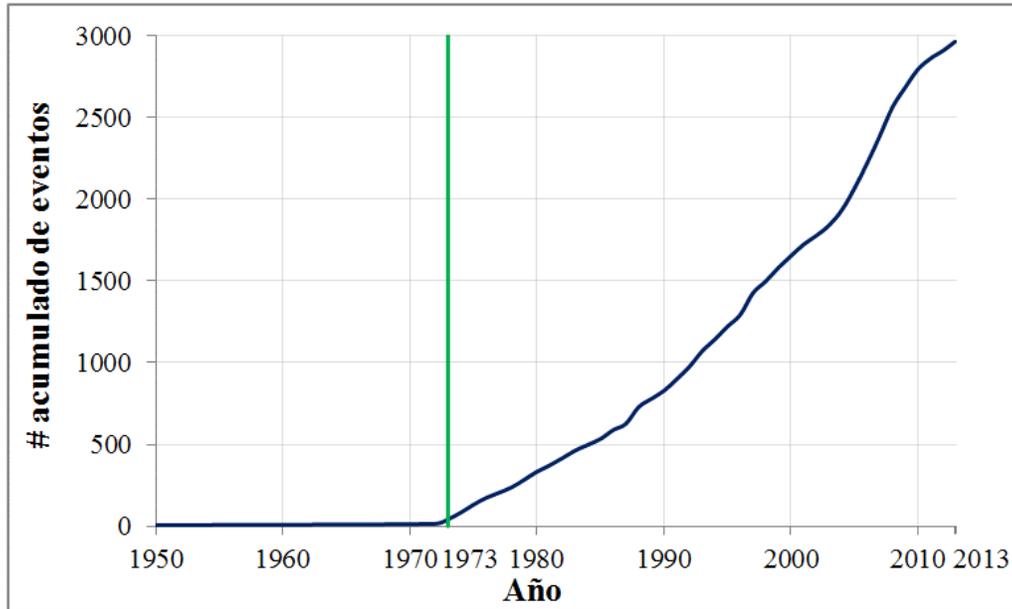
Figura 3-7. Catálogo Sísmico



Fuente: USGS, 2013; Storchak et al., 2013.

La Figura 3-8 muestra el análisis de completitud realizado para la magnitud umbral (M_0) de 4.0. Como se puede ver, la curva tiene una pendiente aproximadamente constante desde el inicio, lo que indica que el catálogo de eventos para dicha magnitud umbral está completo a partir del año 1973.

Figura 3-8. Análisis de Completitud para $M_0=4.0$



3.3.2 Parámetros de Sismicidad

Cada una de las veintidós (22) fuentes sismogénicas se caracteriza mediante una serie de parámetros de sismicidad los cuales se determinan con base en la información sísmica disponible. Estos parámetros son los siguientes:

- Tasa de recurrencia de sismos para la magnitud umbral: corresponde al número promedio de eventos por año de sismos con magnitud mayor que 4.0 que ocurren en una determinada fuente. Se determina mediante el parámetro λ_0 .
- Recurrencia de magnitudes: se identifica mediante el parámetro β que representa la pendiente promedio de la curva de recurrencia de magnitudes (curva de número de eventos con magnitud mayor que M , versus magnitud sísmica M) en la zona de magnitudes bajas.
- Magnitud máxima (M_U): se estima con base en la máxima longitud de ruptura posible de cada una de las fuentes y en otras características morfotectónicas.

3.3.3 Fuentes Sismogénicas Modeladas

El modelo de cálculo de la amenaza sísmica se basa en la información de fuentes sismogénicas a nivel nacional. Para la construcción del modelo se revisaron primero los estudios y modelos de amenaza realizados previamente para la República Bolivariana de Venezuela (Audemard et al., 2000, 2006; Christeson et al., 2008; VanDecar et al., 2003; Veloza et al., 2012), de forma que se tuviera un mejor entendimiento de la sismotectónica regional.

La Figura 3-9 presenta los planos de las fuentes sismogénicas superficiales consideradas en el análisis mientras que la Figura 3-10 lo hace para las fuentes sismogénicas profundas.

Figura 3-9. Fuentes Superficiales

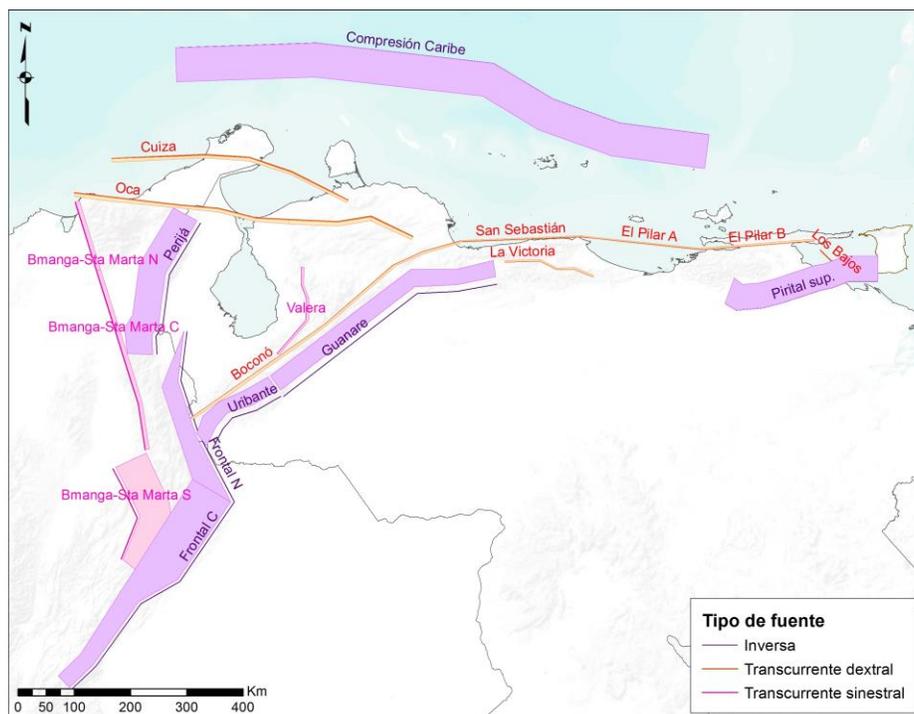
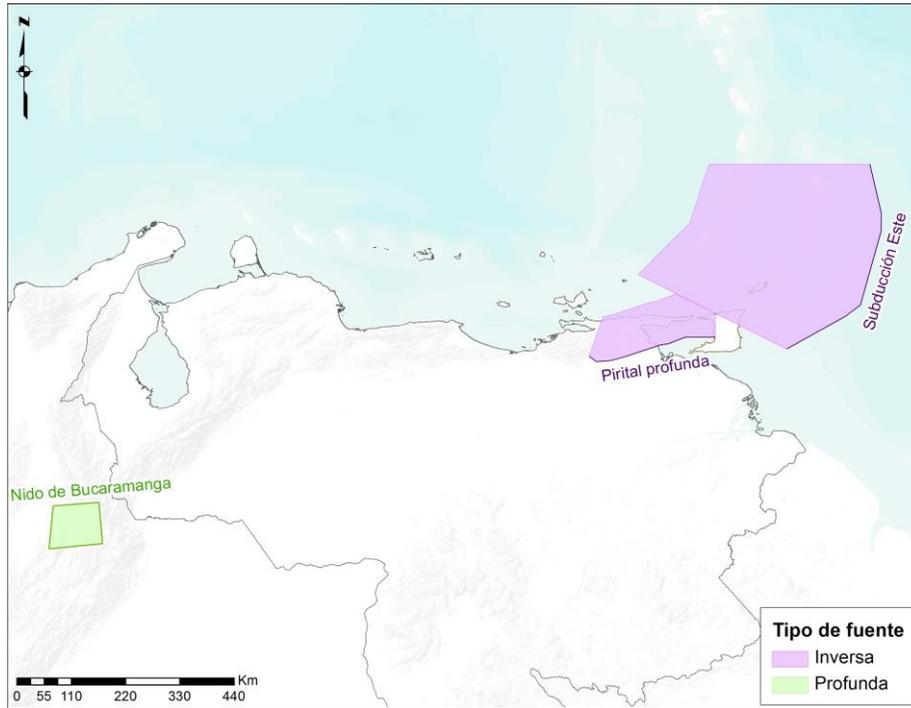


Figura 3-10. Fuentes Profundas

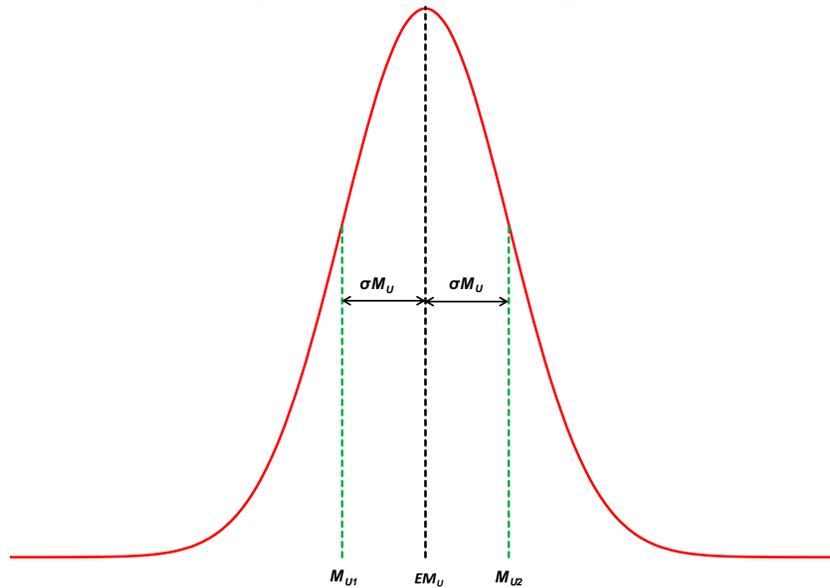


3.3.4 Parametrización de las Fuentes Sismogénicas

Utilizando el catálogo sísmico descrito anteriormente se calcularon los parámetros λ_0 , β y $CV(\beta)$. Los valores de magnitud máxima (M_U) las fuentes Oca, El Pilar, Guanare, La Victoria, Valera y San Sebastián se tomaron a partir de los estudios de Audemard et al. (2000) y Paolini, Rodríguez y Olbrich (2012). Para el resto de las fuentes, dado que se han utilizado los valores esperados de magnitud máxima del estudio AIS-300 (2010). Todos los valores se encuentran expresados en términos de M_W .

Dado que existe una alta incertidumbre en la determinación de este parámetro este no se determina a partir de un valor fijo sino que se trata como una variable aleatoria que sigue una distribución normal la cual se determina a partir de su valor esperado y la desviación estándar y se trunca a dos valores como se muestra en la Figura 3-11.

Figura 3-11. Distribución Normal para Establecer la Magnitud Máxima



Una vez se asignan los eventos a cada una de las fuentes sísmicas se procede a su parametrización para calcular los parámetros λ_0 y β . Para cada una de las fuentes se calculan los parámetros a partir del método de máxima verosimilitud (McGuire, 2004) el cual demostró reflejar con una mayor calidad el valor de ambos parámetros si se compara con el método de regresiones lineales, el cual ha sido utilizado ampliamente a nivel mundial.

Para realizar la parametrización de las fuentes se determina una magnitud umbral (M_0) igual a 4.0 por varias razones, entre ellas la de la eliminación automática de un gran porcentaje de las réplicas y porque eventos con magnitud inferior a esta no generan daños considerables.

El parámetro λ_0 describe la actividad de la falla en una escala de tiempo determinada que para fines de este estudio se definió en años. El valor de este parámetro es igual a la tasa de actividad anual de la falla calculada a partir del número de eventos con magnitud mayor o igual a la umbral (N) dividido entre la ventana de tiempo en el cual fueron observados (t).

$$\lambda_0 = \frac{N}{t}$$

(Ec. 1-5)

La ventana de tiempo t para este caso consistió en el número de años a partir del cual el catálogo puede considerarse como completo que como se vio corresponde al año 1973. El parámetro β describe la pendiente de la regresión logarítmica siguiendo la definición de la ecuación de regresión de magnitudes establecida por Gutenberg y Richter que tiene la forma:

$$N(m) = e^{(\lambda - \beta m)} \quad (\text{Ec. 1-6})$$

y se calcula como:

$$\beta = \frac{N}{\sum_{i=1}^N (M - M_0)} \quad (\text{Ec. 1-7})$$

donde N es el número de eventos con magnitud mayor o igual a la umbral (M_0) entre la sumatoria de la diferencia entre la magnitud de los eventos (M) y la magnitud umbral. Este parámetro muestra la capacidad que tiene una fuente sísmica de generar eventos de grandes magnitudes, la cual aumenta conforme este parámetro toma valores menores.

Adicionalmente, al parámetro β se le calcula su coeficiente de variación (CV) a partir de la división que hay de la media entre la desviación estándar para dar un manejo apropiado a este parámetro dado que se trata de una variable aleatoria.

$$CV = \frac{1}{\sqrt{N-1}} \quad (\text{Ec. 1-8})$$

En el cálculo de la amenaza sísmica y debido a la incertidumbre asociada a la determinación del valor de la magnitud última esperada en cada fuente, es posible describir una distribución normal de probabilidad a partir de un valor esperado y un

valor de desviación estándar. La Tabla 3-1 presenta los parámetros utilizados para cada una de las fuentes.

Tabla 3-1. Parámetros de Sismicidad de las Fuentes Sísmicas Consideradas

Fuente		Parámetros de Sismicidad				
ID	Nombre	λ_0	β	CV(β)	Mu (Mw)	σ (Mu)
1	Bmanga-Sta Marta (C)	0.37	1.11	0.27	6.5	0.10
2	Bmanga-Sta Marta (N)	0.15	1.02	0.45	6.5	0.10
3	Bmanga-Sta Marta (S)	0.49	1.06	0.23	6.9	0.10
4	Boconó	2.29	1.38	0.10	7.2	0.10
5	Compresión Caribe	1.10	1.56	0.15	6.5	0.10
6	Cuiza	0.59	1.18	0.21	6.6	0.10
7	Frontal (C)	2.66	1.14	0.10	8.0	0.10
8	Frontal (N)	1.39	1.03	0.13	8.0	0.10
9	Oca	1.66	1.46	0.12	7.0	0.10
10	Perijá	0.54	2.94	0.20	6.50	0.10
11	Uribante	0.82	1.49	0.16	7.1	0.10
12	Nido de Bucaramanga	38.51	1.28	0.03	6.5	0.10
13	Los Bajos	1.78	1.58	0.12	7.2	0.10
14	Pritial Profunda	5.61	2.71	0.07	6.7	0.10
15	Piritial Superficial	1.00	1.70	0.16	7.0	0.10
16	El Pilar (A)	0.97	1.19	0.08	7.8	0.10
17	Subducción Este	7.78	5.71	0.06	7.00	0.10
18	Guanare	1.05	1.14	0.15	7.1	0.10
19	La Victoria	0.15	0.97	0.45	6.7	0.10
20	Valera	0.71	1.27	0.19	6.8	0.10
21	San Sebastián	1.02	1.19	0.08	7.3	0.10
22	El Pilar (B)	1.72	1.19	0.08	6.6	0.10

3.3.5 Relaciones de Atenuación de Movimiento Fuerte

Las relaciones de atenuación (conocidas también como Ground Motion Prediction Equations - GMPE) son funciones que determinan la intensidad esperada, en este caso aceleración espectral, en un determinado lugar dependiendo de la distancia al foco del evento y la magnitud del mismo. Como se ha mencionado, estas leyes son espectrales,

lo que quiere decir que también dependen del periodo ya que diferentes frecuencias atenúan de manera diferente.

Se han seleccionado las leyes de atenuación propuestas por Idriss (2008) que dan cuenta de las características del movimiento en el entorno norte de los Andes. Esta ley de atenuación permite la diferenciación del entorno tectónico entre intraplaca y subducción por lo que, dependiendo de las características de cada una de las fuentes sismogénicas consideradas en el modelo, han sido asignados alguno de ellos.

Las Figuras 3-12 a la 3-14 muestran los valores de atenuación para diferentes mecanismos, magnitudes y ordenadas espectrales de manera ilustrativa.

Figura 3-12. Idriss (2008) para Magnitud de 7.0 y PGA

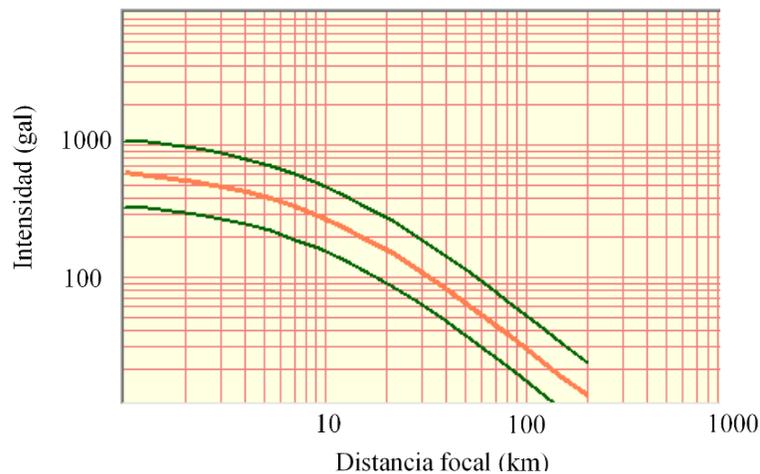


Figura 3-13. Idriss (2008) para Magnitud de 7.5 y 0.5 seg

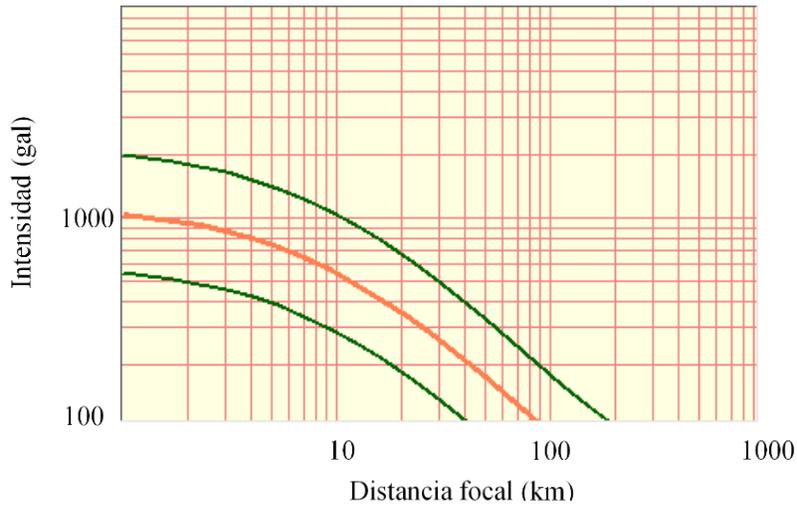
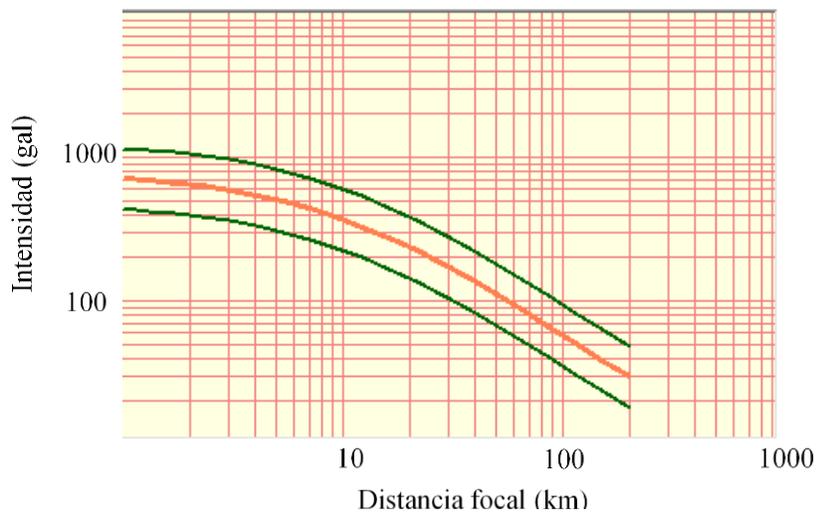


Figura 3-14. Idriss (2008) para Magnitud de 8.0 y PGA



Adicionalmente al anterior modelo de atenuación, por sugerencia de FUNVISIS se ha realizado la evaluación de la amenaza sísmica utilizando el mismo número de fuentes, modelo geométrico y parámetros de sismicidad pero con la asignación de otras GMPE. El grupo de GMPE pertenece al proyecto New Generation Attenuation Relationships (NGA) y son las siguientes:

- Abrahamson-Silva (2008) – A&S
- Boore-Atkinson (2008) – B&A
- Campbell-Bozorgnia (2008) – C&B

- Chiou-Youngs (2008) – C&Y

Por último se ha considerado para fines comparativos la ley de atenuación propuesta por Bernal et al. (2012), la cual se ha calibrado con registros regionales de la zona del norte de los Andes. En la sección de resultados se presenta la comparación de resultados en términos de espectros de amenaza uniforme tras la consideración de los anteriores modelos. En todos los casos se han considerado modelos en roca.

3.4 Calidad de los Datos Disponibles

La información de amenaza sísmica disponible, y presentada en las secciones precedentes de este capítulo, cuenta con una calidad y resolución buena para el análisis a nivel país. La geometría de fuentes propuesta, su sismicidad asociada y las funciones de atenuación empleadas para la estimación de las intensidades de movimiento del terreno cumplen con las condiciones de calidad para un modelo de amenaza sísmica regional y nacional.

Por otra parte, la resolución de cálculo de la amenaza sísmica no depende generalmente de las características de la información. La modelación espacial de la amenaza se hace mediante la definición de una malla de cálculo de tamaño arbitrario. La excesiva refinación de la malla no implica necesariamente una mejora en los resultados. La resolución de la malla debe ser acorde con el tamaño de las fuentes sísmicas del modelo. Normalmente, el área de influencia de los fenómenos sísmicos tiene un radio de acción del orden de 200 km, área que cubre la malla de cálculo empleada. Todos los resultados de amenaza quedan expresados como valores puntuales en cada uno de los nodos de la malla. La resolución final de la amenaza corresponde al tamaño de la malla empleada.

La resolución para el análisis de amenaza debe ser compatible con la resolución de la información de exposición, y por lo tanto con la resolución final deseada en los análisis de riesgo. Cabe destacar que en el marco del presente proyecto dicha evaluación se

realizará utilizando dos niveles diferentes de resolución, uno a nivel país utilizando un proxy de elementos expuestos y otro a nivel local en Chacao utilizando un nivel de resolución predio a predio.

3.5 Resultados de la Amenaza Sísmica para la República Bolivariana de Venezuela

El resultado principal de una evaluación probabilista de amenaza sísmica consiste en la obtención de la curva de excedencia de intensidades. Estas intensidades en el presente estudio corresponden a valores de aceleración espectral y entonces, por consiguiente, en cada una de ellas se puede leer la tasa de excedencia (en años) para diferentes valores. Los resultados se obtienen para cada punto de la malla de análisis por lo que es posible entonces, a partir de estos obtener mapas de amenaza para diferentes períodos de retorno como los que se presentan en la siguiente sección.

Dado que el análisis de amenaza sísmica ha sido realizado para diferentes ordenadas espectrales, seleccionando de manera arbitraria uno o varios períodos de retorno es posible obtener espectros de amenaza uniforme. Cada uno de estos tiene la particularidad de que, para cada ordenada espectral, se tiene asociado el mismo período de retorno. Los resultados que se presentan en esta sección se han calculado con el modelo de atenuación Bernal et al. (2012).

3.5.1 Curvas de Amenaza para algunas Ciudades

Las Figuras 3-15 a la 3-19 presentan las curvas de excedencia para aceleración máxima del terreno (PGA) en algunas ciudades de la República Bolivariana de Venezuela.

Figura 3-15. Curva de amenaza para PGA para Caracas

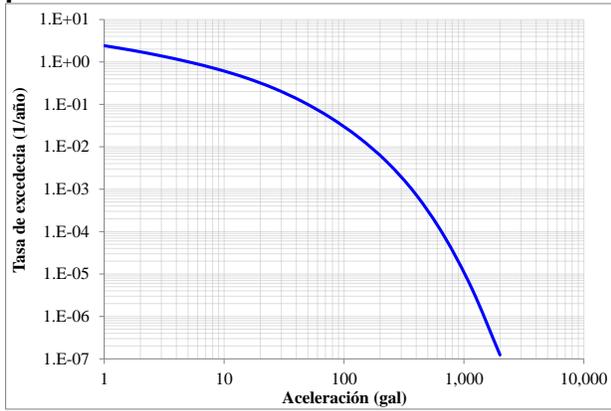


Figura 3-16. Curva de amenaza para PGA para Maracaibo

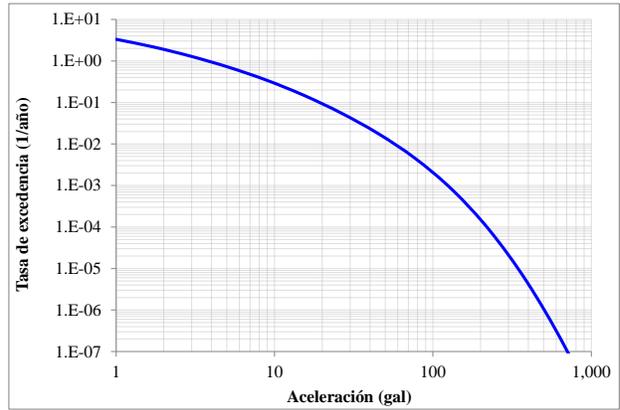


Figura 3-17. Curva de amenaza para PGA para Valencia

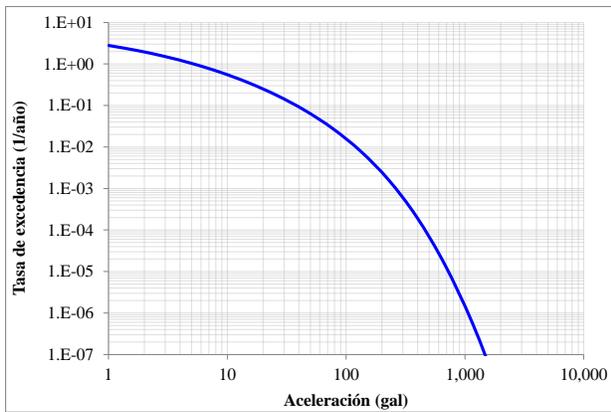


Figura 3-18. Curva de amenaza para PGA para Barquisimeto

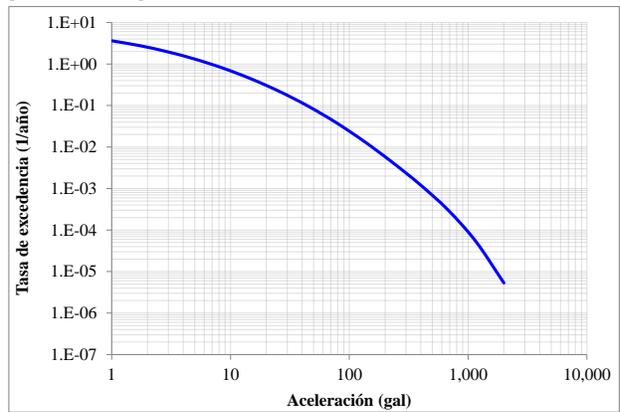
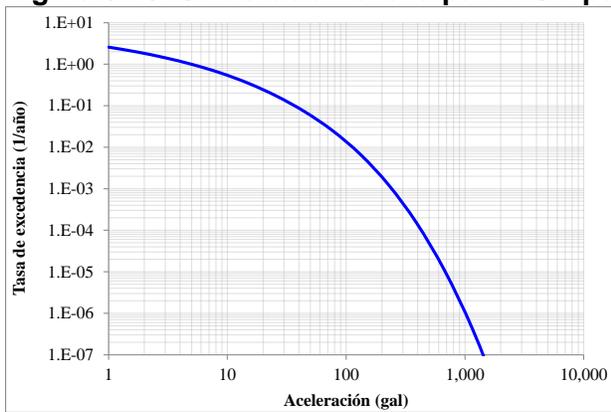


Figura 3-19. Curva de amenaza para PGA para Maracay



3.5.2 Espectros de Amenaza Uniforme para algunas Ciudades

Para las mismas ciudades donde se han seleccionado las curvas de amenaza para la aceleración máxima del terreno (PGA), las Figuras 3-20 a la 3-24 presentan los espectros de amenaza uniforme para diferentes períodos de retorno, siendo estos, 250, 475, 1000, 1,500 y 2,500 años.

Figura 3-20. Espectros de Amenaza Uniforme para Caracas

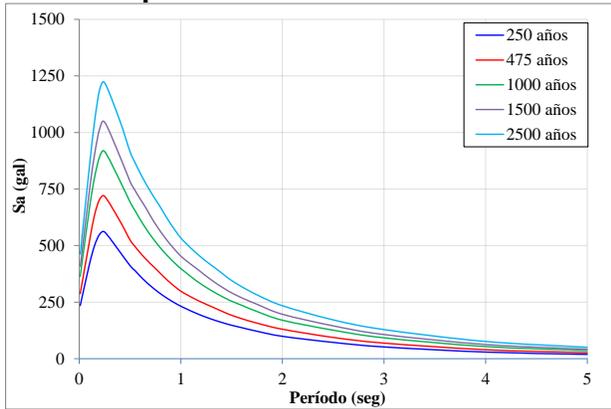


Figura 3-21. Espectros de Amenaza Uniforme Maracaibo

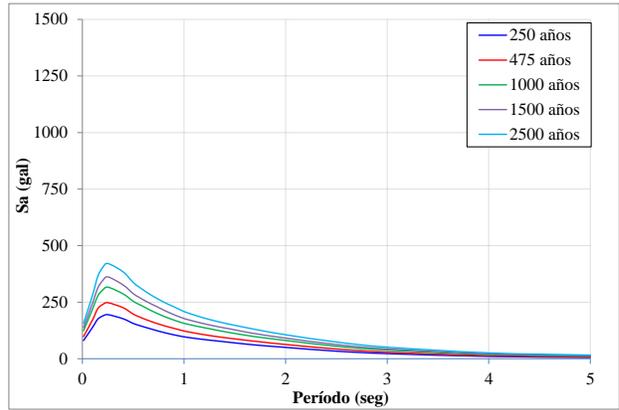


Figura 3-22. Espectros de Amenaza Uniforme para Valencia

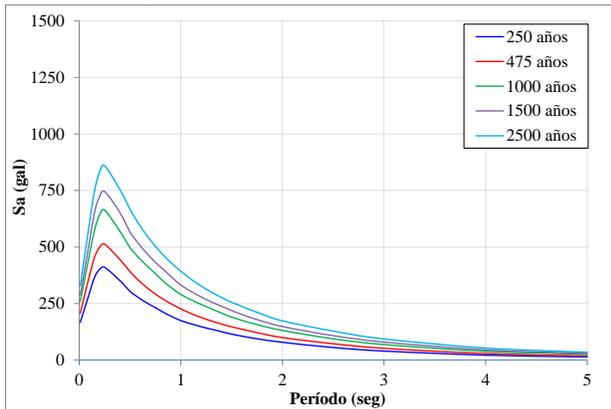


Figura 3-23. Espectros de Amenaza Uniforme para Barquisimeto

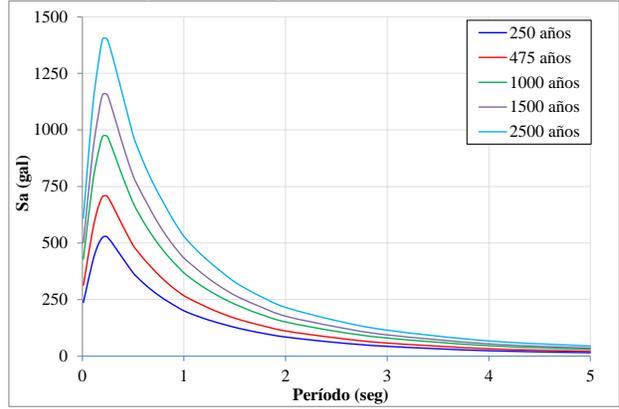
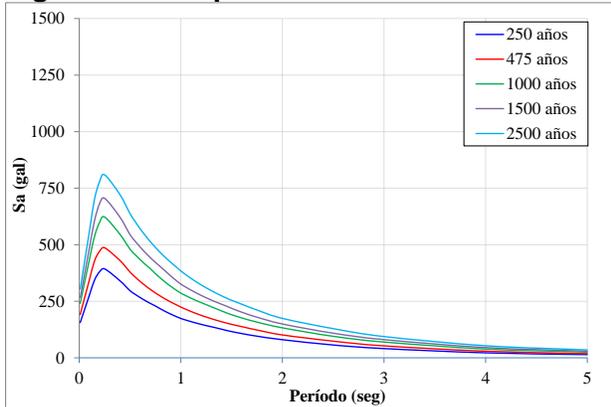


Figura 3-24. Espectros de Amenaza Uniforme para Maracay



3.6 Mapas de Amenaza Sísmica para la República Bolivariana de Venezuela

Se calculó la amenaza sísmica de la República Bolivariana de Venezuela para varios periodos fundamentales de vibración y varios periodos de retorno. Los mapas de amenaza sísmica que se presentan a continuación, permiten visualizar la distribución de las intensidades máximas probables debidas a la ocurrencia de sismos simultáneos en todas las fuentes generadoras, para el periodo de retorno correspondiente. Son mapas de amenaza indicativos del peligro específico de la zona, y sus aplicaciones permiten adoptar criterios para la zonificación de amenaza, insumo para normativas de diseño y planes de socialización del riesgo.

En las Figuras 3-25 a 3-30 se presentan los mapas de amenaza calculados para la República Bolivariana de Venezuela, para aceleración máxima del terreno (PGA) y aceleración espectral para periodos estructurales de 0.5 y 1.0 segundos, para periodos de retorno de 475 y 1,000 años. Como se mencionó anteriormente, la totalidad de los cálculos fueron realizados empleando el programa CRISIS 2007 (Ordaz et. al. 2007).

Figura 3-25. PGA para Período de Retorno de 475 Años

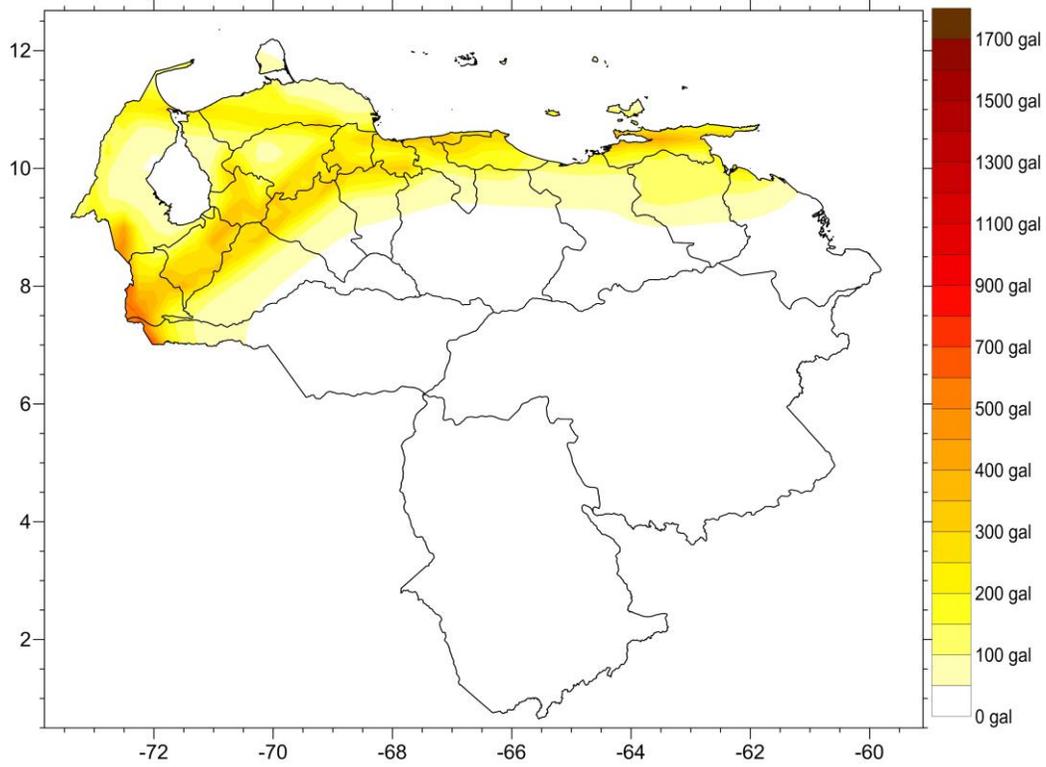


Figura 3-26. PGA para Período de Retorno de 1,000 Años

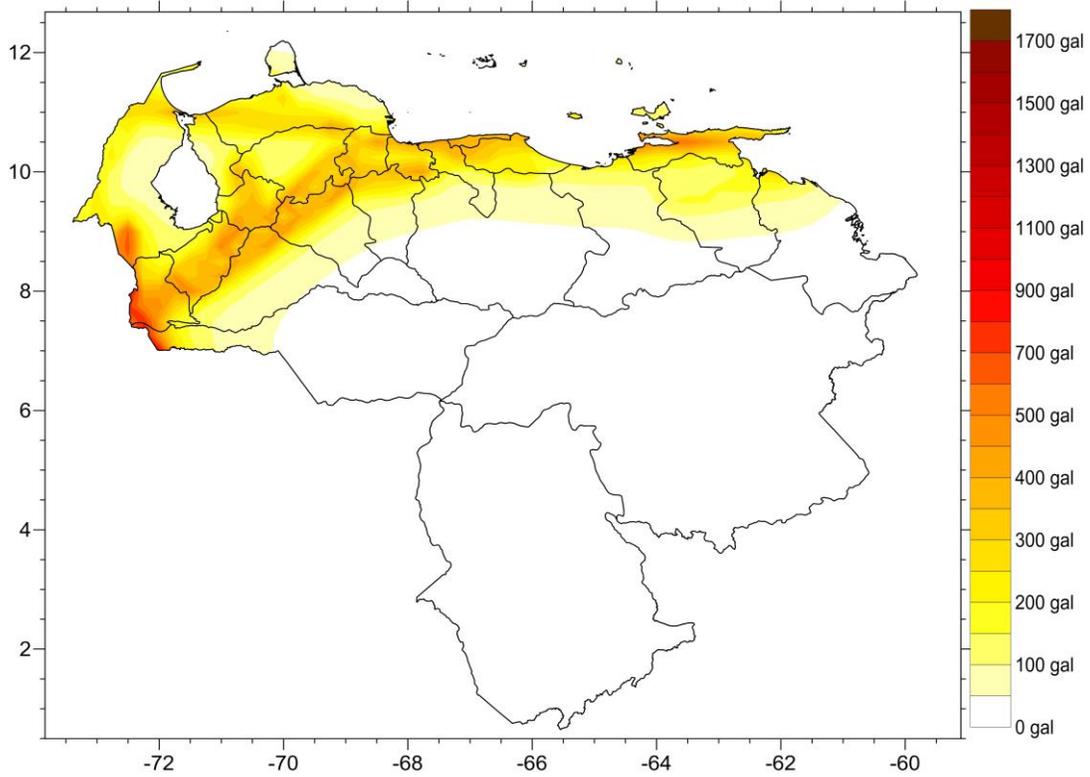


Figura 3-27. 0.5s para Período de Retorno de 475 Años

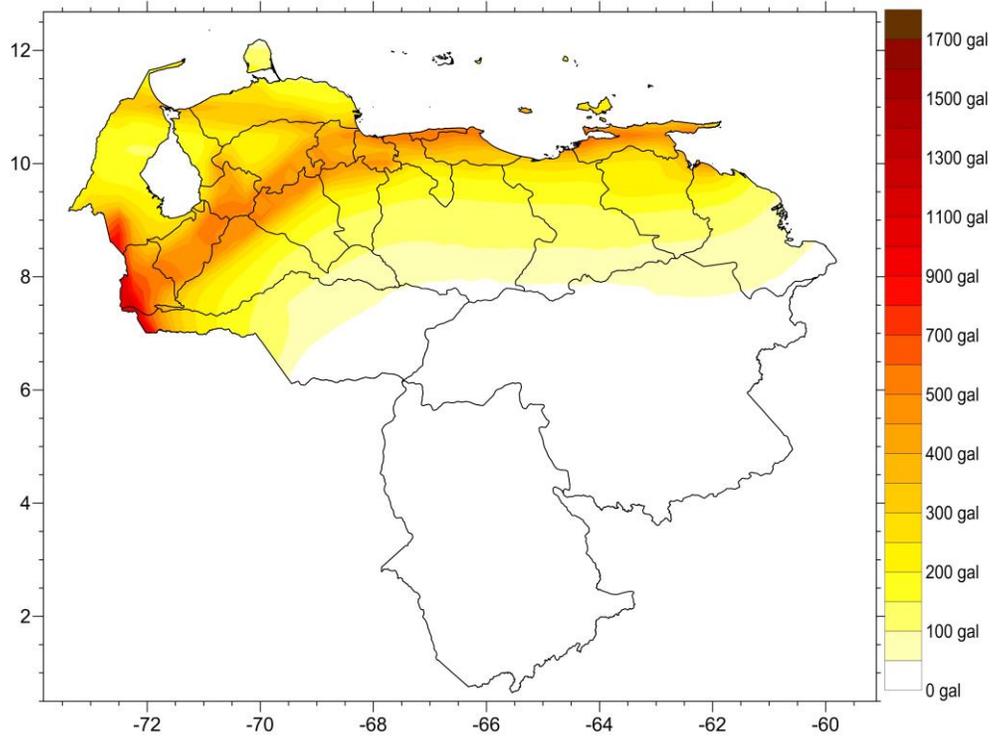


Figura 3-28. 0.5s para Período de Retorno de 1,000 Años

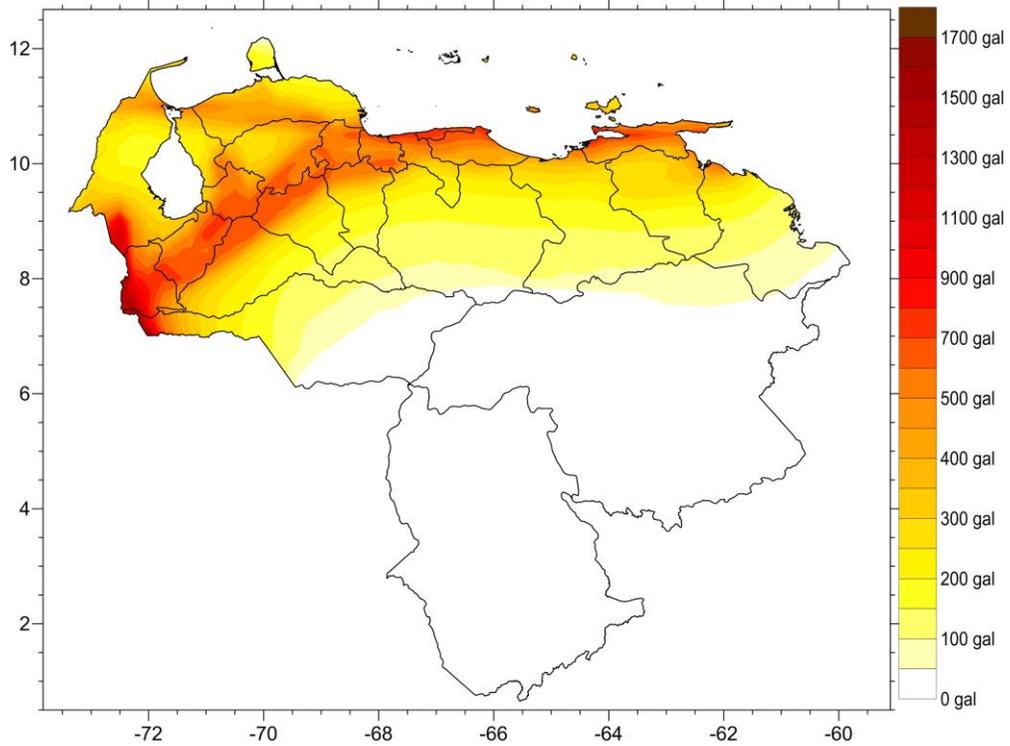


Figura 3-29. 1.0s para Período de Retorno de 475 Años

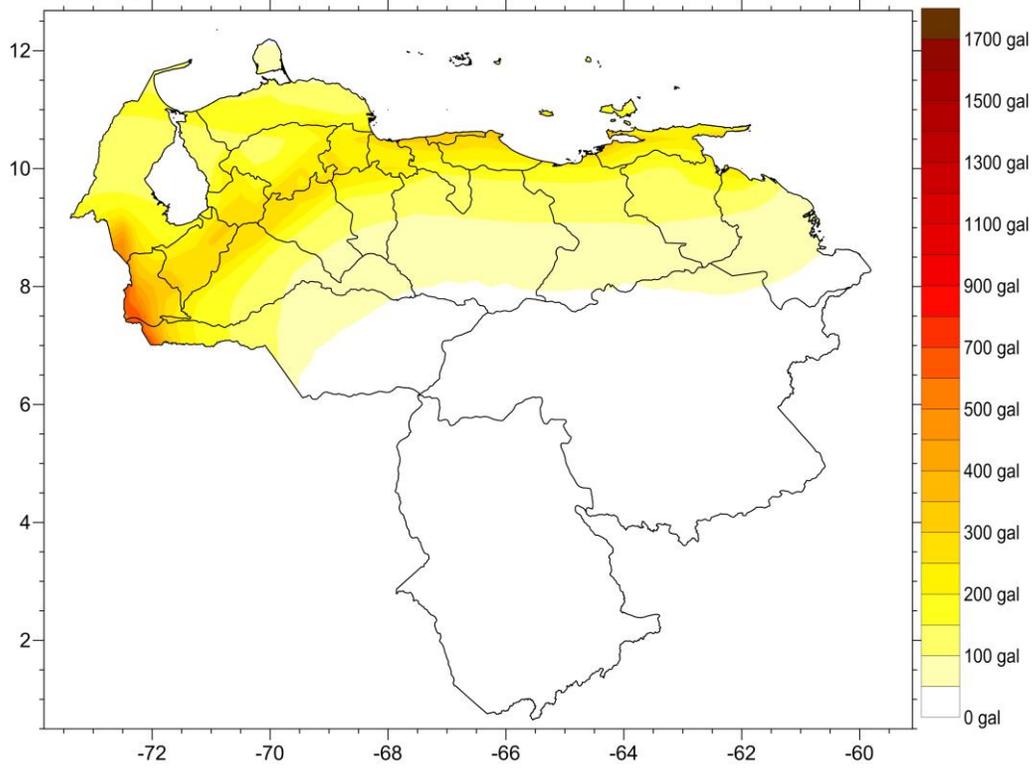
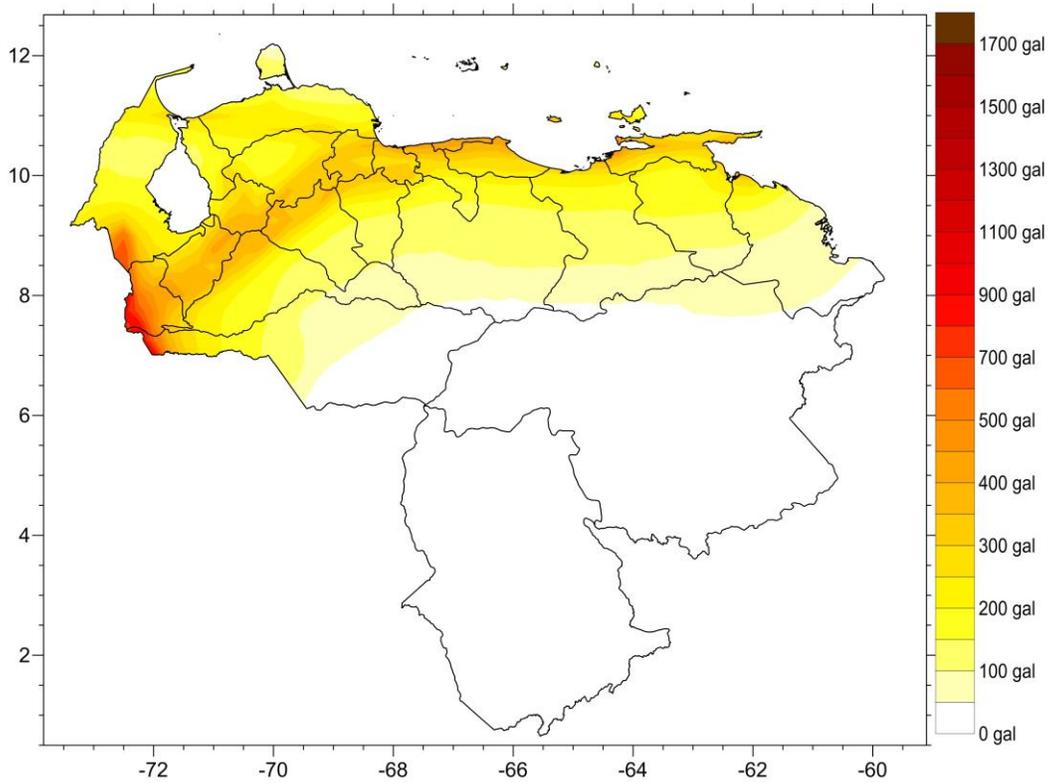


Figura 3-30. 1.0s para Período de Retorno de 1,000 Años



3.7 Comparación de los Resultados de Amenaza Sísmica tras Considerar Diferentes Relaciones de Atenuación

La Tabla 3-2 presenta la comparación de los resultados probabilistas de amenaza sísmica en términos de la aceleración máxima del terreno y 475 años de período de retorno para cinco ciudades en la República Bolivariana de Venezuela tras la consideración de 6 diferentes modelos de atenuación de movimiento fuerte.

Tabla 3-2. Parámetros de Sismicidad de las Fuentes Sísmicas Consideradas

Ciudad	PGA - 475 años [g]					
	Bernal et al.	A&S	B&A	C&B	C&Y	Idriss
Caracas	0.35	0.22	0.30	0.25	0.26	0.29
Maracaibo	0.13	0.08	0.12	0.09	0.08	0.10
Valencia	0.28	0.15	0.34	0.18	0.17	0.21
Barquisimeto	0.32	0.24	0.57	0.27	0.28	0.32
Maracay	0.26	0.15	0.27	0.17	0.16	0.20

En la tabla anterior es posible observar que únicamente mediante la asignación de modelos de atenuación diferentes, existen diferencias notorias en el valor final de la amenaza. Puede notarse por ejemplo, cómo para Caracas y Maracaibo todas las relaciones llevan a valores inferiores si se comparan con el modelo Bernal et al. (2012), mientras que para Valencia, Barquisimeto y Maracay, el valor más alto se obtiene con el modelo Boore & Atkinson (2008). La evaluación de la amenaza sísmica se ha realizado con las tablas de atenuación suministradas por FUNVISIS en el marco del presente proyecto.

Dado que todas las anteriores leyes de atenuación abarcan un rango amplio de ordenadas espectrales, se puede realizar también la comparación de resultados en términos de EAU. Las Figuras 3-31 a 3-35 presentan estos, para 475 años de período de retorno para las ciudades anteriormente mencionadas.

Figura 3-31. Espectros de amenaza uniforme para Caracas

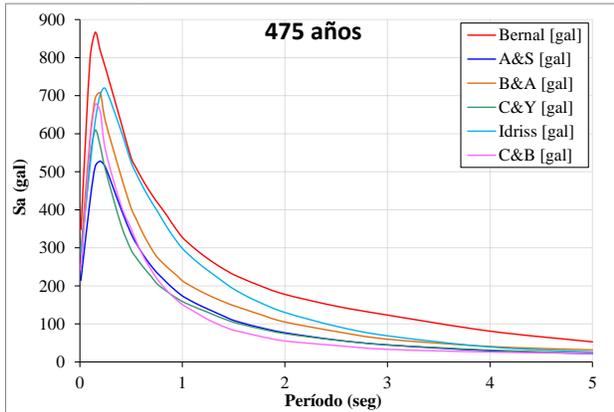


Figura 3-32. Espectros de amenaza uniforme Maracaibo

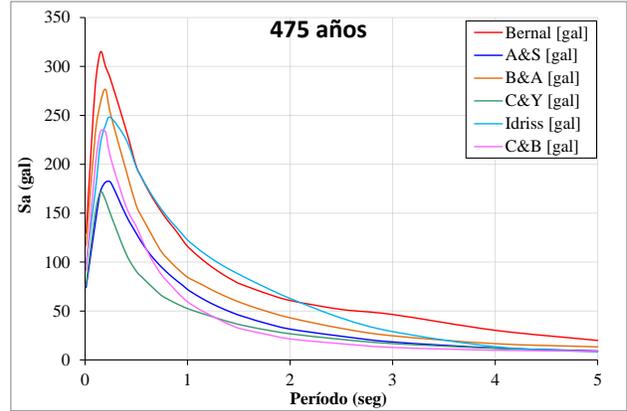


Figura 3-33. Espectros de amenaza uniforme para Valencia

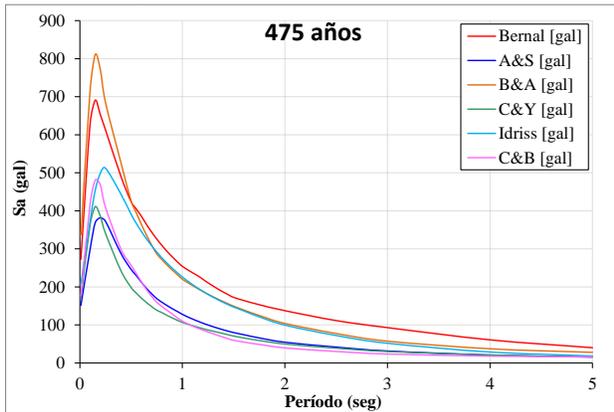


Figura 3-34. Espectros de amenaza uniforme par Barquisimeto

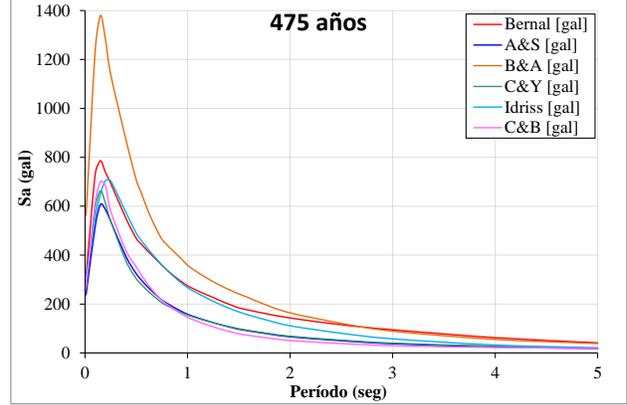
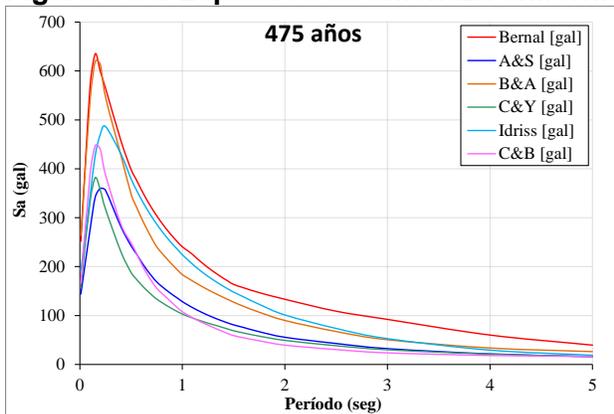


Figura 3-35. Espectros de amenaza uniforme para Maracay



3.8 Efectos de Sitio en el Área Metropolitana de Caracas y el Municipio de Chacao

Chacao es uno de los 5 municipios que conforman el área metropolitana de Caracas, para la cual existe un estudio de microzonificación sísmica (FUNVISIS, 2002). Por lo anterior, para la zona en cuestión, es posible la identificación y caracterización de 5 microzonas sísmicas adicionales de la zona de basamento rocoso. La Figura 3-36 presenta la totalidad de microzonas definidas para el área metropolitana de Caracas mientras que en la Figura 3-37 se puede ver con más detalle las microzonas que corresponden al Municipio de Chacao.

Figura 3-36. Microzonas del Área Metropolitana de Caracas

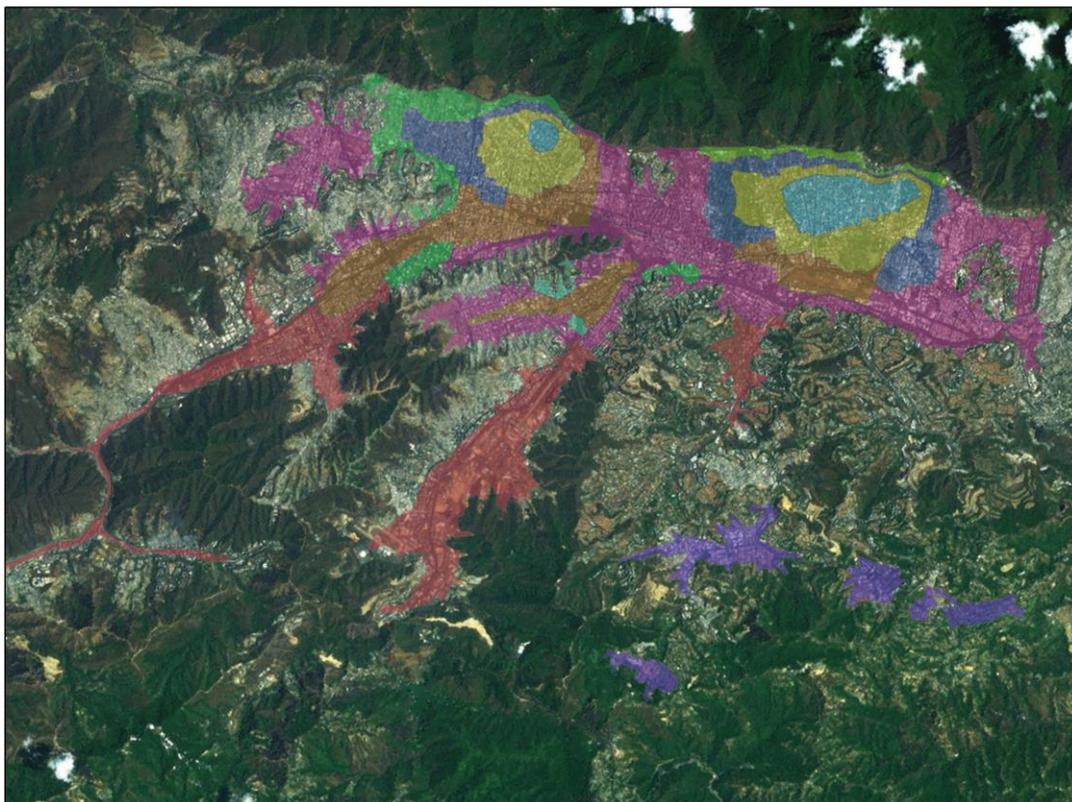
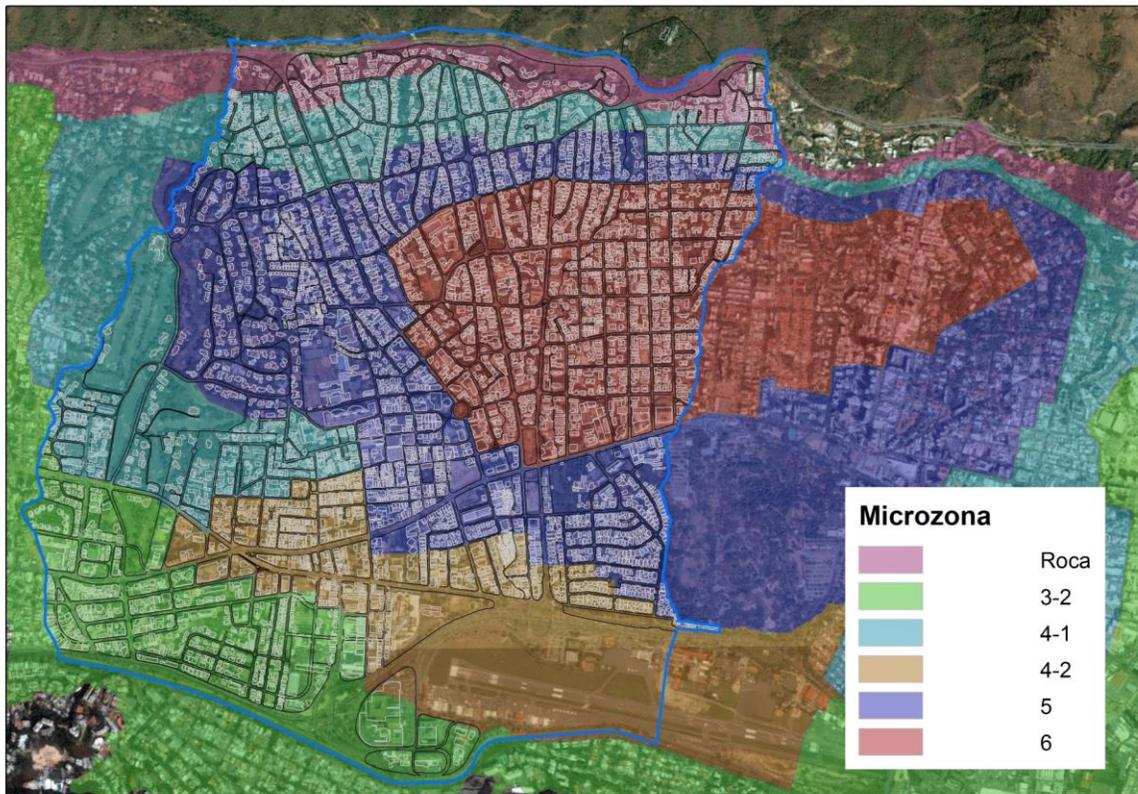


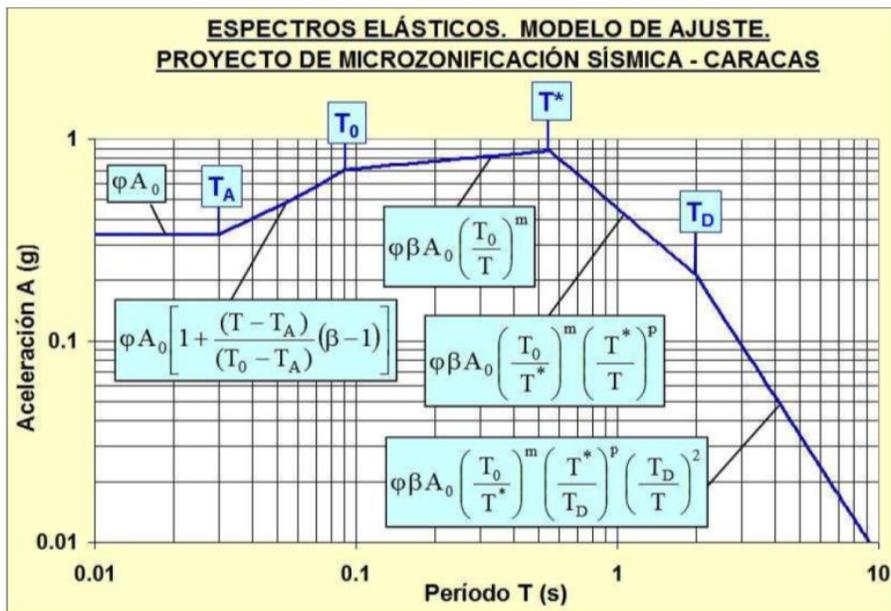
Figura 3-37. Microzonas para el Municipio de Chacao



3.8.1 Forma Funcional

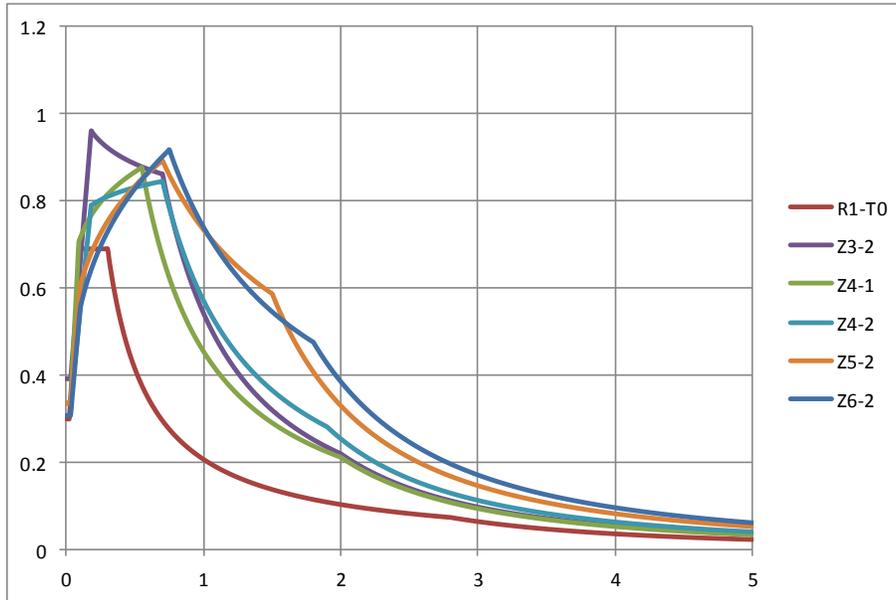
En la presente sección se muestra la forma funcional de los espectros elásticos de diseño de acuerdo al estudio de microzonificación sísmica de Caracas. De acuerdo a dicho estudio, se tiene la forma funcional que se presenta en la Figura 3-38 (Hernández et al., S.F.).

Figura 3-38. Forma Funcional de los Espectros de la Microzonificación Sísmica de Caracas



De la figura anterior es posible identificar que la forma funcional del espectro se encuentra definida por una serie de coeficientes relacionados con el período fundamental de vibración y los efectos de período corto y largo. En total se cuenta con un espectro elástico que tiene 5 zonas separadas por los parámetros T_A , T_0 , T^* y T_D respectivamente. Para una mejor visualización de los espectros de las diferentes zonas se realiza la representación en escala aritmética; La Figura 3-39 presenta los espectros elásticos de diseño para las 6 microzonas que corresponden a Chacao. De allí resulta evidente que solamente el espectro asociado a la microzona de roca tiene una meseta constante de valores de aceleración para los períodos intermedios como es normal en este tipo de funciones.

Figura 3-39. Espectros Elásticos de Diseño para las Microzonas de Chacao



Tomando como ejemplo la microzona 3-2 y los coeficientes que esta tiene definido en el estudio de microzonificación sísmica de Caracas se presentan ahora los espectros de velocidad y desplazamiento, calculados a partir del de aceleraciones con las relaciones básicas de dinámica estructural. Las Figuras 3-40 y 3-41 presentan, respectivamente, estos espectros.

Figura 3-40. Espectro de Velocidad para la Microzona 3-2

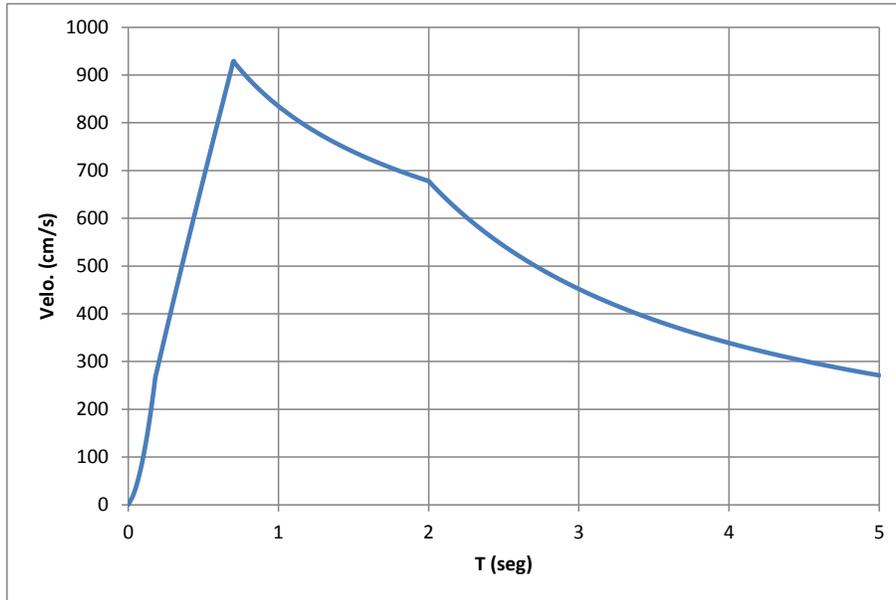
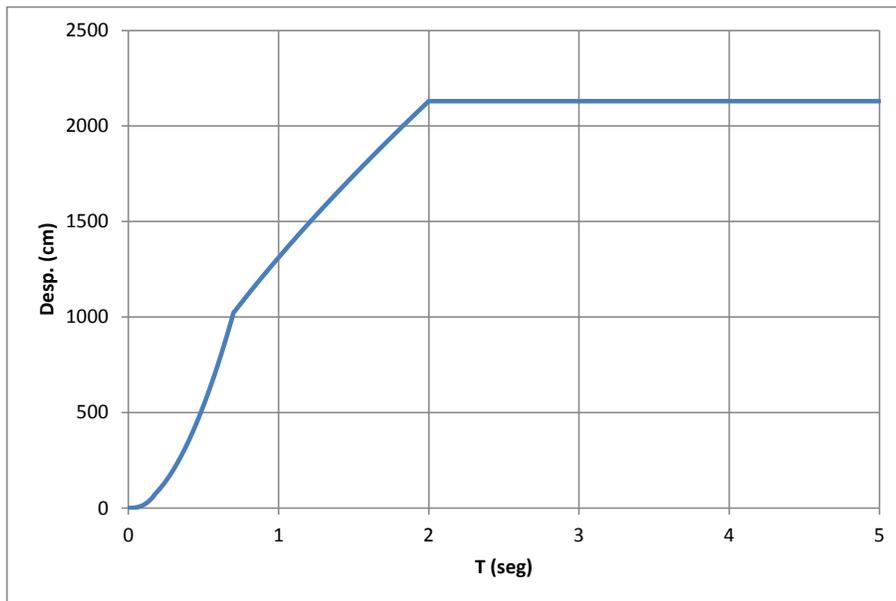


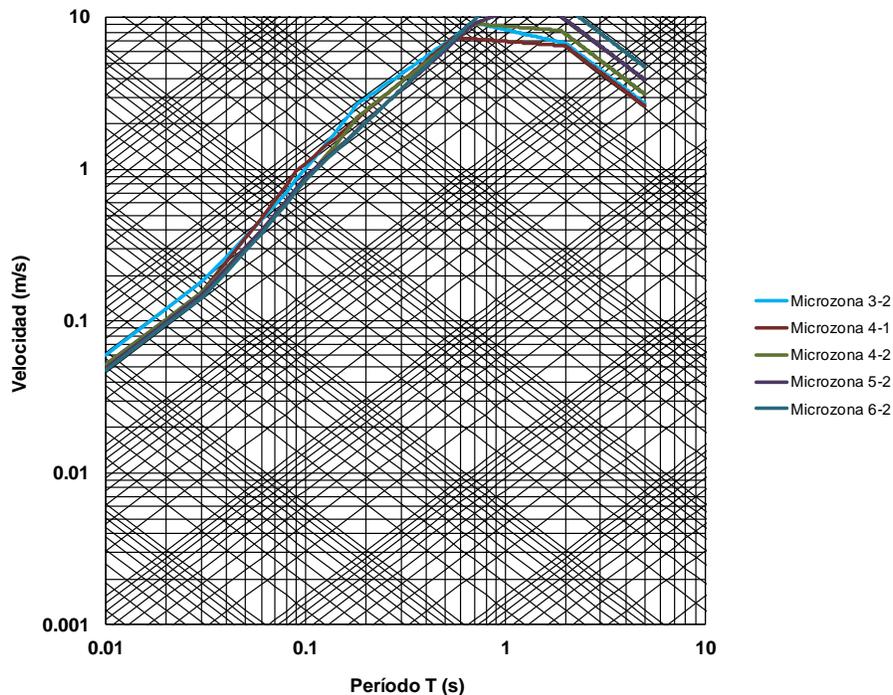
Figura 3-41. Espectro de Desplazamiento para la Microzona 3-2



En la Figura 3-42 no se presenta una zona constante de velocidad, que generalmente se encuentra asociada a períodos intermedios; esto se debe al valor que toma el coeficiente “p”. Este tipo de características se evidencian en cada una de las microzonas y son consecuencia de la forma funcional definida para el espectro elástico de diseño en términos de la aceleración. La Figura 3-42 presenta la representación

tripartita de las 5 microzonas de Chacao (se excluye la zona de roca) en la cual resulta difícil la identificación de las zonas de aceleración, velocidad y desplazamiento constante asociadas, respectivamente, a los rangos de período corto, intermedio y largo.

Figura 3-42. Representación Tripartita de las Microzonas del Municipio de Chacao



3.8.2 Propuesta de Modificación de la Forma Funcional

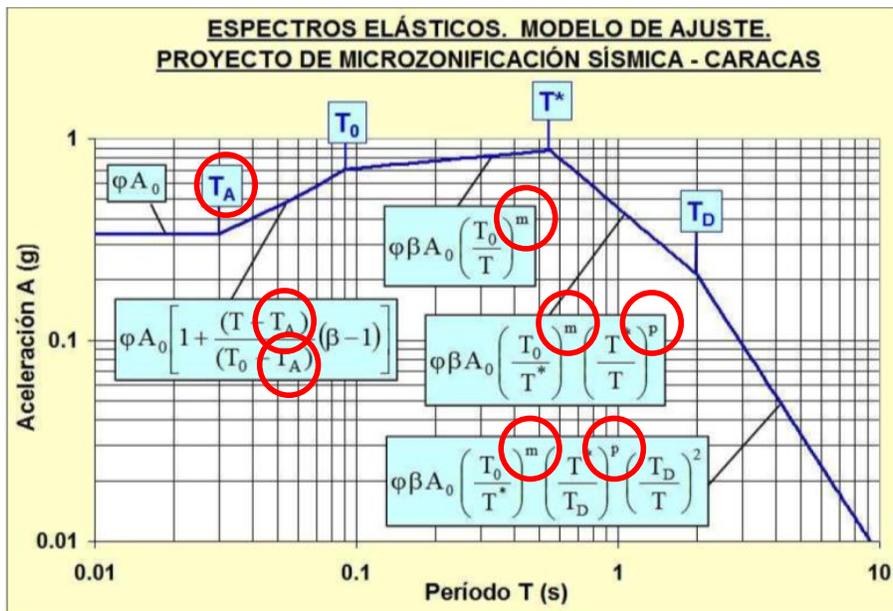
Con el fin del cálculo de las funciones de transferencia espectrales para el cálculo probabilista de riesgo sísmico, se han realizado una serie de modificaciones en la forma funcional de los espectros de tal manera que los resultados finales sean compatibles con la teoría de la dinámica estructural aplicada al diseño sísmico. A manera de resumen se presentan las modificaciones propuestas:

- Se sugiere fijar el coeficiente “m” con valor igual a 0.0 para todos los casos.
- Se sugiere fijar el coeficiente “p” con valor igual a 1.0 para todos los casos.
- Se sugiere eliminar la forma funcional hasta el período T_A y que el espectro quede definido por 4 ramas. Esto porque en el rango de períodos que esa

primera rama cubre es bastante limitado y por efectos de la fisuración que inevitablemente varía el período fundamental de cualquier estructura, no es representativo de ninguna tipología.

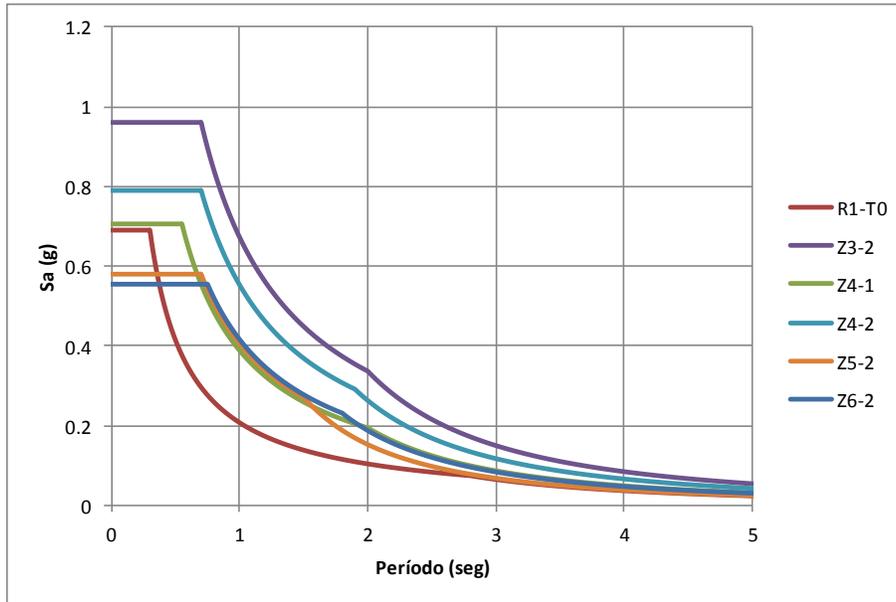
En la Figura 3-43 se presentan los parámetros que se modifican en la forma funcional según esta propuesta.

Figura 3-43. Parámetros a Modificar en la Forma Funcional



Tras la incorporación de dichos cambios en las 6 microzonas de Chacao, se tienen los espectros de diseño, en términos de aceleración que se presentan en la Figura 3-44.

Figura 3-44. Espectros Elásticos de Diseño Propuestos para las Microzonas de Chacao



Las Figuras 3-45 y 3-46 presentan de nuevo, para la Microzona 3-2 ahora con las modificaciones propuestas. De esta representación resulta evidente que los problemas anteriormente mencionados quedan resueltos.

Figura 3-45. Espectro de Velocidad Propuesto para la Microzona 3-2

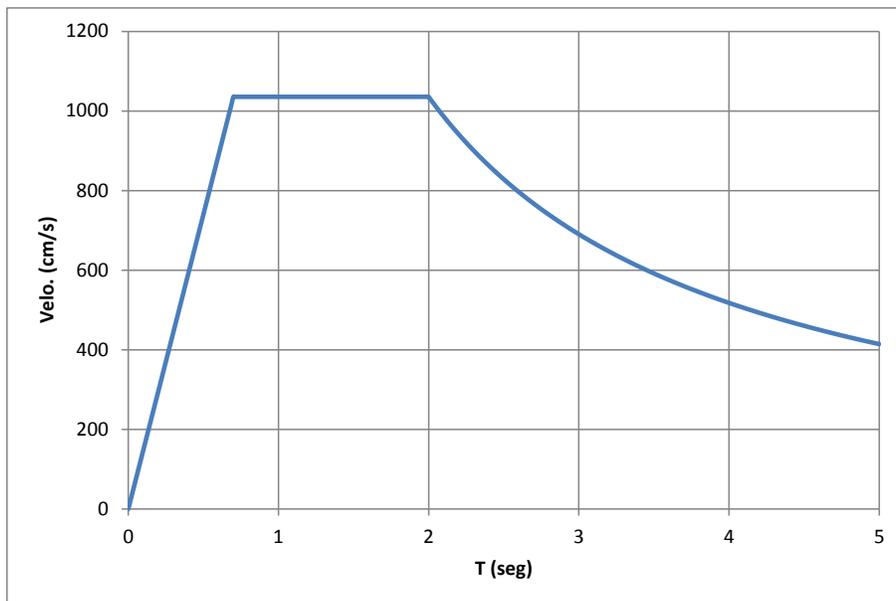
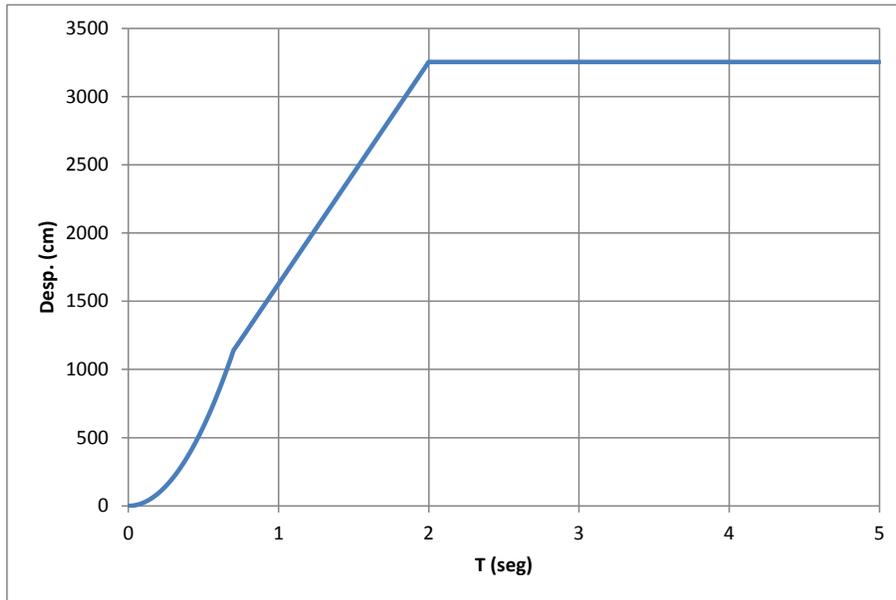
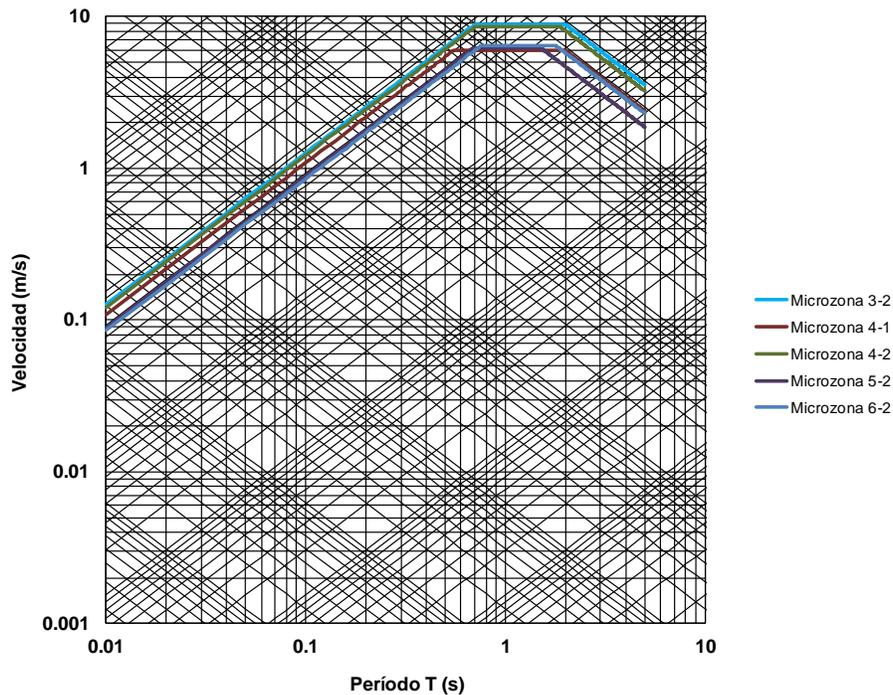


Figura 3-46. Espectro de Desplazamiento Propuesto para la Microzona 3-2



Finalmente, en la Figura 3-47 se presenta de nuevo la representación tripartita de las microzonas del Municipio de Chacao tras la incorporación de las modificaciones propuestas. En esta figura es evidente que se posible identificar las zonas de aceleración, velocidad y desplazamiento constante.

Figura 3-47. Representación Tripartita de las Microzonas del Municipio de Chacao con las Modificaciones Propuestas



3.8.3 Funciones de Transferencia

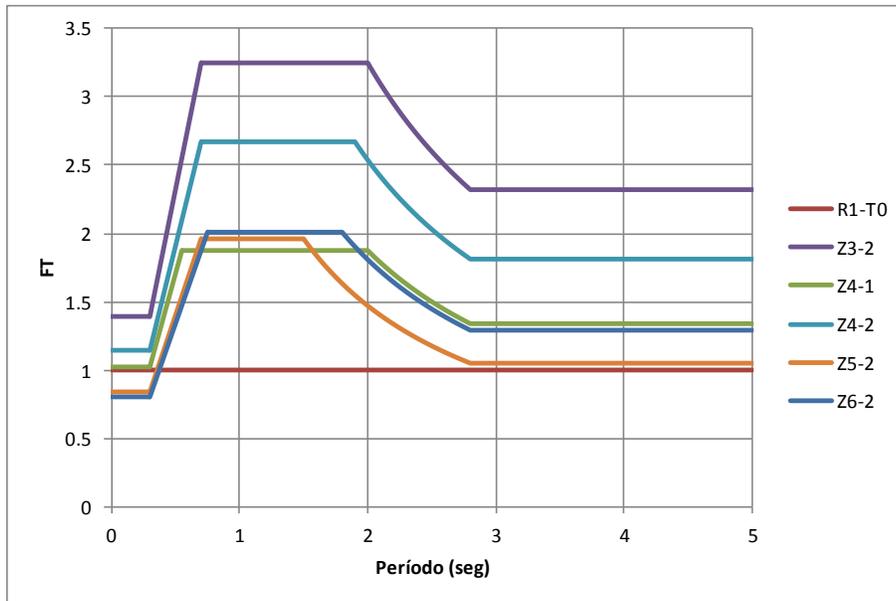
Utilizando las formas espectrales con las modificaciones propuestas y tomando como valor en roca el espectro de aceleraciones asociado a dicha zona se procede al cálculo de las funciones de transferencia espectrales para la inclusión de los efectos de sitio en el cálculo probabilista de riesgo sísmico en las edificaciones del Municipio de Chacao.

El cálculo de las funciones de transferencia se realiza para cada una de las 32 ordenadas espectrales para las cuales se ha calculado la amenaza sísmica, de tal forma que haya una total correspondencia de dichos valores. Así pues, cada punto dentro de la microzona tendrá asociada una función de transferencia espectral que dé cuenta de la modificación de la amplitud de la onda sísmica como consecuencia de la presencia de depósitos de suelos blandos.

La función de transferencia para cada una de las microzonas se calcula como el coeficiente entre el valor de la aceleración en suelo dividido entre el valor en roca. La

Figura 3-51 presenta las funciones de transferencia para las microzonas del Municipio de Chacao. Para la zona de roca, la función de transferencia toma el valor de 1.0 para todas las ordenadas espectrales.

Figura 3-48. Funciones de Transferencia para las Microzonas del Municipio de Chacao



De lo anterior es evidente que, salvo para los rangos de períodos cortos de las Microzonas 5-2 y 6-2, en todos los casos el suelo amplifica los valores de la amplitud hasta por factores superiores a 3.0; lo anterior principalmente en los rangos de períodos intermedios (zona de velocidad constante).

4. Evaluación Probabilista de la Amenaza por Inundaciones

En este capítulo se presenta la evaluación probabilista de la amenaza por inundación realizada para la cuenca de la quebrada Chacaito.

4.1 Caracterización a Nivel Nacional

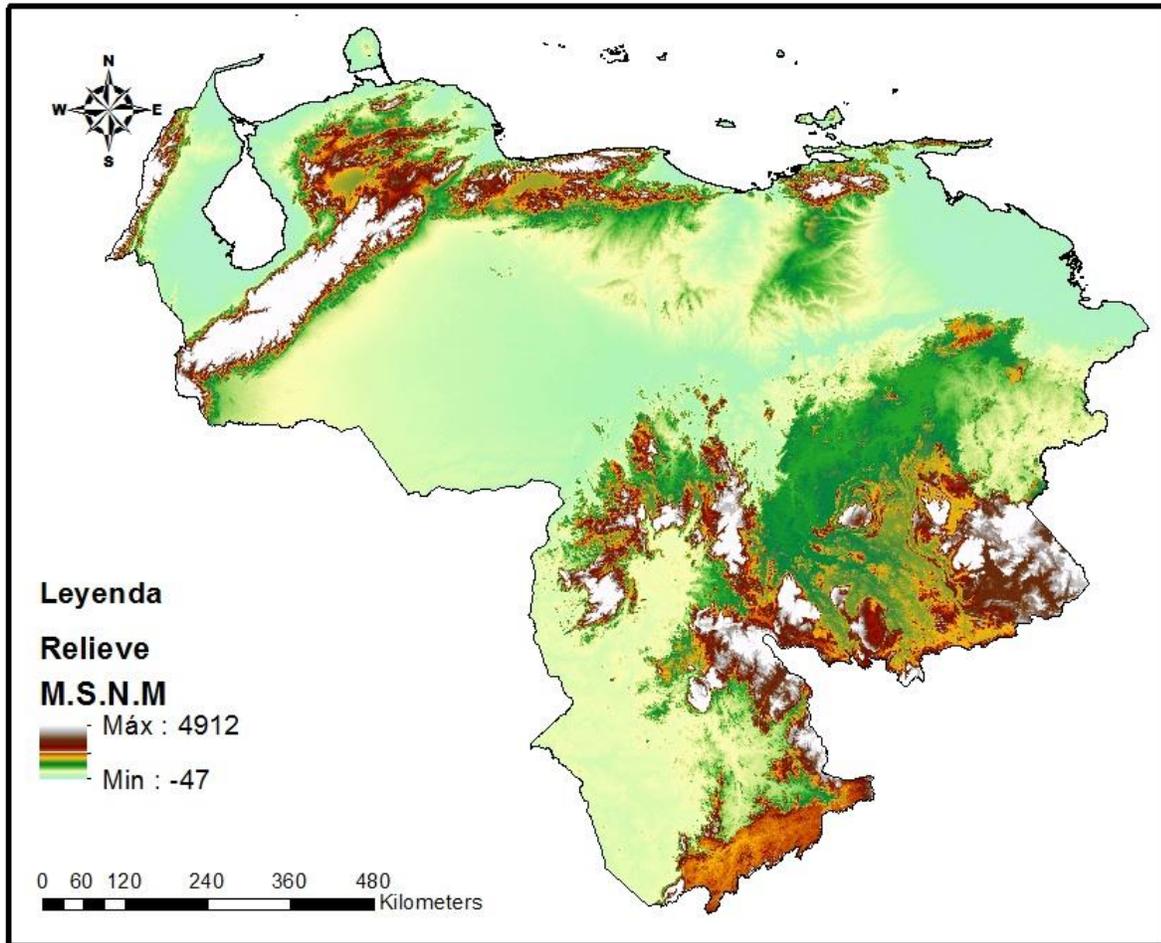
Las características físicas que se presentan a continuación se compilaron a partir de información topográfica obtenida de la SRTM, con una resolución espacial de 90 metros. Adicionalmente se tuvo en cuenta información geoespacial de cobertura de la tierra a partir del GLC2000.

El modelo digital de elevaciones fue corregido con herramientas disponibles en software de SIG. Adicionalmente fue utilizado para generar mapas de dirección de flujo, acumulación de flujo, redes de drenaje, longitudes de flujo, subcuencas y mapas de pendiente.

4.1.1 Caracterización

El modelo de elevación digital (DEM) del país se presenta en la Figura 4-1. En el territorio se observan alturas máximas de 4900 msnm, aproximadamente. Se destacan tres unidades geográficas principales en el país; Guyana venezolana, zona de llanura y las cordilleras septentrionales y costeras.

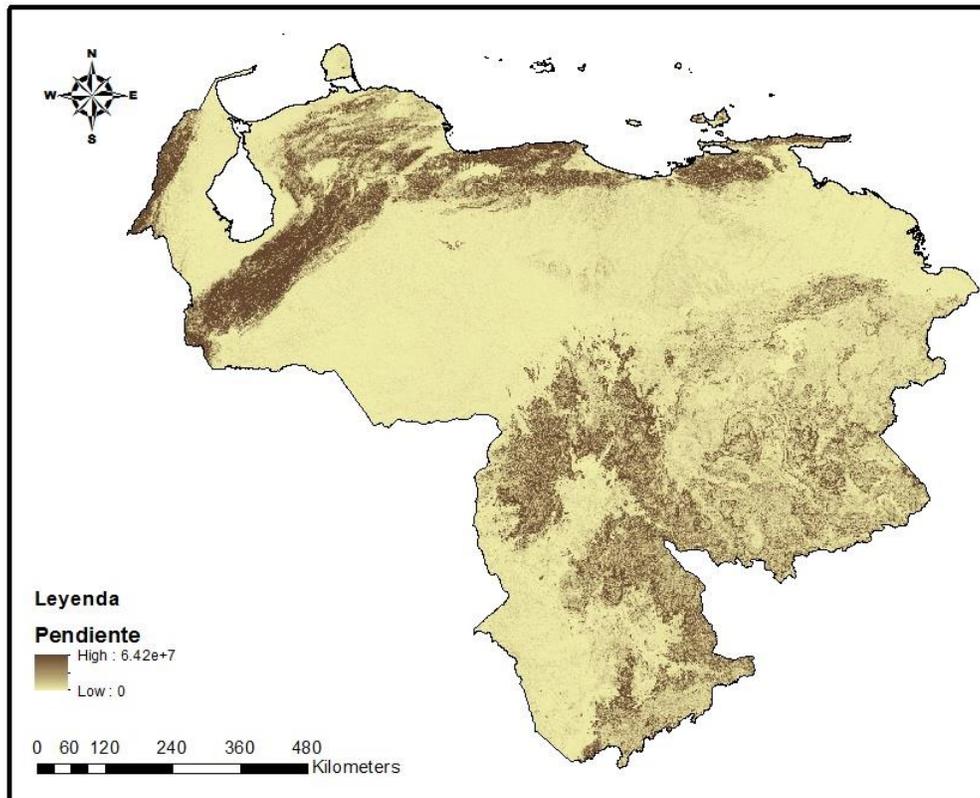
Figura 4-1. Mapa de Relieve Topográfico



La Figura 4-2 presenta el mapa de pendientes para el país. La pendiente es el parámetro principal que controla la velocidad de escorrentía superficial y afecta el tiempo de concentración en una cuenca determinada. Pendientes marcadas, como las que se presentan en la cordillera septentrional y costera, permiten que la escorrentía superficial afecte de manera importante durante eventos intensos de precipitación, mientras que en la zona de llanura occidental con pendientes menores al 6.5% se favorece la infiltración y el encharcamiento. Es necesario establecer la necesidad del país en cuanto a los fenómenos que controlan el riesgo y en dónde se localizan teniendo en cuenta herramientas como los mapas de pendientes, debido a que si la mayoría de elementos expuestos se concentran en zonas de alta pendiente es necesario establecer modelos de crecientes, donde el parámetro que controla la

amenaza es la velocidad de flujo. Si, por el contrario, el país concentra su mayor capital expuesto en zonas de baja pendiente, es necesario establecer modelos de inundación de llanura donde el parámetro que controla la amenaza es el tirante hídrico.

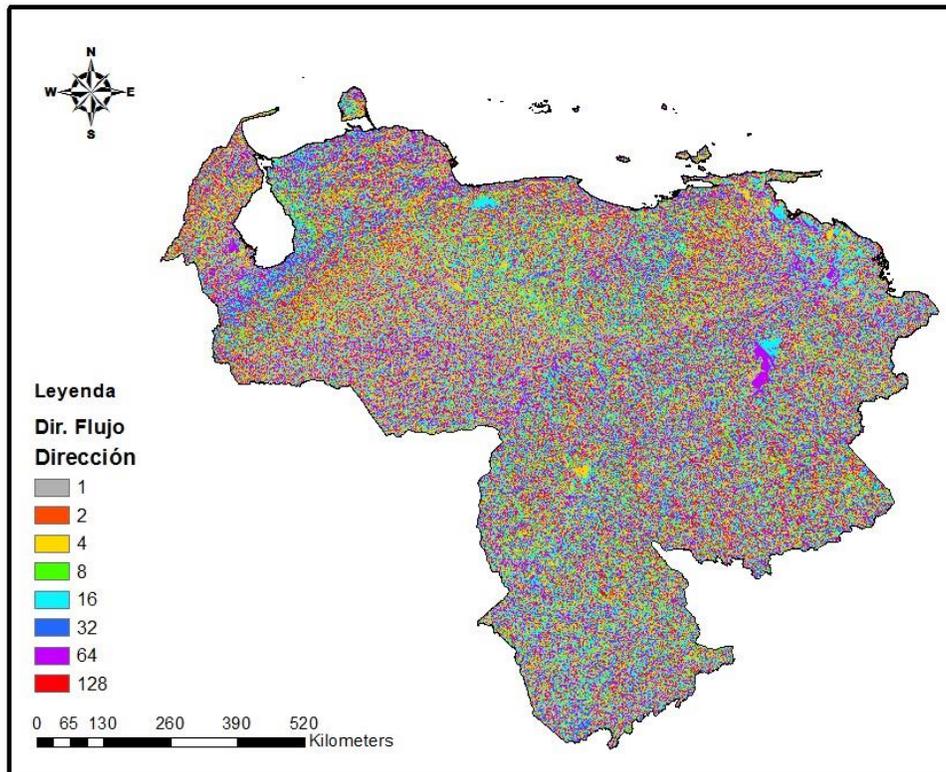
Figura 4-2. Mapa de Pendientes



4.1.2 Sistema de Drenaje

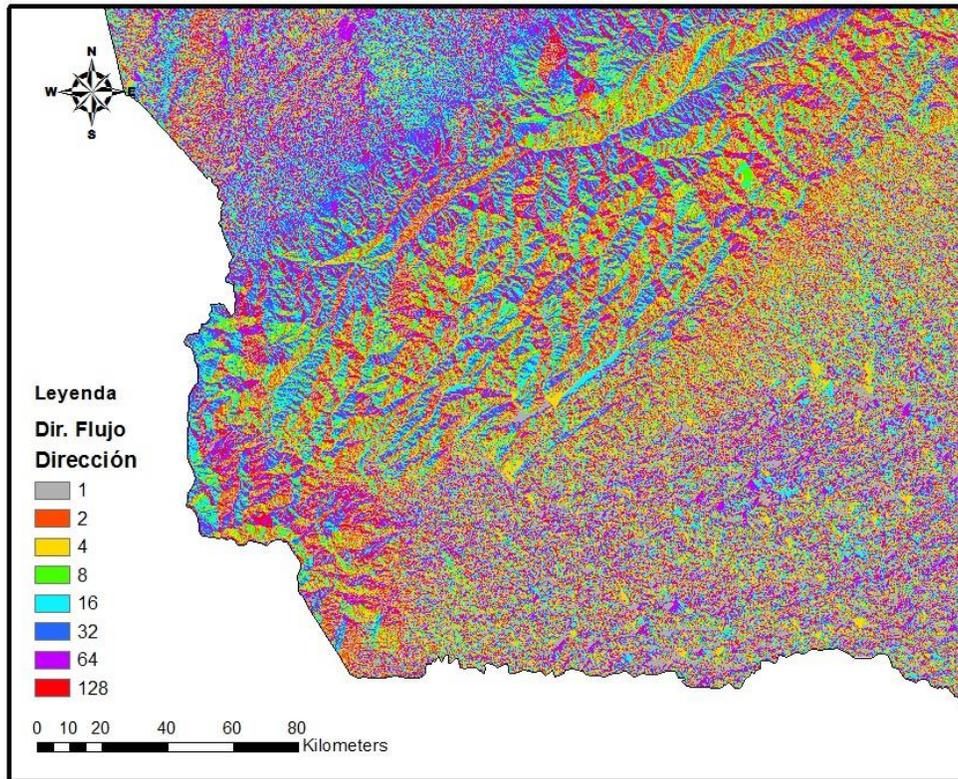
Los sistemas de drenaje de una zona de análisis comprenden los ríos principales y sus ríos afluentes o tributarios. Los mapas para el análisis de drenaje se obtienen a partir del DEM corregido, e incluyen: mapa de direcciones de flujo, mapa de acumulación de flujo, mapa de corrientes, delimitación de cuencas y subcuencas, mapa de puntos de drenaje y mapa de pendientes. A continuación se presentan cada uno de los mapas mencionados para el país.

Figura 4-3. Direcciones de Flujo



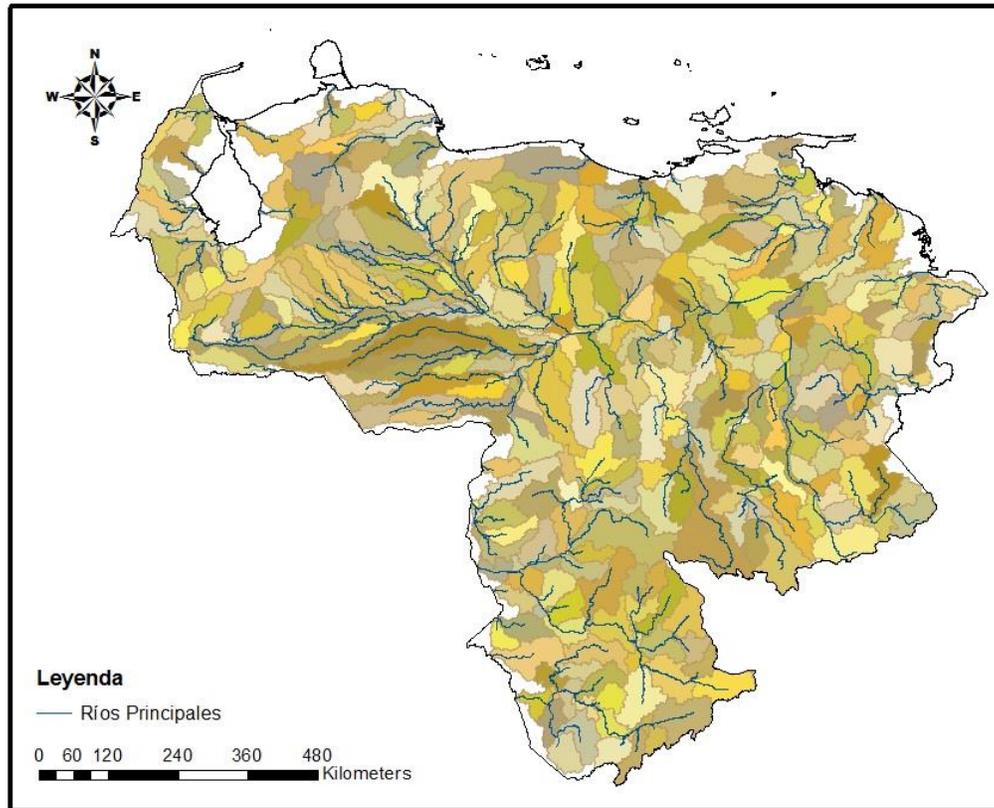
La Figura 4-3 presenta el mapa de direcciones de flujo para el país. Este mapa representa las direcciones de movimiento mediante colores diferenciados en 8 posibilidades de movimiento de una gota de agua que pudiera caer sobre alguno de los pixeles del DEM. La importancia del mapa es la definición de líneas divisorias de aguas en zonas montañosas y, a su vez, de zonas de acumulación de agua en zonas llanas. La Figura 4-4 presenta un acercamiento del mapa de direcciones de flujo sobre las regiones Zuliana, Los Andes y Llanos occidentales. En ella se puede observar la definición de las direcciones de flujo en la zona montañosa con un buen nivel de detalle.

Figura 4-4. Direcciones de Flujo – Zoom



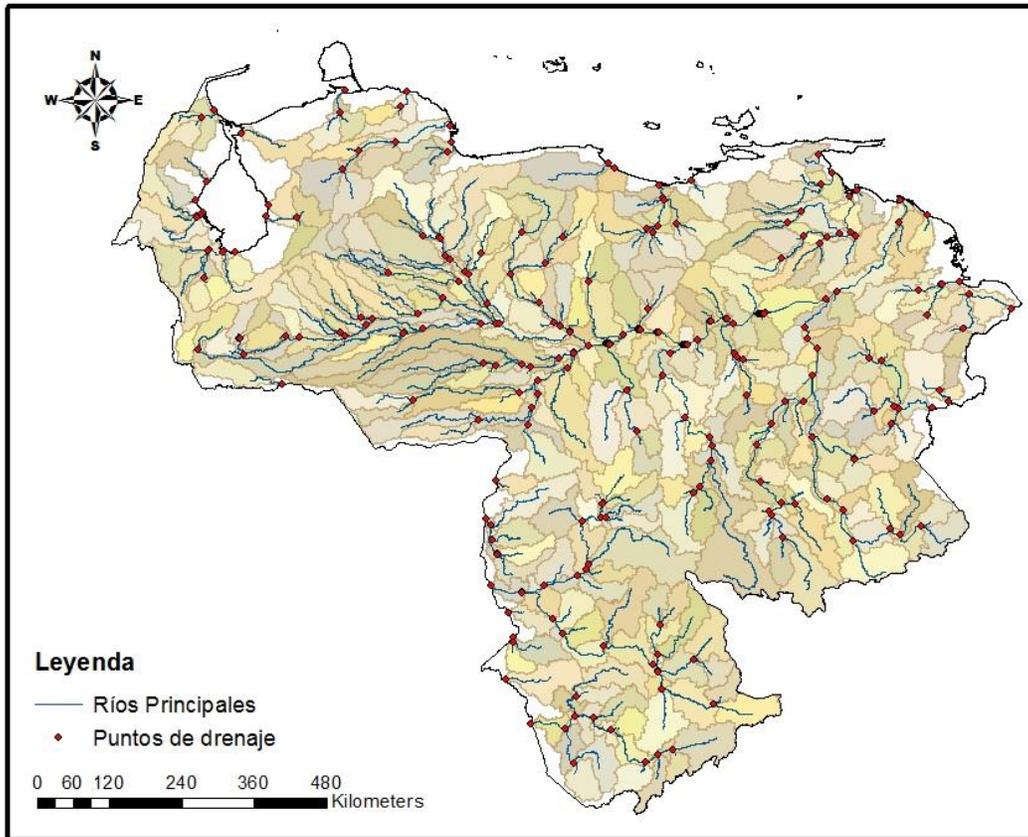
A partir del mapa de direcciones de flujo se obtiene el mapa de zonas de acumulación de flujo, que representa el número de celdas y/o píxeles que drenan aguas arriba a diferentes zonas de acumulación teniendo en cuenta la dirección de flujo. A partir de los mapas de acumulación de flujo y de dirección de flujo se definen las cuencas y subcuencas para el país. Así como también los cauces principales de cada una de las cuencas obtenidas.

Figura 4-5. Cuencas y Cauces Principales



La Figura 4-5 presenta las cuencas de Venezuela. Es posible ver que la posibilidad de selección de una sola cuenca de análisis requiere la conjunción de diferentes elementos que tienen que ver con la morfología de la zona de análisis, pero también con los elementos del análisis de riesgo (vulnerabilidad y elementos expuestos) debido a que la cantidad de cuencas y subcuencas susceptibles de ser analizadas es innumerable.

Figura 4-6. Puntos de Drenaje



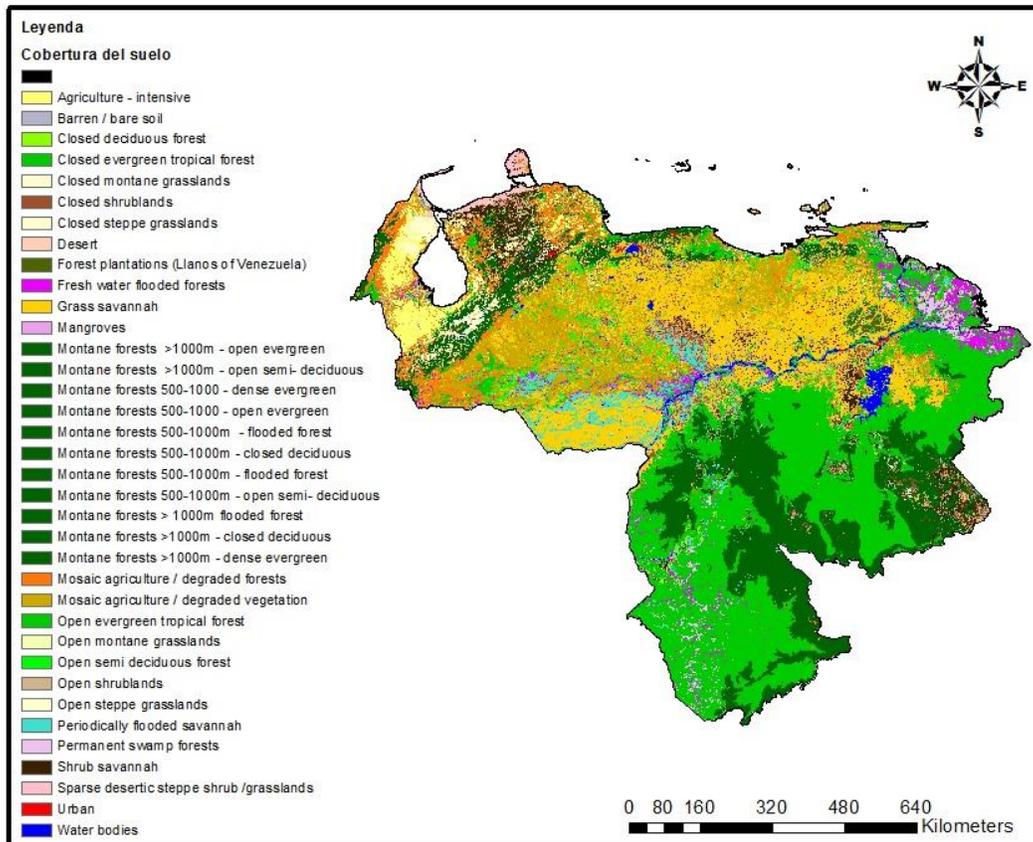
La Figura 4-6 presenta los puntos de drenaje de cada uno de los cauces principales del país. En cada uno de los puntos presentados se concentran los afluentes de ríos secundarios a ríos más importantes. Se observa, por ejemplo, el río Orinoco en el cual se concentra la mayor cantidad de ríos secundarios de oeste a este.

Cabe resaltar que dentro del proceso de selección de la cuenca de análisis es necesario tener en cuenta la información base para la modelación hidráulica. Dentro de esa información base se encuentran, entre otros: caudales históricos (30 años de medición) y secciones transversales. A medida que se tiene una mayor cantidad de puntos de drenaje a lo largo de un cauce principal es necesario conocer el caudal y su cambio en cada uno de los puntos de drenaje, así como el cambio en la morfología del cauce causado por la afluencia de ríos secundarios.

4.1.3 Cobertura del Suelo

A partir de la información publicada por el proyecto GLC2000, se obtiene la Figura 4-7, mediante la cual se obtienen datos sobre la cobertura de la tierra en el país con una resolución espacial de 90 metros.

Figura 4-7. Cobertura de la Tierra



La información consignada en el mapa anterior, en conjunto con información de tipo de suelo (geología) y de condición de la superficie (imágenes satelitales) determina las características de escorrentía del suelo. Para el proceso de selección de la cuenca de análisis se debe tener en cuenta no solo los aspectos inherentes a la modelación del riesgo de desastre; adicionalmente se debe tener en cuenta la cobertura y el uso del suelo en una zona en particular ya que afecta directamente la modelación de la amenaza por inundación.

4.1.4 Precipitación

La revisión de las características más importantes de la precipitación para el país fue realizada a partir de publicaciones nacionales (el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y otros) e internacionales con respecto a la caracterización climática en el territorio venezolano.

En la modelación de eventos de precipitación como amenaza primaria que detona eventos de inundación es indispensable el conocimiento de la distribución temporal y espacial de la precipitación sobre un territorio en particular. Es por esto que en el presente documento se establecen, a partir de la revisión bibliográfica, algunos elementos importantes con respecto a estos dos aspectos. Dichos elementos se suman a un conjunto de características y condiciones importantes a tener en cuenta a la hora de seleccionar de manera adecuada la cuenca de análisis de riesgo por inundación.

El territorio venezolano, con alguna excepción lógica en la zona costera, se caracteriza por tener precipitaciones de origen convectivo. (Lobo, et al. 2010). Estas precipitaciones se deben en mayor medida a la presencia de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) que atraviesa el territorio.

La distribución temporal y espacial de la precipitación afecta de manera directa diversas actividades del territorio venezolano. Por ejemplo, la concentración localizada de la precipitación en períodos breves de tiempo ocasiona eventos de inundación con altas pérdidas económicas y sociales. Mientras que la variabilidad y ausencia de la precipitación por un determinado periodo sobre un territorio netamente agrícola genera la pérdida de cultivos y de cobertura vegetal para usos silvo-pastoriles, por ejemplo.

4.2 Selección de la Cuenca

El objetivo de seleccionar una cuenca adecuada para llevar a cabo la evaluación de la amenaza por inundaciones, se identificaron de manera general las características principales a nivel físico y climático de la República Bolivariana de Venezuela. Lo

anterior con el objetivo de establecer un contexto en cuanto a relieve, forma, redes de drenaje, cuencas, tipos de suelo, capa vegetal y geología del país, así como también los regímenes de precipitación. Esta caracterización se llevó a cabo a nivel nacional.

Las características físicas y de precipitación del país fueron obtenidas a partir de la revisión de fuentes primarias y secundarias de información. Dentro de las fuentes primarias se encuentran diferentes estudios provenientes del INAMEH y diferentes publicaciones internacionales con información relevante para el país en términos de geomorfología y uso de la tierra.

Así mismo, dentro de las fuentes de información secundarias se destacan los parámetros de relieve, cobertura de la tierra y precipitación, obtenidos a partir de la interpretación de información de sensores remotos, tales como: el Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) de la Universidad de Columbia, Diva – Gis, Global Land Cover 2000 (GLC2000), Global Precipitation Climatology Project (GPCP) de la NASA y Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) también de la NASA. El procesamiento y análisis de dicha información proporciona elementos de contextualización del territorio que, dentro de un marco de decisión de cuenca de análisis, es determinante en conjunto con otros criterios de selección que tienen en cuenta conceptos de análisis de riesgo.

4.2.1 Criterios de Selección de la Cuenca de Análisis

El proceso de selección de la cuenca para el análisis de riesgo por inundación debe comprender un marco físico, de parámetros climáticos, y de conceptos generales de análisis de riesgo. Un análisis transversal de lo anterior conduce a una elección adecuada.

El análisis de riesgo involucra la evaluación de los elementos expuestos susceptibles a sufrir daño o afectación por las amenazas consideradas. Dichos elementos expuestos pueden ser componentes de obras de infraestructura, sus contenidos, y de manera general los ocupantes de la infraestructura expuesta o los habitantes de las poblaciones

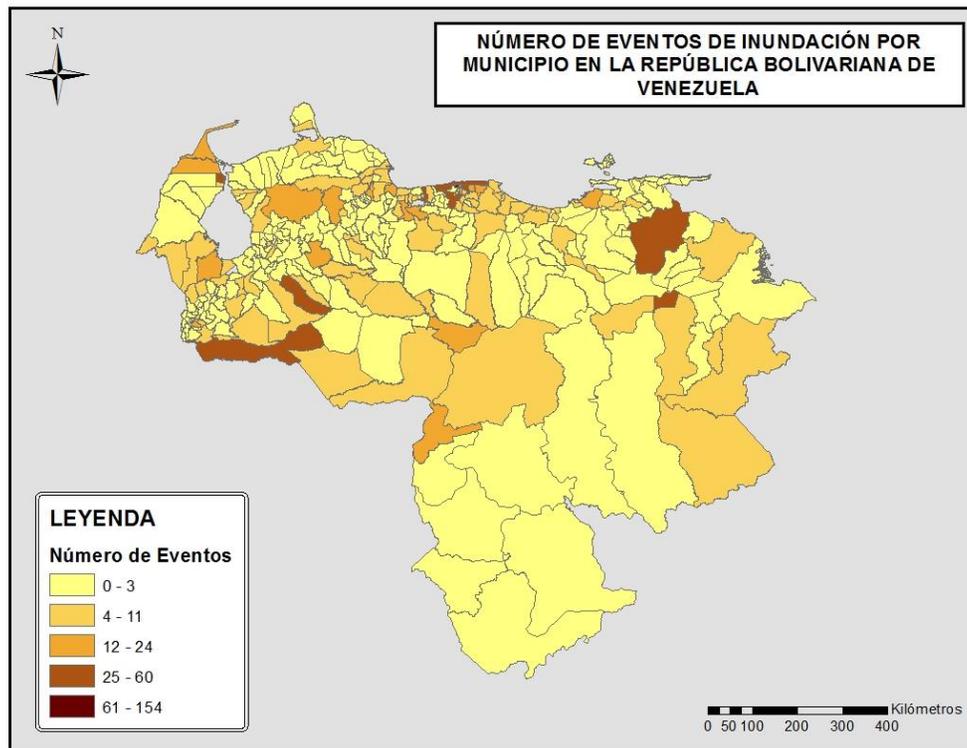
consideradas. En general, puede incluirse en la base de datos cualquier elemento geográficamente referenciado susceptible de sufrir algún tipo de daño por causa de cualquier parámetro de intensidad de amenaza que se defina. Una vez caracterizado cada uno de los componentes expuestos se hace necesario asignarles como mínimo una valoración económica, una ocupación humana y las funciones de vulnerabilidad que determinen la relación entre la intensidad de la amenaza y el daño del elemento analizado.

En virtud de lo anterior, se han determinado 2 criterios básicos a tener en cuenta para la selección de la cuenca de análisis.

4.2.2 Recurrencia de las Inundaciones

La recurrencia de eventos de inundación hace referencia a una revisión estadística en la base de datos de DESINVENTAR, en la cual se encuentran consignados los eventos de inundación por zonas desde 1970 hasta 2012, para el territorio venezolano. La Figura 4-8 presenta rangos de números de eventos por municipio para todo el país.

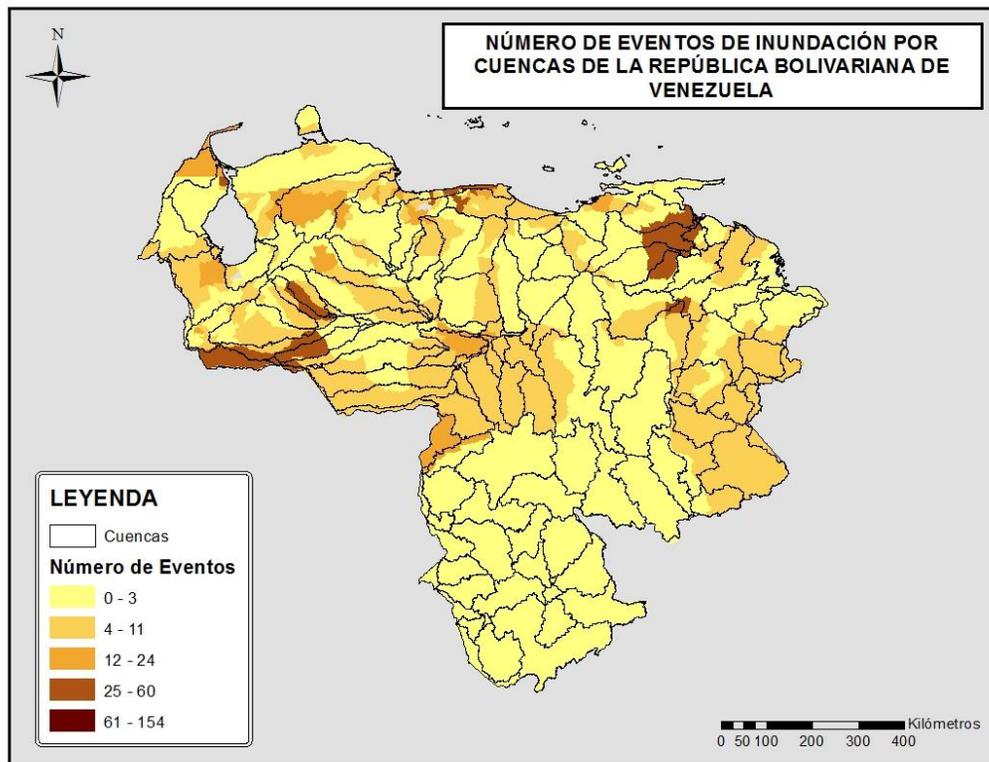
Figura 4-8. Eventos de Inundación por Municipio



Se evidencia que en las regiones de los llanos y noroccidental es donde se concentra el mayor número de eventos de inundación en el país históricamente. En cercanías a la capital se también concentra un alto número de eventos.

En la Figura 4-9 se presenta la misma distribución de número de eventos, pero para la delimitación de cuenca presentada anteriormente.

Figura 4-9. Eventos de Inundación por Cuenca



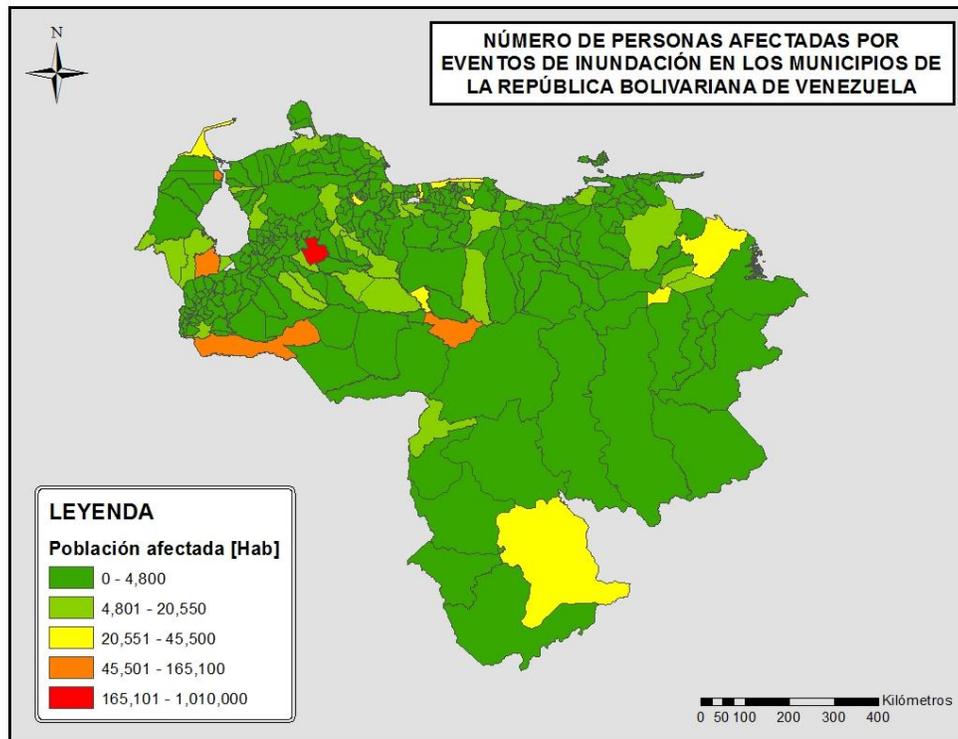
4.2.3 Población Afectada

A continuación se presenta la concentración de la población para el territorio venezolano por municipio y con la delimitación de cuencas hidrográficas presentadas anteriormente.

Dentro de los efectos de los desastres naturales se encuentran los causados a la población. En este caso se ha analizado la población afectada conjugando la totalidad de personas muertas, desaparecidas, heridas, damnificadas, afectadas, evacuadas y reubicadas por municipio para el territorio venezolano por concepto de eventos de inundación, entre 1970 y 2012. La Figura 4-10 presenta la población afectada para el período de análisis para cada municipio.

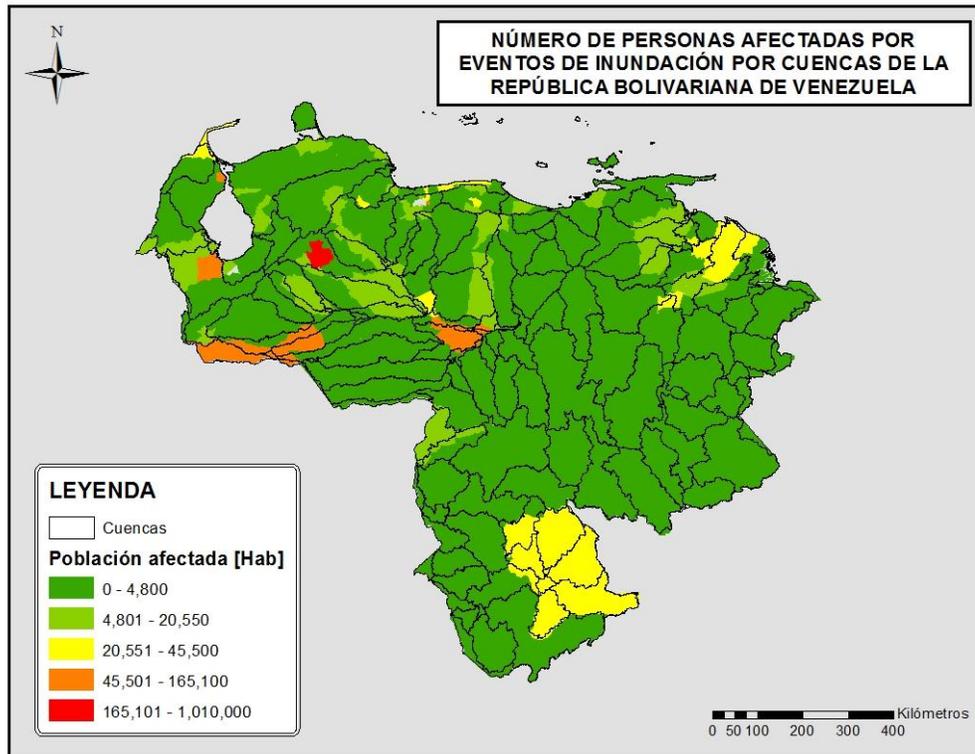
La Figura 4-11 establece la delimitación de las cuencas para la población afectada por eventos de inundación para el mismo período de análisis. En este caso se sigue manteniendo la tendencia de la superioridad de las regiones de los llanos y noroccidental, con respecto a la región sur y guyanesa.

Figura 4-10. Población Afectada por Municipio



Es importante tener en cuenta que el análisis de las Figuras 4-10 y 4-11 debe ser relativo a la población total de los municipios y/o cuencas, con el fin de contemplar la magnitud de la afectación en términos normalizados.

Figura 4-11. Población Afectada por Cuenca



Es claro que existen cuencas que contienen sectores sin población afectada aguas arriba y una gran concentración de población afectada aguas abajo, o viceversa. En este punto es necesario hacer claridad sobre el hecho que no se cuenta con una localización geográfica exacta de cada uno de los eventos de inundación para el período analizado, solamente se cuenta con el nombre del municipio afectado.

4.2.4 Resultado - Selección de la Cuenca

Dentro de las características y elementos de decisión que han sido mencionados se encuentran; características físicas y morfológicas, características de precipitación, recurrencia de eventos de inundación por zonas y cuencas, población afectada por eventos de inundación por zonas y cuencas.

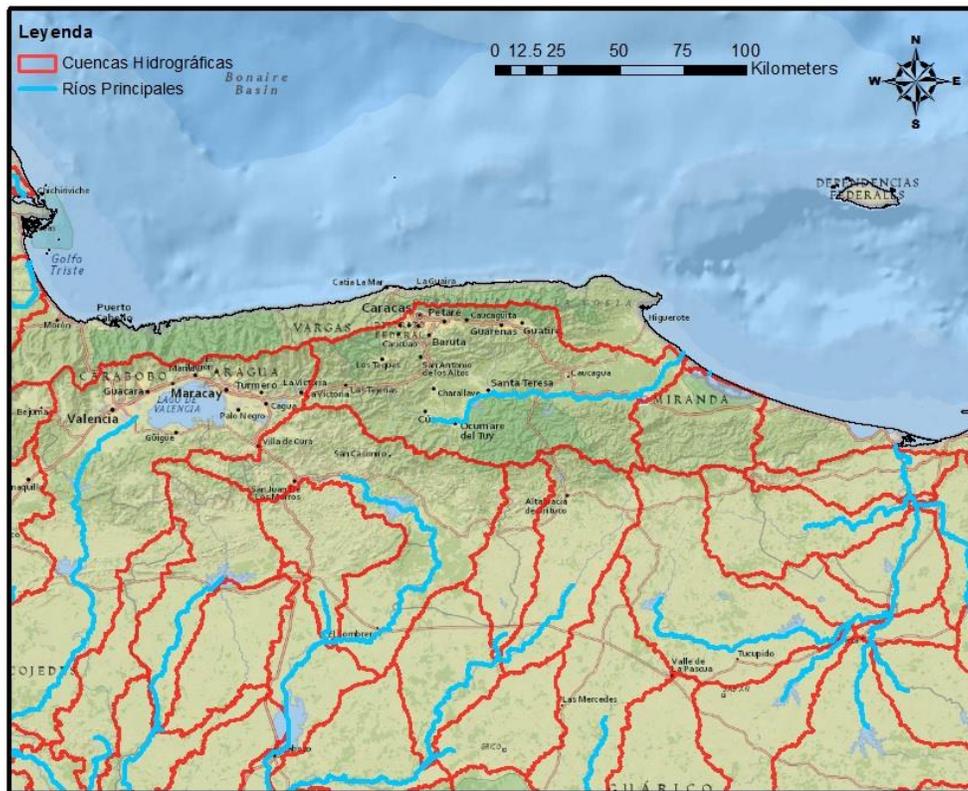
La selección de la cuenca para el análisis de riesgo por inundación debe contemplar los elementos mencionados, de acuerdo a las necesidades del país en cuanto a políticas públicas y de gestión del riesgo de desastre.

Teniendo en cuenta los criterios y elementos mencionados, la zona del estudio es la región costera norte. Compreendida en el cuadrante -68.4° , 10.8° / -64.9° , 10.8° / -64.9° , 8.8° / -64.9° , 8.8° . La Figura 4-12 presenta el área recomendada para el análisis de riesgo por inundaciones.

Esta definición se establece en función de los siguientes aspectos:

1. Es una zona con topografía variable, con zonas de montaña y zonas de llanura. Presenta pendientes entre 5% y 25%, ideales para una modelación hidráulica.
2. Presenta una diversidad de cuencas hidrográficas que pueden ser analizadas, dependiendo de la disponibilidad de información.
3. Los puntos de drenaje no representan una limitante en cuanto a medición de caudales en diferentes puntos de los cauces.
4. Presenta una cobertura de suelo relativamente homogénea.
5. Presenta una alta recurrencia de eventos de inundación para el período de análisis entre 1970 y 2012, según la base de datos de DESINVENTAR.
6. Hay una alta concentración de población, debido a que se encuentra la capital y zonas aledañas.
7. En sentido relativo, la afectación de población es alta con respecto a las demás zonas del país.

Figura 4-12. Área Recomendada del Estudio



4.2.5 Subcuenca Urbana Quebrada Chacaito (Caracas)

Haciendo referencia al cuadrante escogido anteriormente para el análisis, se plantea una posibilidad de selección de cuenca de análisis mostrada en la Figura 4-13.

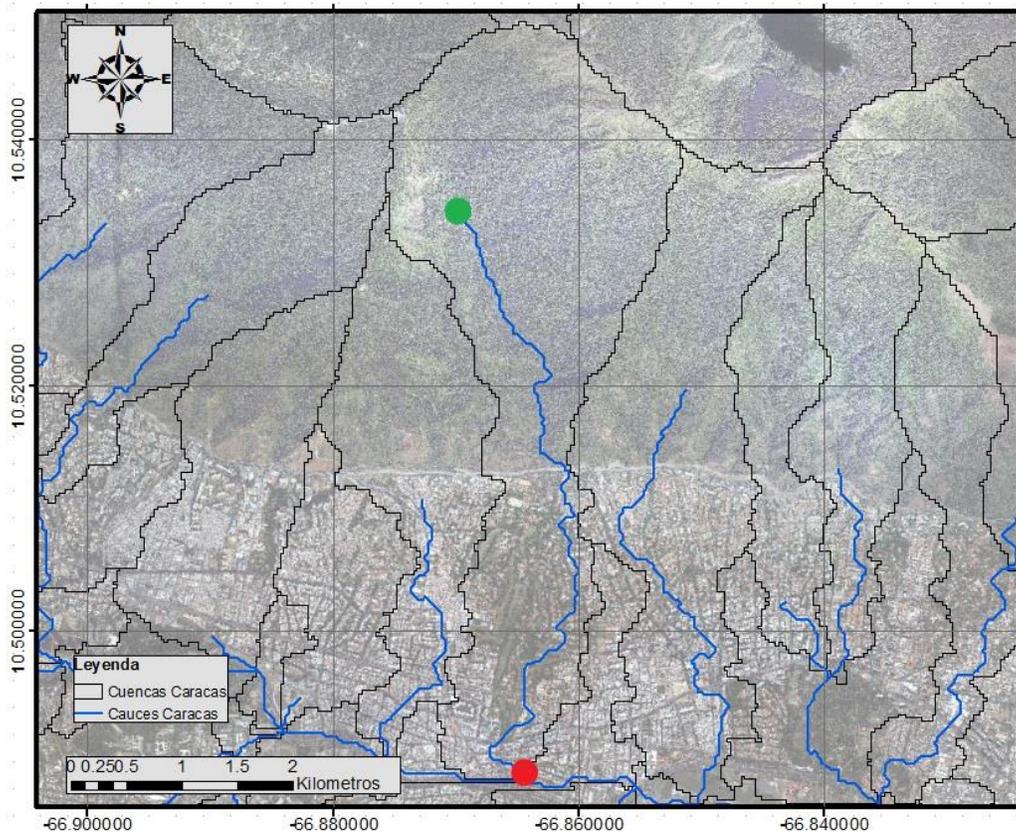
Figura 4-13. Cuenca Río Tuy



La quebrada Chacaito es afluente del río Guaire, que a su vez pertenece a la cuenca del río Tuy, y recorre la capital del país de occidente a oriente para desembocar en el río Tuy. Es un río urbano que nace en la cordillera costera al norte de Caracas, también conocida como Parque Nacional El Ávila.

En la Figura 4-14 se presenta la cuenca de la quebrada Chacaito, con sus puntos de nacimiento y desembocadura en el río Guaire. Tiene una extensión aproximada de 6 kilómetros y una pendiente media de 21%. Tiene su nacimiento a 2150 msnm y su desembocadura a 890 msnm, aproximadamente.

Figura 4-14. Cuenca Quebrada Chacaito



En la figura anterior se evidencia la gran densidad de población localizada en los abanicos aluviales de numerosas quebradas que drenan al río Guaire, entre ellas la quebrada Chacaito, en donde se han presentado un sin número de eventos de inundación de todo tipo; avenidas torrenciales, remansos del río Guaire, inundación repentina, etc.

La principal razón por la cual se presentan dichos eventos de inundación es la modificación de las condiciones de la cuenca en cuanto a permeabilidad de suelos y erosión. La población de dichos abanicos aluviales suele provocar un rápido cambio en las condiciones del suelo debido a la impermeabilización del mismo. Dichos cambios generan modificaciones inmediatas en los tiempos de concentración de cada una de las cuencas y, por lo tanto, el aumento de los caudales pico y las velocidades de flujo. Lo anterior, sin un manejo adecuado del crecimiento poblacional y de infraestructura

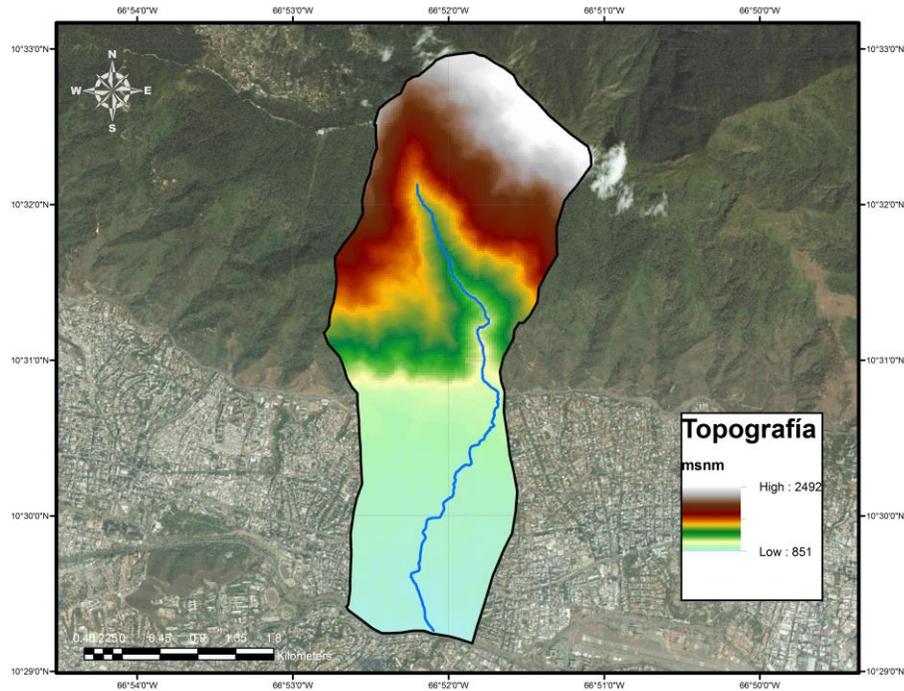
hidráulica, genera un incremento considerable en los eventos de inundación y, por ende, de las pérdidas humanas y económicas en las zonas inundables. Por lo anterior y por los diferentes elementos anteriormente se propuso la selección de la Quebrada Chacaito como caso de análisis de riesgo por inundación. Esta propuesta fue aceptada por parte de la contraparte venezolana, el INAMEH.

4.2.6 Morfometría de la Cuenca de la Quebrada Chacaito

La determinación de las características morformétricas de una cuenca es esencial para el conocimiento y la gestión adecuada de sus condiciones físicas y ambientales. Por medio de la morfometría se pretende determinar parámetros que permitan la caracterización física de la cuenca.

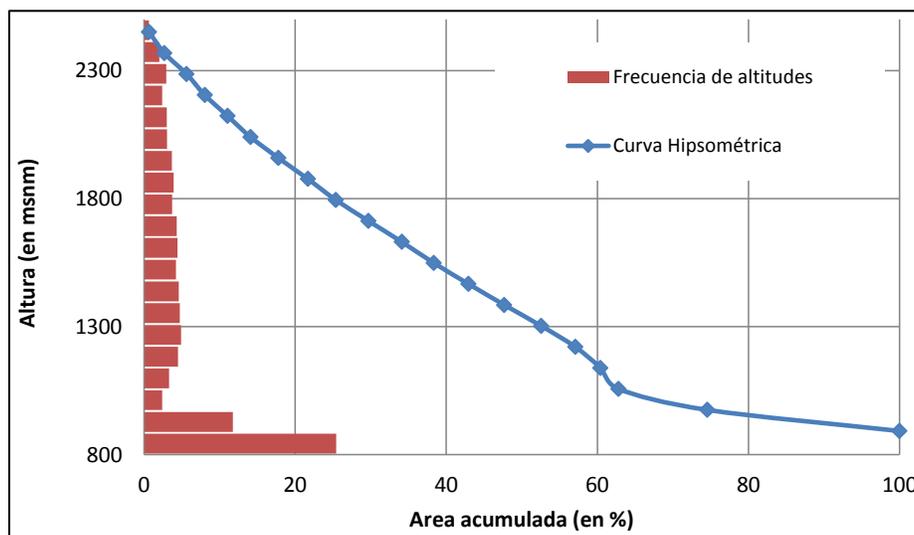
Cabe anotar que las características presentadas en este estudio son derivadas principalmente de la forma, relieve y red de drenaje de la cuenca. Todos los parámetros fueron calculados usando herramientas de SIG con funciones hidrológicas específicas y de manipulación de mapas tipo ráster. Como base del análisis morfométrico, se empleó el modelo digital de elevación disponible por la misión ASTER, el cual tiene resolución espacial de 30 metros.

Figura 4-15. Topografía de la Cuenca



A partir de la información topográfica mostrada en la Figura 4-15, se calculó la frecuencia de altitudes y la curva hipsométrica, Figura 4-16, la cual indica el porcentaje de área o superficie de la cuenca que existe por encima de una cota determinada.

Figura 4-16. Frecuencia de Altitudes y Curva Hipsométrica para la Quebrada Chacaito



La forma de la curva hipsométrica permite establecer que la cuenca es antigua y ha sufrido procesos de erosión y aludes torrenciales que afectan su morfología y permiten que exista una sedimentación alta, así como un tiempo de concentración corto.

A partir del modelo digital de elevación, se determinó la red hídrica de la cuenca, la cual tiene una longitud total de 33.6 Km, el cauce principal y las subcuencas. Así mismo se estableció la cuenca tributaria para el análisis de inundación, teniendo en cuenta que la modelación hidráulica se realizó en el tramo comprendido entre la cota 1000 msnm y la desembocadura en el río Guaire.

4.3 Modelación de Lluvias Intensas

El análisis de lluvias y la distribución de su intensidad en una región de análisis, constituyen el primer paso de posteriores evaluaciones de amenaza por inundación. El presente capítulo trata exclusivamente el modelo de generación de escenarios estocásticos de intensidad de lluvia, consistentes con la información registrada en una cuenca o región de análisis.

Se plantea la incorporación de un sistema de generación de lluvias convectivas estocásticas que permita definir escenarios de amenaza específicos para la posterior evaluación del peligro de inundación asociado. El modelo de análisis propuesto está compuesto de dos fases principales: la conformación de la base de datos de eventos de precipitación, y el análisis espacial de precipitaciones máximas.

El modelo de amenaza por lluvias intensas está basado en registros diarios de precipitación, a partir de los cuales se caracterizan las condiciones de precipitación de la cuenca en términos de curvas PADF (Precipitación-Área-Duración-Frecuencia), que relacionan la profundidad de precipitación esperada, con el área de influencia, la duración de la tormenta y su periodo de retorno (Ver Anexo 2 para el detalle de la metodología).

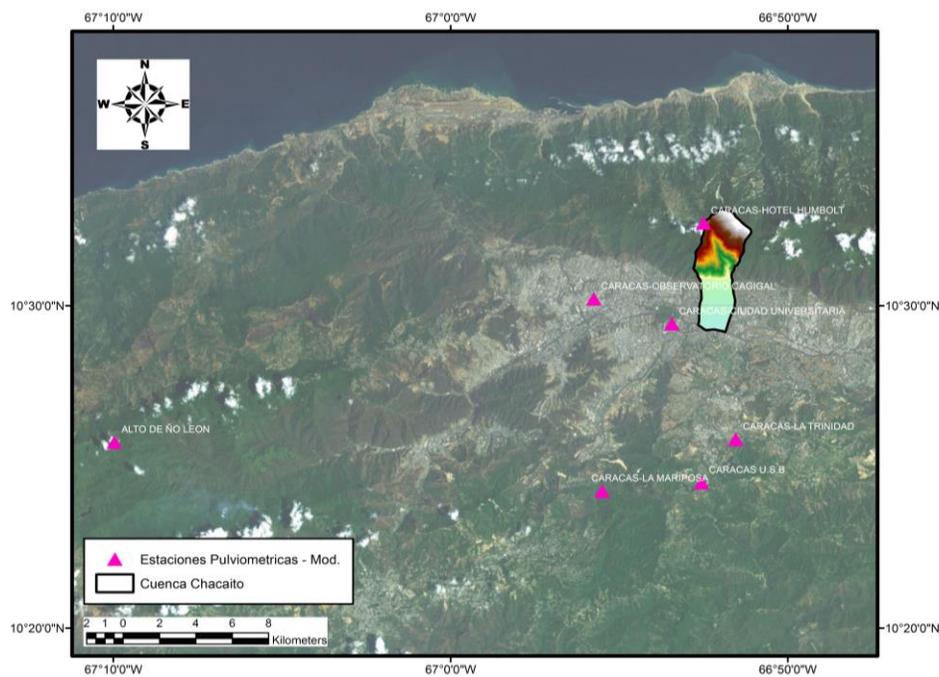
4.3.1 Información Disponible

La información disponible corresponde a registros de precipitación diaria en 7 estaciones pluviométricas ubicadas en Caracas y sus alrededores (INAMEH, 2014a). Todas las estaciones cuentan con un periodo de medición de 29 años (desde 1971 a 2000). Las 7 estaciones disponibles se listan en la Tabla 4-1, y su ubicación geográfica, respecto a Chacaito, se presenta en la Figura 4-17.

Tabla 4-1. Listado de Estaciones Pluviométricas con Registros Diarios Disponibles en Cercanías a la Cuenca de Chacaito

Código	Nombre	Elevación (msnm)	Institución	Periodo de Medición
e519	CARACAS - HOTEL HUMBOLT	2129	MA	1971-2000
e531	CARACAS - OBSERVATORIO CAGIGAI	1035	HN	1971-2000
e539	CARACAS - CIUDAD UNIVERSITARIA	884	UC	1971-2000
e563	CARACAS - LA MARIPOSA	980	MA	1971-2000
e623	CARACAS - LA TRINIDAD	962	MA	1971-2000
e1425	ALTO DE ÑO LEON	2101	MA	1971-2000
e5057	CARACAS U.S.B.	1225	MA	1971-2000

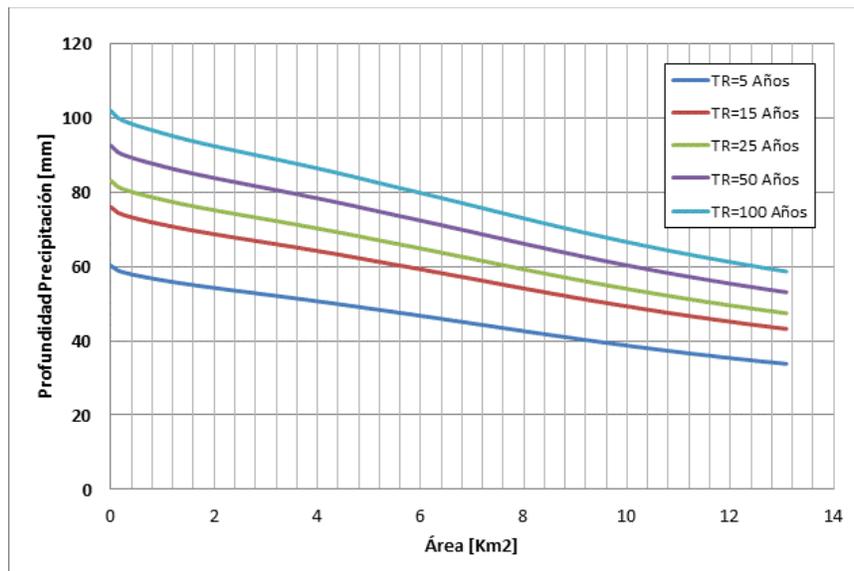
Figura 4-17. Ubicación Geográfica de las Estaciones Pluviométricas Respecto de la Cuenca de Chacaito



4.3.2 Resultado - Curvas PADF

A partir de la información completa de estaciones pluviométricas para un período diario mensual multianual se obtienen las curvas PADF para la quebrada Chacaito, para una duración de 1 día, usando el procedimiento presentado anteriormente. Estas curvas se presentan en la Figura 4-18.

Figura 4-18. Curvas PADF para Chacaito



4.4 Mapas de Escenarios de Lluvia Intensa para la Cuenca de la Quebrada Chacaito

Se calculó un conjunto de tormentas estocásticas siguiendo la metodología presentada en este informe para la quebrada Chacaito. En las Figuras 4-19 a 4-21 se presentan algunos mapas de escenarios seleccionados arbitrariamente con el fin de ejemplificar el resultado obtenido.

Figura 4-19. Mapas de Escenarios Seleccionados de Lluvias Intensas para Eventos de Precipitación de 1 Día. TR 5 Años. P[mm]

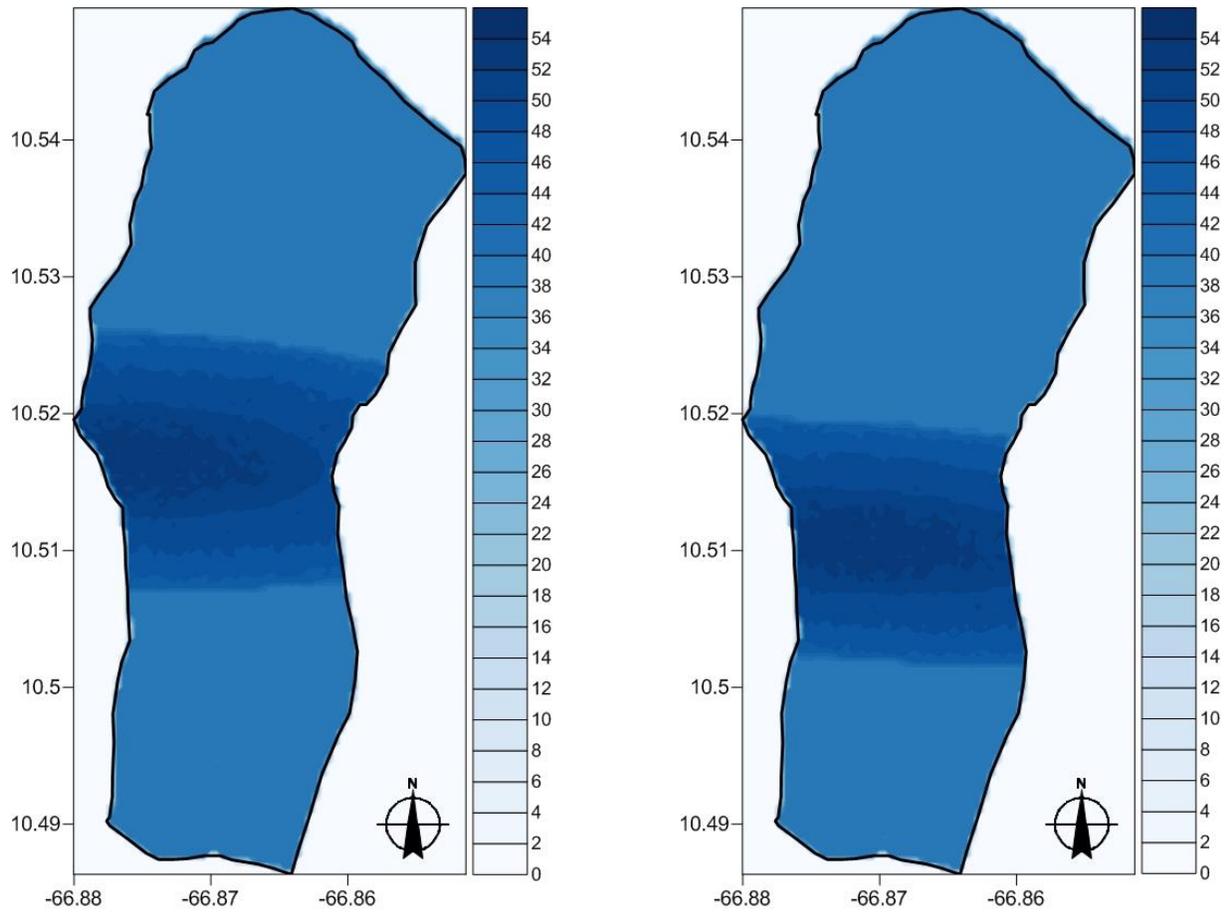


Figura 4-20. Mapas de Escenarios Seleccionados de Lluvias Intensas para Eventos de Precipitación de 1 Día. TR 50 Años. P[mm]

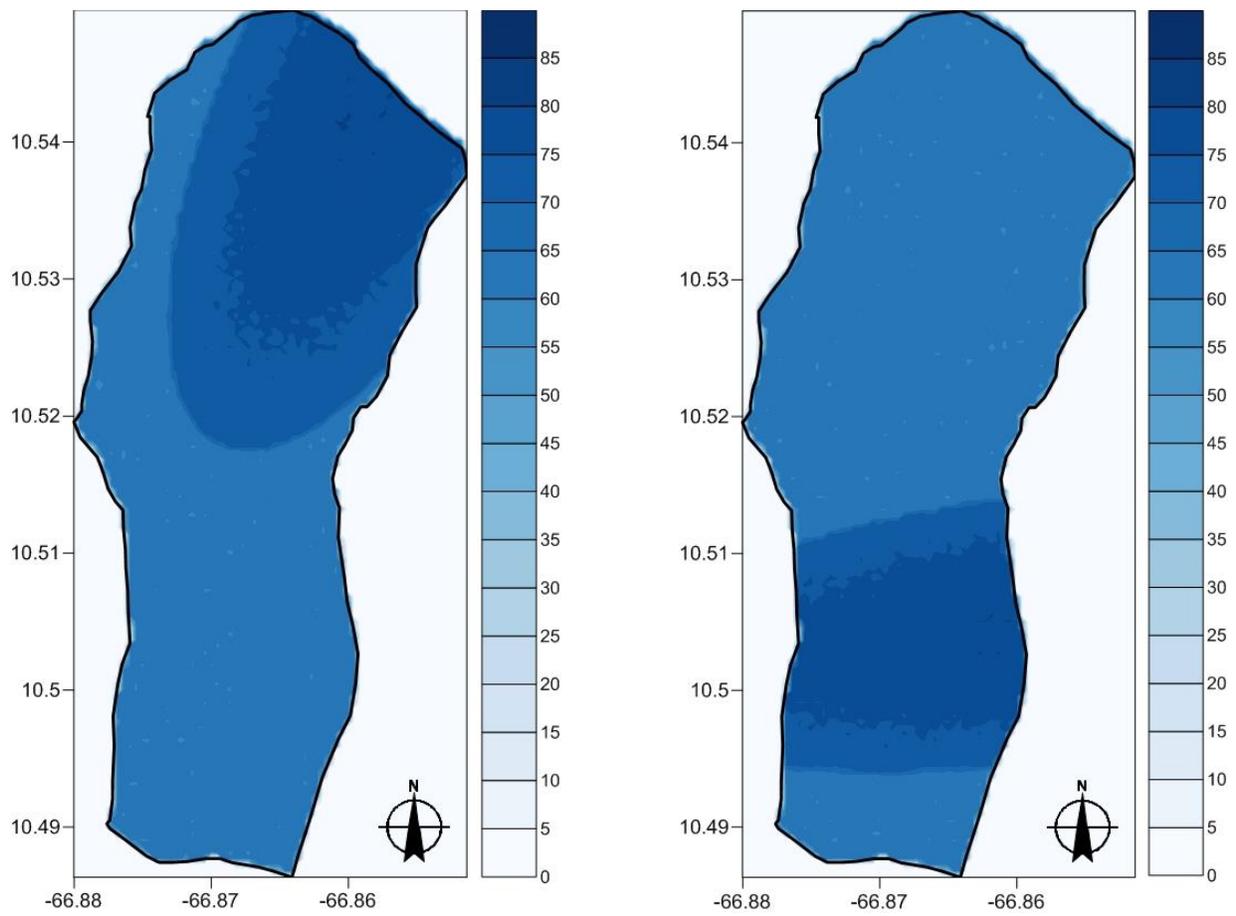
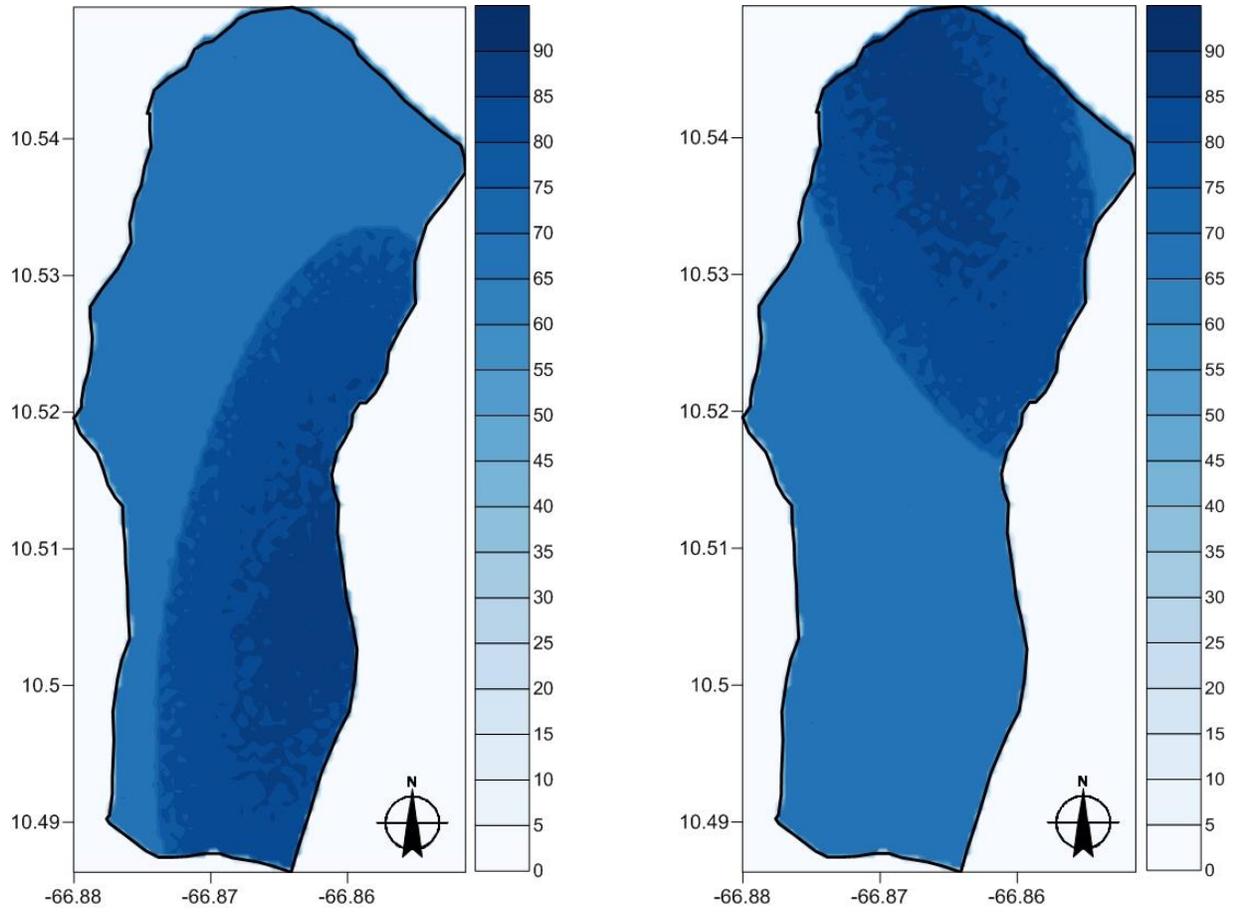


Figura 4-21. Mapas de Escenarios Seleccionados de Lluvias Intensas para Eventos de Precipitación de 1 Día. TR 100 Años. P[mm]



4.5 Amenaza por Inundación

La amenaza por inundación en la cuenca de la quebrada Chacaito se calculó por medio de la combinación de cuatro aspectos fundamentales en la modelación hidrodinámica:

1. Modelación de la precipitación (sección 3 de este informe).
2. Estimación de los volúmenes de flujo.
3. Análisis lluvia-escorrentía.
4. Análisis hidráulico.

Dado que la modelación de la precipitación se presentó de manera detallada en la sección anterior, en esta sección se presentan los aspectos adicionales que intervienen en el modelo, así como los resultados finales de la evaluación de la amenaza. El procedimiento general de evaluación de la amenaza por inundación es el siguiente:

1. Construcción de las curvas PADF y generación de un conjunto de tormentas estocásticas a partir de los registros históricos de precipitación para la cuenca de análisis (sección 3). Cada tormenta del conjunto constituye un *escenario* de análisis.
2. Con la información de precipitación neta para cada escenario de lluvia se obtienen los volúmenes de escurrimiento dentro de la cuenca.
3. Para determinar el hidrograma a la salida de la cuenca tributaria, se emplea el método del hidrograma unitario triangular.
4. Se selecciona un punto a partir del cual se llevará a cabo el análisis hidráulico de la inundación. Este debe corresponder a la desembocadura de la cuenca tributaria de crecientes.
5. Con la el modelo digital de elevación, transformado en secciones transversales al cauce del río, y el hidrograma de cada escenario, se realiza un análisis hidráulico de flujo unidimensional para el tránsito de las crecientes.
6. Se almacenan los valores de inundación máxima para cada escenario, con lo que se crea una malla de inundación por escenario. Esto implica que el resultado final de la evaluación es un conjunto de escenarios de inundación.

4.5.1 Volúmenes de Flujo

Como método para determinar los volúmenes de flujo se emplea el *número de curva* o *factor de escurrimiento* dado por el Soil Conservation Service de los Estados Unidos. Al definir los factores de escurrimiento, es posible determinar la *precipitación efectiva*.

La precipitación efectiva corresponde a la intensidad de lluvia remanente, luego que, de la profundidad total de precipitación aportada por la tormenta, se ha gastado una porción en procesos hidrológicos de infiltración, interceptación y evapotranspiración. Ésta escorrentía se calcula en función del valor total de precipitación y del factor de escurrimiento en determinado punto, de la siguiente manera:

$$P_e = \frac{\left[P_m - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P_m + \frac{2032}{N} - 20.32} \quad \text{(Ec. 1)}$$

En donde P_e es la precipitación efectiva en cm, P_m es la precipitación de la tormenta en cm, y N es el factor de escurrimiento.

El factor de escurrimiento es un indicador global de la cantidad de agua que será absorbida o transpirada por los suelos superficiales. Se obtiene como función del uso de la tierra, la cobertura vegetal y las condiciones de infiltración y transpiración del suelo superficial. En la se presentan los valores de N para diferentes suelos y condiciones de uso.

El rango de aplicación de la ecuación 10, es para valores de:

$$P_m > \frac{508}{N} + 5.08 \quad \text{(Ec. 2)}$$

Fuera de este intervalo se considera que la precipitación efectiva es igual a cero. También se debe garantizar que la precipitación efectiva no sea mayor que la precipitación de la tormenta.

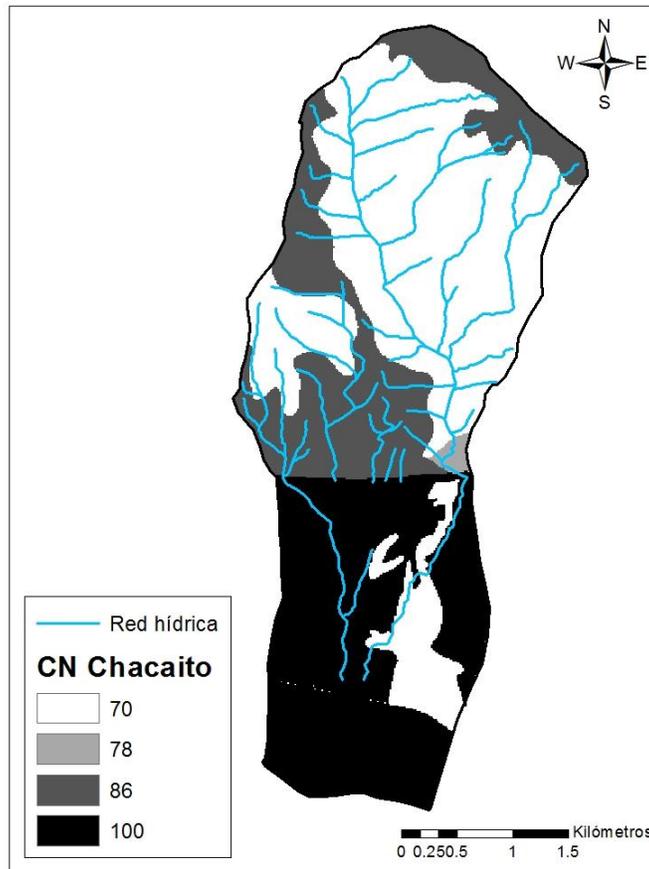
Tabla 4-2. Valores de N para Diferentes Tipos de Suelo y Usos de la Tierra (Cobertura)

USO DE LA TIERRA O CUBIERTA	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TIPO DE SUELO			
		A	B	C	D
Bosques (sembrados y cultivados)	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, transpiración media	36	60	73	79
	Espeso o alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De tierra	72	82	87	89
	Superficie dura	74	84	90	92
Bosques Naturales	Muy ralo o baja transpiración	56	75	86	91
	Ralo, baja transpiración	46	68	78	84
	Normal, transpiración media	36	60	70	76
	Espeso, alta transpiración	26	52	62	69
	Muy espeso, alta transpiración	15	44	54	61
Descanso (sin cultivo)	Surcos rectos	77	86	91	94
Cultivo de surco	Surcos rectos	70	80	87	90
	Surcos en curvas de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
Cereales	Surcos rectos	64	76	84	88
	Surcos en curvas de nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
Leguminosas (sembrada con maquinaria o al voleo) o potrero de rotación.	Surcos rectos	62	75	83	87
	Surcos en curvas de nivel	60	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
Pastizal	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curvas de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel, normal	25	59	75	83
	Curvas de nivel, bueno	6	35	70	79
Potrero (permanente)	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable		100	100	100	100
CLASIFICACIÓN DE SUELOS (según afectan las características del material en el escurrimiento)					
Tipo A: (Escurrecimiento mínimo). Incluye gravas y arenas de tamaño medio, limpias, y mezclas de ambas.					
Tipo B: Incluye arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena y limo.					
Tipo C: Comprende arena muy fina, arcillas de baja plasticidad, mezclas de arena, limo y arcilla.					
Tipo D: (Escurrecimiento máximo). Incluyendo principalmente arcillas de alta plasticidad, suelos poco profundos con sub-horizontes casi impermeables cerca de la superficie					

A partir de información disponible de usos del suelo, cobertura vegetal y zonificación geológica y geotécnica, el personal de INAMEH (INAMEH, 2014b) determinó la clasificación presentada en la Figura 4-22, en términos del número de curva, entre 0 y 100, en donde 0 representa las zonas que poseen mayor capacidad de absorción de

agua en un evento de precipitación, mientras que zonas identificadas con números de curva cercanos a 100 poseen una mayor capacidad de escurrimiento de agua en un evento de precipitación determinado. La zonificación presentada corresponde a un nivel de saturación intermedio del suelo.

Figura 4-22. Zonificación del Número de Curva para la Cuenca de la Quebrada Chacaito



4.5.2 Lluvia-Escorrentía

Para la caracterización de los hidrogramas de entrada al cauce de análisis, se emplea el método del hidrograma triangular (ver Anexo 3).

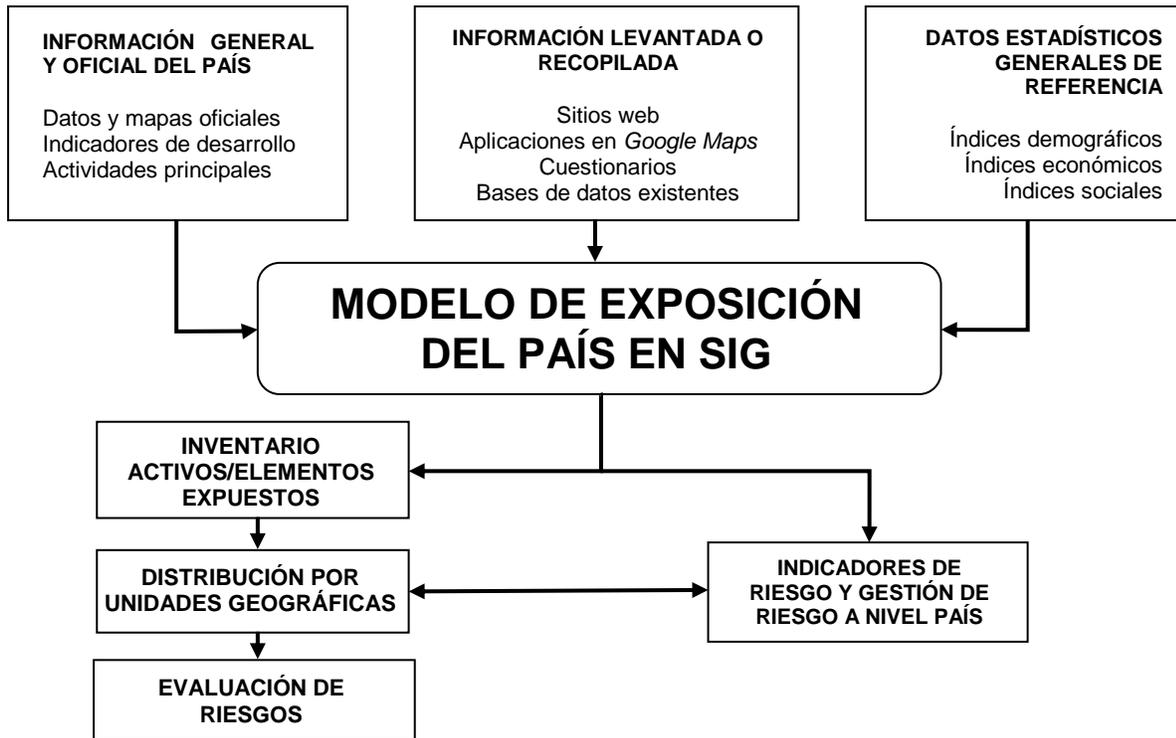
5. Modelo de Activos Expuestos

5.1 Desarrollo del Modelo

La información de exposición frente a fenómenos naturales corresponde al inventario de bienes inmuebles e infraestructura que pueden ser afectados y se expresa en términos de activos y de población. Es un componente fundamental en el análisis o evaluación de riesgo y de su resolución y detalle depende el grado de precisión de los resultados. El modelo puede evaluarse con diferentes niveles de resolución y cuando no se cuenta con información al detalle es necesario realizar estimaciones aproximadas que representen o den cuenta de dicho inventario de activos expuesto en forma aproximada. La Figura 5-1 presenta el procedimiento general para desarrollar un modelo simplificado de activos expuestos para el país.

El objetivo del modelo simplificado de activos expuestos es además distribuir el inventario geográficamente, de tal manera que represente en forma general la ubicación de los activos y de la población expuesta. La exposición estará dada por tipos de componentes con su ubicación geográfica, el valor asignado de reposición, la ocupación estimada en número de personas y las características que permitan asignar funciones de vulnerabilidad ante las diferentes amenazas con fines de estimar el riesgo. Estas bases de exposición están conformadas por indicadores de exposición en términos de tipo de infraestructura general del país y de las ciudades, su valoración económica y su ocupación humana. El modelo también intenta proporcionar información para la formulación de indicadores de riesgo. El esquema de la Figura 5-1 ilustra el modelo utilizado, en el cual la información se concentra en una base de datos para su posterior análisis y uso.

Figura 5-1. Modelo de Activos Expuestos



El modelo de exposición aproximado requiere las siguientes definiciones:

(a) Caracterización geográfica y división política: el modelo se plantea mediante una categorización en las siguientes unidades¹⁰:

- i. Estados o provincias (unidades subnacionales)
- ii. Municipios que conforman Estados
- iii. Ciudades principales que conforman municipios
- iv. Los municipios a su vez estarían subdivididos en área rural y área urbana

(b) Para caracterizar las diferentes zonas urbanas se plantea una zonificación en regiones homogéneas en términos de características de la infraestructura,

¹⁰ La nomenclatura puede cambiar de país en país pero en general se mantiene el carácter de división política.

concentración de población, actividad económica, condiciones socioeconómicas, características topográficas e importancia institucional, entre otras.

- (c) Igualmente, cuando es necesario se caracterizan las diferentes zonas rurales de los municipios para lo cual se plantea una zonificación en regiones homogéneas en términos de características de uso, densidad de construcciones, concentración de población, actividad económica, características topográficas u otras variables útiles para el análisis.

Cuando el tipo de análisis lo requiere se utilizan zonas geográficas más detalladas por ejemplo para ciudades en las cuales se incluye en el análisis el nivel de localidad, de barrio o comuna.

5.2 Información General del País

5.2.1 Conformación de la Base de Datos para el Análisis del Riesgo

Los indicadores de exposición se desarrollan con el fin de representar la exposición física, económica y humana de un país o una ciudad en términos geográficos. Para esto se clasifican en las siguientes categorías principales:

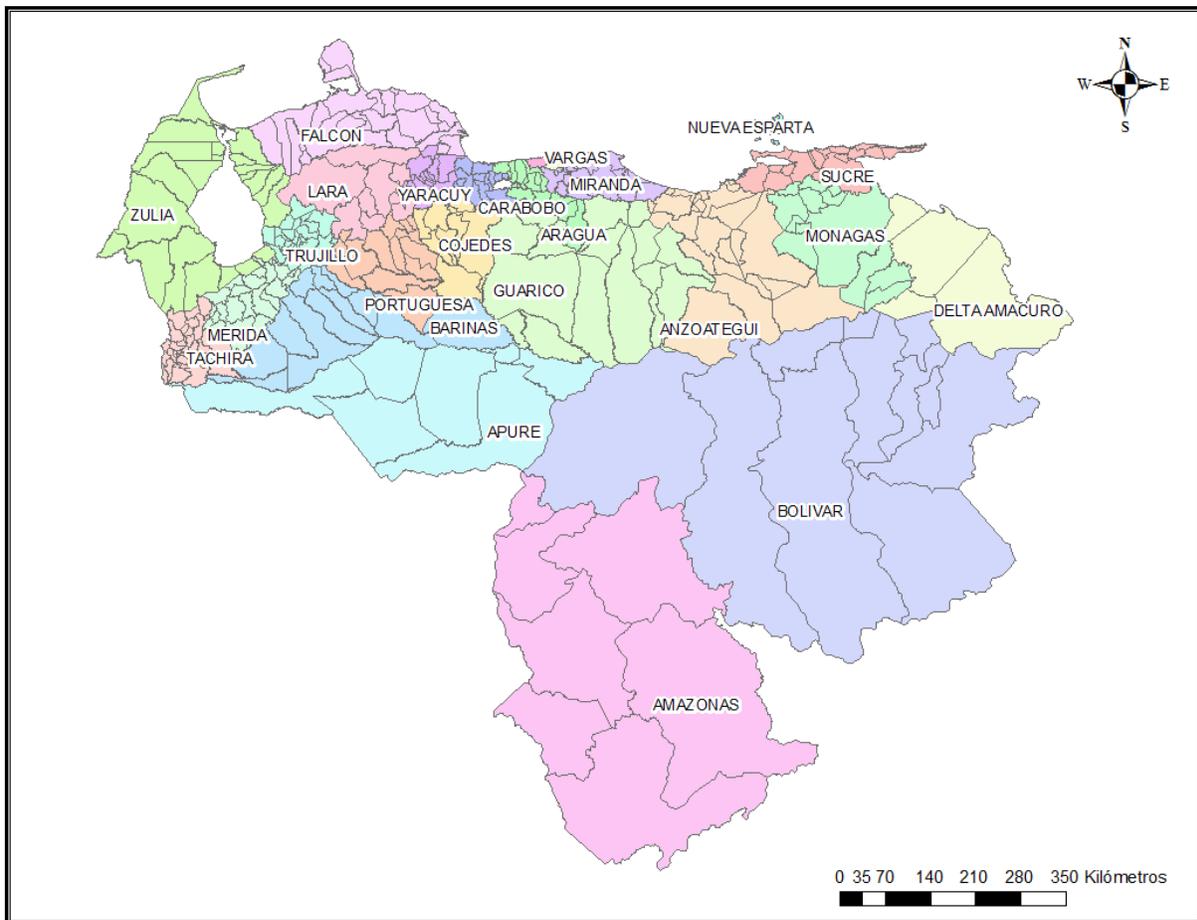
- Construcciones de las principales ciudades del país
- Infraestructura urbana relevante para las principales ciudades del país
- Infraestructura relevante a nivel nacional
- Construcciones a nivel rural (cuando sea relevante)

Adicionalmente la metodología permite incluir en forma complementaria otro tipo de elementos expuestos tales como cultivos, elementos bióticos o ambientales y en general cualquier tipo de elemento susceptible a sufrir daños por cuenta de fenómenos amenazantes. Los indicadores de exposición se desarrollan con la ayuda de una hoja electrónica de cálculo.

5.2.2 Descripción Geográfica y División Política del País

Venezuela limita al norte con el mar Caribe, al oeste con Colombia, al sur con Brasil y al este con Guyana. Se encuentra organizado políticamente en 25 entidades subnacionales llamadas Estados y 336 Municipios. La superficie total de la República Bolivariana de Venezuela es de 930,380 km² y una población de 28,371,503 habitantes. La Figura 5-2 presenta la división política y distribución geográfica de la entidades subnacionales.

Figura 5-2. División Política Nacional Principales Entidades Subnacionales



La información geográfica recopilada se organiza de acuerdo con la Tabla 5-1 en donde se especifican las unidades subnacionales presentes en el país junto con un código o

identificador único. Por otro lado Tabla 5-2 presenta un listado de las ciudades más importantes y la entidad subnacional a la que pertenece.

Tabla 5-1. Ejemplo de Distribución de Entidades Subnacionales

ID	ID Estado	Estado	ID Muni	Municipio
0101	01	Distrito Capital	01	Libertador
0201	02	Amazonas	01	Autónimo Alto Orinoco
0202	02	Amazonas	02	Autónimo Atabapo
0203	02	Amazonas	03	Autónimo Atures
0204	02	Amazonas	04	Autónimo Autana
0205	02	Amazonas	05	Autónimo Maroa
0206	02	Amazonas	06	Autónimo Manapiare
0207	02	Amazonas	07	Autónimo Río Negro
0301	03	Anzoátegui	01	Anaco
0302	03	Anzoátegui	02	Aragua
0303	03	Anzoátegui	03	Fernando de Peñalver
0304	03	Anzoátegui	04	Francisco del Carmen Carvajal
0305	03	Anzoátegui	05	Francisco de Miranda
0306	03	Anzoátegui	06	Guanta
0307	03	Anzoátegui	07	Independencia
0308	03	Anzoátegui	08	Juan Antonio Sotillo
0309	03	Anzoátegui	09	Juan Manuel Cajigal
0310	03	Anzoátegui	10	José Gregorio Monagas
0311	03	Anzoátegui	11	Libertad

Tabla 5-2. Ejemplo de Características de las Ciudades más Importantes

ID Ciudad	Ciudad	ID Estado	ID Municipio
1	Caracas (Municipio Libertador)	01	01
2	Simón Bolívar	03	18
3	Girardot	05	03
4	Caroní	07	01
5	Heres	07	05
6	Valencia	08	14

5.2.3 Distribución de la Población

La población total del país es de 28,371,503 habitantes (proyectada al 2014, según el Censo del año 2011 – Instituto Nacional de Estadísticas de la República Bolivariana de Venezuela) con una tasa de crecimiento del 1.42% para los años posteriores (según las estadísticas del Banco Mundial), de la cual el 88.8% pertenece a población urbana (25,198,684 habitantes) y el 11.2% a población rural (3,172,819 habitantes). La población está compuesta por un 27.0% de niños y adolescentes (7,356,774 habitantes, 0-14 años), un 67.0% de jóvenes y adultos (18,250,657 habitantes, 15-64 años), y un 5.8% son mayores de 65 años (1,584,166 habitantes, personas de la tercera edad).

El 37.9% (10,758,555 habitantes) de la población es económicamente activa. De esta, el 8.9% pertenecen al área de agricultura, el 25.1% al área de industria y el 66.0% al área de servicios. Considerando los diferentes niveles de desarrollo de varios segmentos de la población, se establece una clasificación de acuerdo con el nivel de complejidad del desarrollo. Esta permite la diferenciación de varios índices usados en la formulación de los indicadores de complejidad tales como densidad de población urbana, precio por metro cuadrado, niveles de ocupación, tipos y costos de servicios públicos, etc.

5.2.4 Base de Datos de Construcciones

Metodología y Alcance

Con el objeto de identificar el valor expuesto de construcciones en el país, se realizó un inventario lo más exhaustivo posible de los centros urbanos correspondientes a cada una de las entidades subnacionales; que en este caso son estados. Para el análisis, el parámetro que ofrece la mayor confiabilidad es la población oficial reportada en cada unidad de división política y administrativa. Los datos de población oficial y una serie de indicadores son usados para estimar el número y tipo de desarrollos localizados en cada uno de los centros urbanos. En consecuencia, la misma información de población es usada para establecer escenarios hipotéticos de ocupación para cada una de las edificaciones de las ciudades analizadas.

Los tipos de edificación se estiman según los sectores económicos presentes y las necesidades básicas de la población como son el servicio de salud y educación, entre otros. La composición (uso) y tamaño (m²) de las construcciones se estima utilizando el censo de vivienda desagregado según los siguientes grupos de uso:

- (a) Residencial PB: capacidad económica baja (Res PB)
- (b) Residencial PM: capacidad económica media (Res PM)
- (c) Residencial PA: capacidad económica alta (Res PA)
- (d) Comercial (Com)
- (e) Institucional (Ind)
- (f) Salud privada (SalPri)
- (g) Educación privada (EduPri)
- (h) Salud pública (SalPub)
- (i) Educación pública (EduPub)
- (j) Gubernamentales (Gob)

Para la elaboración de este análisis es necesario estimar el área construida por habitante, los tipos de usos y los niveles de complejidad, el valor económico de cada metro cuadrado de desarrollo por tipo de uso y nivel de complejidad, y el nivel de ocupación por cada tipo de desarrollo en un escenario dado, expresado en términos de metros cuadrados de área construida por tipo de uso y nivel de complejidad.

En algunos casos y cuando no se cuenta con la información del censo de vivienda, la discretización por usos y tamaños de construcción se realiza de acuerdo con los valores típicos de los países de la región que tengan condiciones socioeconómicas y de desarrollo similares.

El análisis de exposición de construcciones en centros urbanos se realiza para un total de 25 Estados que incluyen en general una población en áreas urbanas de más de 21 millones de habitantes.

Conformación de la Base de Datos de Construcciones

Utilizando la información anterior se conforma la base de datos de áreas construidas, de valores expuestos y de ocupación representativa para cada uno de los grupos de uso y para cada uno de los Estados, teniendo en cuenta la población urbana. Dicha información se presenta en forma resumida de Tabla 5-3 y Tabla 5-4.

Tabla 5-3. Ejemplo de Base de Datos Distribución de Áreas Construidas por Unidad Subnacional y Grupo de Uso

ID Estado	Estado	Municipio	ID	m ² construidos										Total
				ResPB	ResPM	ResPA	Com	Ind	SalPri	EduPri	SalPub	EduPub	Gob	
				(m ² x10 ³)										
01	Distrito Capital	Libertador	0101	2,272.64	21,896.4	2,781.41	12,665.5	7,545.0	8.1	1,318.9	14.6	3,896.7	1,127.0	53,526.2
02	Amazonas	Autónomo Alto Orinoco	0201	12.75	91.7	12.71	26.5	25.5	0.0	4.7	0.0	12.6	8.3	194.8
02	Amazonas	Autónomo Atabapo	0202	9.21	66.3	9.18	19.2	18.4	0.0	6.0	0.0	16.0	6.0	150.4
02	Amazonas	Autónomo Atures	0203	127.45	855.7	119.56	218.1	209.1	0.3	83.9	0.6	238.1	68.4	1,921.3
02	Amazonas	Autónomo Autana	0204	8.39	60.4	8.36	17.5	16.8	0.0	6.2	0.0	16.5	5.5	139.6
02	Amazonas	Autónomo Maroa	0205	2.04	14.7	2.03	4.2	4.1	0.0	1.1	0.0	3.0	1.3	32.5
02	Amazonas	Autónomo Manapiare	0206	7.75	55.8	7.73	16.1	15.5	0.0	3.8	0.0	10.1	5.1	121.9
02	Amazonas	Autónomo Río Negro	0207	2.31	16.6	2.30	4.8	4.6	0.0	1.3	0.0	3.5	1.5	37.0
03	Anzoátegui	Anaco	0301	143.37	1,381.4	175.47	662.6	747.7	0.5	100.1	0.9	295.8	35.7	3,543.6
03	Anzoátegui	Aragua	0302	35.67	239.5	33.46	157.6	177.8	0.1	19.8	0.2	56.2	8.5	728.7
03	Anzoátegui	Fernando de Peñalver	0303	40.89	274.5	38.36	180.7	203.9	0.1	23.3	0.2	66.0	9.7	837.6
03	Anzoátegui	Francisco del Carmen Canvejai	0304	14.72	105.9	14.67	79.2	89.3	0.0	8.8	0.1	23.5	4.3	340.5
03	Anzoátegui	Francisco de Miranda	0305	52.79	354.4	49.53	233.3	263.2	0.1	30.1	0.2	85.3	12.6	1,081.6
03	Anzoátegui	Guanta	0306	37.77	253.6	35.44	166.9	188.3	0.1	20.5	0.2	58.1	9.0	769.9
03	Anzoátegui	Independencia	0307	36.70	246.4	34.43	162.2	183.0	0.1	20.7	0.2	58.6	8.7	751.1
03	Anzoátegui	Juan Antonio Sotillo	0308	286.11	2,756.7	350.17	1,322.3	1,492.0	1.0	192.1	1.8	567.6	71.3	7,041.1
03	Anzoátegui	Juan Manuel Cajigal	0309	13.54	97.4	13.50	72.8	82.2	0.0	7.3	0.1	19.4	3.9	310.0
03	Anzoátegui	José Gregorio Monagas	0310	17.62	126.7	17.56	94.7	106.9	0.0	9.5	0.1	25.2	5.1	403.4
03	Anzoátegui	Libertad	0311	14.51	104.3	14.46	78.0	88.0	0.0	7.5	0.1	20.0	4.2	331.2
				31,845	275,688	35,955.1	141,966	124,401	104	19,915	182	57,894	10,948	698,898
				698,898										

Tabla 5-4. Ejemplo de Base de Datos Distribución de Valores Expuestos por Unidad Subnacional y Grupo de Uso

Municipio	ID	Valor construcciones										Total
		ResPB	ResPM	ResPA	Com	Ind	SalPri	EduPri	SalPub	EduPub	Gob	
		(Bs x10 ⁶)										
Libertador	0101	9,660.99	232,704.06	47,295.11	134,602.18	128,296.01	137.77	14,016.51	198.39	41,412.40	11,977.03	620,300.45
Autónomo Alto Orinoco	0201	27.10	487.20	108.02	141.06	216.45	0.27	25.09	0.32	66.73	44.25	1,116.50
Autónomo Atabapo	0202	19.58	352.11	78.07	101.95	156.43	0.19	32.03	0.23	85.18	31.98	857.75
Autónomo Atures	0203	379.27	6,365.66	1,423.14	1,622.43	2,489.46	4.14	624.37	5.58	1,770.94	508.96	15,193.96
Autónomo Autana	0204	17.84	320.73	71.11	92.86	142.49	0.18	32.98	0.21	87.69	29.13	795.22
Autónomo Maroa	0205	4.33	77.92	17.28	22.56	34.62	0.04	5.92	0.05	15.75	7.08	185.55
Autónomo Manapiare	0206	16.48	296.27	65.69	85.78	131.62	0.16	20.23	0.20	53.80	26.91	697.13
Autónomo Río Negro	0207	4.91	88.32	19.58	25.57	39.24	0.05	7.05	0.06	18.73	8.02	211.54
Anaco	0301	609.48	14,680.50	2,983.69	7,042.10	12,713.04	8.69	1,064.09	12.52	3,143.92	379.49	42,637.51
Aragua	0302	106.14	1,781.42	398.26	1,172.45	2,116.62	1.16	147.33	1.56	417.87	63.18	6,206.00
Fernando de Peñalver	0303	121.67	2,042.14	456.55	1,344.05	2,426.41	1.33	173.15	1.79	491.11	72.43	7,130.63
Francisco del Carmen Canajal	0304	31.29	562.70	124.76	420.71	759.51	0.31	46.97	0.37	124.90	22.67	2,094.21
Francisco de Miranda	0305	157.10	2,636.77	589.49	1,735.41	3,132.92	1.71	223.85	2.31	634.91	93.52	9,207.98
Guanta	0306	112.41	1,886.65	421.79	1,241.71	2,241.65	1.23	152.27	1.66	431.90	66.91	6,558.18
Independencia	0307	109.22	1,833.21	409.84	1,206.54	2,178.16	1.19	153.82	1.61	436.30	65.02	6,394.92
Juan Antonio Sotillo	0308	1,216.27	29,296.35	5,954.23	14,053.18	25,370.11	17.34	2,041.71	24.98	6,032.33	757.30	84,763.82
Juan Manuel Cajigal	0309	28.78	517.50	114.74	386.92	698.51	0.29	38.67	0.34	102.82	20.85	1,909.42
José Gregorio Monagas	0310	37.45	673.34	149.29	503.43	908.84	0.37	50.36	0.45	133.92	27.13	2,484.58
Libertad	0311	30.83	554.41	122.92	414.51	748.32	0.31	40.03	0.37	106.45	22.34	2,040.49

119,371	2,655,494	550,200	1,346,669	1,889,727	1,594	189,471	2,258	553,556	101,372	7,409,714
7,409,714										

5.3 Base de Datos de Infraestructura Urbana

5.3.1 Metodología y Alcance

Con el objeto de identificar el valor expuesto de infraestructura urbana en todo el país y utilizando el inventario de los centros urbanos correspondientes a cada una de las entidades subnacionales, se realizó una estimación de la cobertura de servicios públicos y valoración de las redes (acueducto, alcantarillado, comunicación), puentes, aeropuertos y puertos.

Las coberturas de servicios públicos e infraestructura de transporte, se estima a partir de información incluida en el censo de vivienda bajo las siguientes categorías:

- (a) Puentes urbanos
- (b) Aeropuertos
- (c) Puertos
- (d) Subestaciones de energía más redes anexas
- (e) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (f) Redes de acueducto y alcantarillado
- (g) Tanques y plantas de acueducto y alcantarillado
- (h) Redes de gas

En el caso de no contar con los datos del censo de vivienda la estimación se realiza a partir de valores típicos de los países de la región según el nivel de complejidad de la entidad subnacional, las densidades de población y nivel de cobertura de cada uno de estos servicios.

5.3.2 Conformación de la Base de Datos de Infraestructura Urbana

La información disponible permite consolidar la información relacionada con infraestructura de transporte y servicios públicos de centros urbanos para estimar los valores expuestos en cada uno de los sectores de análisis. La Tabla 5-5 y Tabla 5-6 presentan la información obtenida.

Tabla 5-5. Ejemplo: Valores en Exposición de Sistema de Transporte, de Servicios Públicos y Redes

ID Estado	Estado	Municipio	ID	Aeropuertos				Puertos				Puentes	
				m ² Const	Valor const	km Pistas	Valor pistas	m ² Const	Valor const	m ² muelle	Valor muelle	No. puentes	Valor
				(m ²)	(Bs x10 ⁶)	(km)	(Bs x10 ⁶)	(m ²)	(Bs x10 ⁶)	(m ²)	(Bs x10 ⁶)	Und	(Bs x10 ⁶)
05	Aragua	José Rafael Revenga	0506	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
05	Aragua	Libertador	0507	13,169	1,316.95	3.2	1,585.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
05	Aragua	Mario Briceño Iragorry	0508	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
05	Aragua	San Casimiro	0509	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	0.00
05	Aragua	San Sebastián	0510	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	50.00
05	Aragua	Santiago Mariño	0511	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	100.00
05	Aragua	Santos Michelena	0512	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
05	Aragua	Sucre	0513	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
05	Aragua	Tovar	0514	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
05	Aragua	Urdaneta	0515	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	4	0.00
05	Aragua	Zamora	0516	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	6	600.00
05	Aragua	Francisco Linares Alcántara	0517	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
05	Aragua	Ocumare de la Costa de Oro	0518	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
06	Barinas	Alberto Arvelo Torrealba	0601	9,754	487.68	1.1	280.00	0	0.00	0	0.00	3	150.00
06	Barinas	Antonio José de Sucre	0602	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	5	250.00
06	Barinas	Arismendi	0603	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	10	0.00
06	Barinas	Barinas	0604	9,875	987.49	2.0	1,000.00	0	0.00	0	0.00	21	2,100.00
06	Barinas	Bolivar	0605	0	0.00	0.0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	50.00
				281,741	24,205	103	39,529	158,430	7,343	316,861	41,739	1,241	56,100

Tabla 5-6. Ejemplo: Valores en Exposición de Sistema de Transporte, de Servicios Públicos y Redes

ID Estado	Estado	Municipio	ID	Subestaciones eléctricas	Subestaciones comunicación	Presas	Plantas y tanques	Redes		
								Acueducto	Alcantarillado	Gas
								(Bs x10 ⁶)	(Bs x10 ⁶)	(Bs x10 ⁶)
05	Aragua	José Rafael Revenga	0506	103.93	91.11	0.00	27.72	55.44	49.56	0.46
05	Aragua	Libertador	0507	530.30	474.10	0.00	142.52	203.61	217.00	0.71
05	Aragua	Mario Briceño Iragorry	0508	474.85	416.16	0.00	166.83	238.33	237.78	6.97
05	Aragua	San Casimiro	0509	5.61	4.92	0.00	4.21	8.43	0.81	0.00
05	Aragua	San Sebastián	0510	48.54	43.86	0.00	14.38	28.76	19.47	0.00
05	Aragua	Santiago Mariño	0511	978.22	867.00	0.00	280.50	400.72	459.48	12.23
05	Aragua	Santos Michelena	0512	81.36	71.37	0.00	19.75	39.49	31.03	0.01
05	Aragua	Sucre	0513	545.43	477.01	0.00	150.46	214.94	275.18	14.86
05	Aragua	Tovar	0514	1.31	1.15	0.00	0.20	0.40	0.02	0.00
05	Aragua	Urdaneta	0515	2.35	2.12	0.00	1.50	3.01	1.88	0.00
05	Aragua	Zamora	0516	621.48	548.48	0.00	178.27	254.68	241.65	0.00
05	Aragua	Francisco Linares Alcántara	0517	581.21	509.28	0.00	196.28	280.39	286.43	1.08
05	Aragua	Ocumare de la Costa de Oro	0518	2.62	2.30	0.00	1.97	3.94	0.26	0.04
06	Barinas	Alberto Arvelo Torrealba	0601	54.37	49.19	0.00	15.81	31.62	17.05	0.00
06	Barinas	Antonio José de Sucre	0602	123.25	110.06	0.00	14.25	28.50	44.15	0.00
06	Barinas	Arismendi	0603	0.62	1.47	0.00	0.29	0.59	0.40	0.00
06	Barinas	Barinas	0604	1,534.93	1,367.25	0.00	480.80	686.86	646.62	14.48
06	Barinas	Bolivar	0605	92.98	82.53	0.00	26.71	53.42	40.60	0.00
				94,717	84,070	0	30,116	45,154	38,903	4,380
				466,255						

5.4 Base de Datos de Infraestructura Nacional

5.4.1 Metodología y Alcance

Con el objeto de cuantificar el valor expuesto de infraestructura nacional se utilizó el inventario de entidades subnacionales junto con los centros poblados y tipos de servicios que disponen. Con base en esto se realizó una estimación de la cobertura de servicios y valoración de los componentes de infraestructura tales como hidroeléctricas, redes de interconexión nacional, líneas de transporte de hidrocarburos y redes viales nacionales.

La infraestructura nacional se clasifica en las siguientes categorías:

- (a) Vías red primaria
- (b) Vías red secundaria
- (c) Hidroeléctricas
- (d) Presas
- (e) Plantas térmicas
- (f) Subestaciones de energía más redes anexas
- (g) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (h) Subestaciones de combustible y gas más redes anexas.

La asignación de valores sobre la infraestructura descrita anteriormente se realiza bajo el estimativo de cobertura de la población con los servicios relacionados a cada tipo de infraestructura, la producción energética del país, el número de líneas móviles y fijas y del nivel de hidrocarburos explotados. Los anteriores valores se ubican geográficamente respecto de la densidad de población y los centros de producción.

5.4.2 Conformación de la Base de Datos de Infraestructura Nacional

La información disponible permite consolidar la información relacionada con infraestructura nacional de transporte y servicios públicos para estimar los valores expuestos en cada uno de los sectores de análisis. La Tabla 5-7 y Tabla 5-8 presentan la información resultante.

Tabla 5-7. Ejemplo: Valores de Exposición de la Red Vial Nacional

ID Estado	Estado	Municipio	ID	Red Primaria		Red Secundaria		Red Primaria		Red Secundaria	
				km de vía	Valor vías	km de vía	Valor vías	km puentes	Valor puentes	km puente	Valor puentes
				(km)	(Bs x10 ⁶)	(km)	(Bs x10 ⁶)	(km)	(Bs x10 ⁶)	(km)	(Bs x10 ⁶)
07	Bolívar	Cedeño	0702	369.75	48,067.45	975.49	15,851.68	0.00	0.00	0.06	45.00
07	Bolívar	El Callao	0703	23.85	3,100.16	73.88	1,200.51	0.00	0.00	0.06	45.00
07	Bolívar	Gran Sabana	0704	197.63	25,692.11	295.51	4,802.07	0.00	0.00	0.00	0.00
07	Bolívar	Heres	0705	336.63	43,762.37	499.28	8,113.28	0.00	0.00	0.54	405.00
07	Bolívar	Piar	0706	133.03	17,294.06	548.87	8,919.18	0.06	60.00	0.42	315.00
07	Bolívar	Bolivariano Angostura	0707	222.78	28,961.47	469.24	7,625.10	0.00	0.00	0.15	112.50
07	Bolívar	Roscio	0708	34.71	4,512.93	317.16	5,153.85	0.00	0.00	0.06	45.00
07	Bolívar	Sifontes	0709	201.44	26,187.43	375.53	6,102.36	0.00	0.00	0.18	135.00
07	Bolívar	Sucre	0710	139.04	18,075.09	385.43	6,263.16	0.00	0.00	0.15	112.50
07	Bolívar	Padre Pedro Chien	0711	40.52	5,267.62	79.61	1,293.64	0.00	0.00	0.09	67.50
08	Carabobo	Bejuma	0801	26.25	3,411.98	99.51	1,617.08	0.06	60.00	0.00	0.00
08	Carabobo	Carlos Anelo	0802	74.17	9,642.11	162.58	2,641.93	0.00	0.00	0.00	0.00
08	Carabobo	Diego Ibarra	0803	8.87	1,152.78	6.33	102.81	0.00	0.00	0.00	0.00
08	Carabobo	Guacara	0804	15.10	1,962.49	60.90	989.60	0.00	0.00	0.00	0.00
08	Carabobo	Juan José Mora	0805	40.90	5,317.28	57.35	931.93	0.12	120.00	0.03	22.50
08	Carabobo	Libertador	0806	45.44	5,906.76	84.67	1,375.87	0.00	0.00	0.00	0.00
08	Carabobo	Los Guayos	0807	13.94	1,811.79	24.01	390.24	0.00	0.00	0.00	0.00

18,204	2,366,482	53,020	861,577	29	29,400	23	16,898
3,274,356							

Tabla 5-8. Ejemplo: Valores de Exposición de Infraestructura Nacional

ID Estado	Estado	Municipio	ID	Generación energética				Distribución energética		Comunicaciones		Hidrocarburos	
				Hidroeléctricas		Plantas		Subestaciones	Redes	Líneas fijas	Líneas móviles	Derivados	Gas
				Presa	Casa de máquinas	Térmicas	Geotérmicas						
07	Bolívar	El Callao	0703	220.70	115.87	0.00	0.00	11.03	11.03	1.25	9.49	0	0.0
07	Bolívar	Gran Sabana	0704	221.94	116.52	0.00	0.00	11.10	11.10	2.35	6.80	0	0.0
07	Bolívar	Heres	0705	3,540.80	1,858.92	0.00	0.00	177.04	177.04	54.24	105.23	0	0.0
07	Bolívar	Piar	0706	988.51	518.97	0.00	0.00	49.43	49.43	12.07	35.20	0	0.0
07	Bolívar	Bolivariano Angostura	0707	367.18	192.77	0.00	0.00	18.36	18.36	1.55	9.52	0	0.0
07	Bolívar	Roscio	0708	224.01	117.60	0.00	0.00	11.20	11.20	0.92	9.45	0	0.0
07	Bolívar	Sifontes	0709	465.70	244.49	0.00	0.00	23.29	23.29	3.10	18.19	0	0.0
07	Bolívar	Sucre	0710	174.05	91.37	0.00	0.00	8.70	8.70	0.92	5.67	0	0.0
07	Bolívar	Padre Pedro Chien	0711	144.76	76.00	0.00	0.00	7.24	7.24	0.96	3.64	0	0.0
08	Carabobo	Bejuma	0801	0.00	0.00	297.22	0.00	24.77	24.77	5.10	13.48	0	0.0
08	Carabobo	Carlos Anelo	0802	0.00	0.00	922.17	0.00	76.85	76.85	8.69	31.36	0	9,095.9
08	Carabobo	Diego Ibarra	0803	0.00	0.00	649.17	0.00	54.10	54.10	16.64	38.17	0	3,956.3
08	Carabobo	Guacara	0804	0.00	0.00	1,097.59	0.00	91.47	91.47	28.46	63.37	0	11,003.2
08	Carabobo	Juan José Mora	0805	0.00	0.00	429.29	0.00	35.77	35.77	9.35	18.37	48,080	16,554.3
08	Carabobo	Libertador	0806	0.00	0.00	1,034.49	0.00	86.21	86.21	14.32	44.82	0	0.0
08	Carabobo	Los Guayos	0807	0.00	0.00	931.75	0.00	77.65	77.65	19.40	34.23	0	2,966.8

188,812	99,126	53,812	0	13,925	13,925	3,488	6,751	711,832	698,156
1,789,826									

5.4.3 Resumen General de Indicadores de Exposición

La información recopilada para cada una de las secciones explicadas anteriormente, se organiza y clasifica en una hoja de cálculo en la cual se presentan cada una de las bases de datos entidades subnacionales, población, construcciones e infraestructura urbana y nacional. En esta misma hoja de cálculo se presenta un resumen de los índices generales resultantes del país y de los valores en exposición para cada uno de los activos estimados. La Tabla 5-9 y Tabla 5-10 presentan un resumen de los valores finales resultantes de índices y de exposición física, económica y humana.

Tabla 5-9. Resumen de Indicadores del Modelo de Activos: Indicadores Proxy

Indicador	Unidad	Valor
Población total	Hab	28,371,503
Población urbana	Hab	25,198,684
Población rural	Hab	3,172,819
Salario mínimo mensual	US\$	615
PIB (2013)	Bs Billones	21,915
PIB per capita (2013)	Bs	720.75

Construcciones	Unidad	Valor	Unidad	Valor per capita
Área construida urbana	m ²	698,898 x10 ³	m ² /Hab	24.6
Densidad construcción urbana	m ² /m ² terreno urbano	0.01		-

Infraestructura	Unidad	Valor económico	Unidad	Valor económico per capita	Valor económico per capita / PIB per capita	Participación relativa
Construcciones privadas	Bs x10 ⁶	6,752,527	Bs /Hab	238,004	16,510.85	52.2%
Construcciones publicas	Bs x10 ⁶	657,187	Bs /Hab	23,164	6,260.44	5.1%
Infraestructura urbana	Bs x10 ⁶	466,255	Bs /Hab	16,434	1,140.06	3.6%
Infraestructura nacional	Bs x10 ⁶	5,064,182	Bs /Hab	178,495	12,382.61	39.1%
Total Infraestructura país		12,940,151	Bs /Hab	456,097	33.78	100.0%

Tabla 5-10. Resumen de Indicadores del Modelo de Activos: Valores Expuestos

Sector	Área de construcción [m ² x10 ³]	Valor económico [Bs x10 ⁶]	Área de construcción / población del grupo de uso	
			Unidad	Valor
Residencial PB	31,845	119,371	m ² /Hab PB	4.5
Residencial PM	275,688	2,655,494	m ² /Hab PM	14.0
Residencial PA	35,955	550,200	m ² /Hab PA	23.9
Comercial	141,966	1,346,669	m ² /FL	20.0
Industrial	124,401	1,889,727	m ² /FL	46.1
Salud Privada	104	1,594	m ² /1000 Hab	3.7
Educación Privada	19,915	189,471	m ² /Est	2.4
Salud Pública	182	2,258	m ² /1000 Hab	6.4
Educación Pública	57,894	553,556	m ² /Est	7.1
Gobierno	10,947.6	101,372	m ² /EP	5.0
Total	698,898	7,409,714	m²/Hab urbano	27.7

Tabla 5-10. Resumen de Indicadores del Modelo de Activos: Valores Expuestos (continuación)

Sector	Cantidad		Cantidad per capita Urbano	Valor económico [Bs x10 ⁶]	Valor económico per capita Urbano [Bs / Hab]	Valor económico / Cantidad	
	Unidad	Valor				Unidad	Valor
SubEst electricas	-	-	-	94,717	3,759	-	-
SubEst Comunicaciones	-	-	-	84,070	3,336	-	-
Presas abastecimiento	-	-	-	0	0	-	-
Plantas y tanques	-	-	-	30,116	1,195	-	-
Red Acueducto	-	-	-	45,154	1,792	-	-
Red Alcantarillado	-	-	-	38,903	1,544	-	-
Red Gas	-	-	-	4,380	174	-	-
Aeropuertos (Terminal)	m ²	281,741	11.2	24,205	961	Bs /m ²	85,911
Aeropuertos (Pistas)	km	103	0.0	39,529	1,569	Bs x10 ⁶ /km	384
Puertos (Bodegas)	m ²	158,430	6.3	7,343	291	Bs /m ²	46,345
Puertos (Muelle)	m ²	316,861	12.6	41,739	1,656	Bs /m ²	131,727
Puentes Urbanos	Und	1,241	0.0	56,100	2,226	Bs x10 ⁶ /und	45
Total				466,255	18,503		

Sector	Cantidad		Valor económico [Bs x10 ⁶]	Valor económico per capita nacional [Bs/Hab]	Valor económico / Cantidad [Bs x10 ⁶ /km]
	Unidad	Valor			
Red vial principal (Vías)	km	18,204	2,366,482	83,411	130
Red vial secundaria (Vías)	km	53,020	861,577	30,368	16.25
Red vial principal (Puentes)	km	29	29,400	1,036	1000
Red vial secundaria (Puentes)	km	23	16,898	596	750
Hidroeléctricas (Presas)	-	-	188,812	6,655	-
Hidroeléctricas (Casas de Maquinas)	-	-	99,126	3,494	-
Plantas Térmicas	-	-	53,812	1,897	-
Plantas Geotérmicas	-	-	0	0	-
Distribución energética (Subestaciones)	-	-	13,925	491	-
Distribución energética (Redes)	-	-	13,925	491	-
Comunicaciones (Líneas Fijas)	-	-	3,488	123	-
Comunicaciones (Líneas Móviles)	-	-	6,751	237.9	-
Hidrocarburos Derivados	-	-	711,832	25,090	-
Hidrocarburos (Gas)	-	-	698,156	24,608	-
Total	-	-	5,064,182	178,495	-

5.5 Presentación Gráfica del Modelo de Activos Expuestos

Para comprender la distribución relativa de valores expuestos tanto geográficamente como por sectores económicos, del desarrollo o de uso se presentan a continuación una serie de gráficas representativas de los parámetros más importantes del modelo.

5.5.1 Edificaciones Urbanas Según Área Construida, Valor por Estado y Sectores

La Figura 5-3 a la Figura 5-5 presentan la extensión en km², la población y la densidad poblacional (urbana, rural y total) para cada uno de los 25 Estados analizados.

Figura 5-3. Extensión Territorial

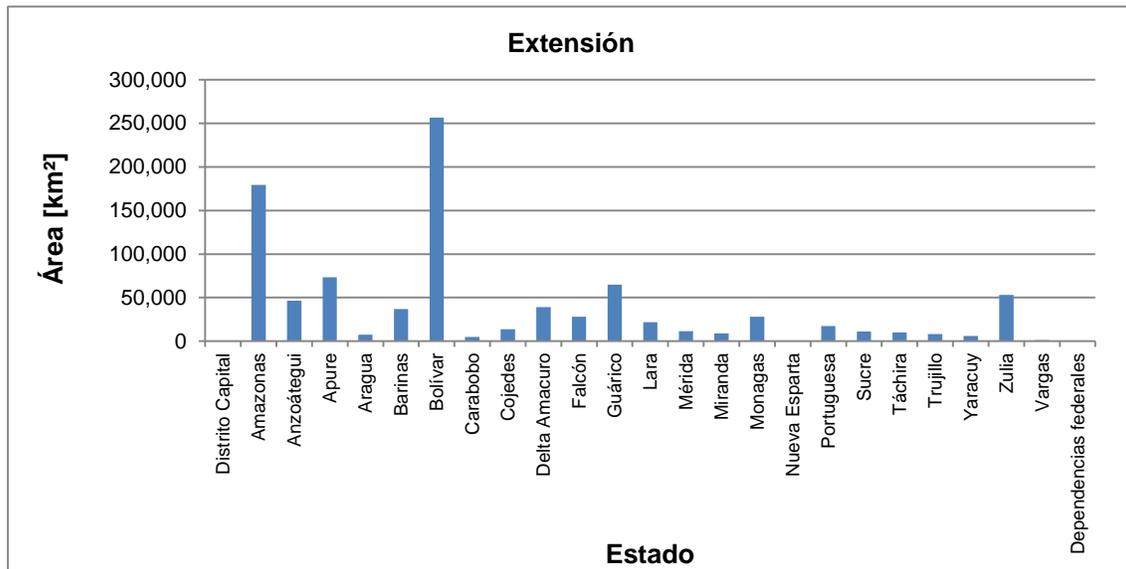


Figura 5-4. Población por Estado

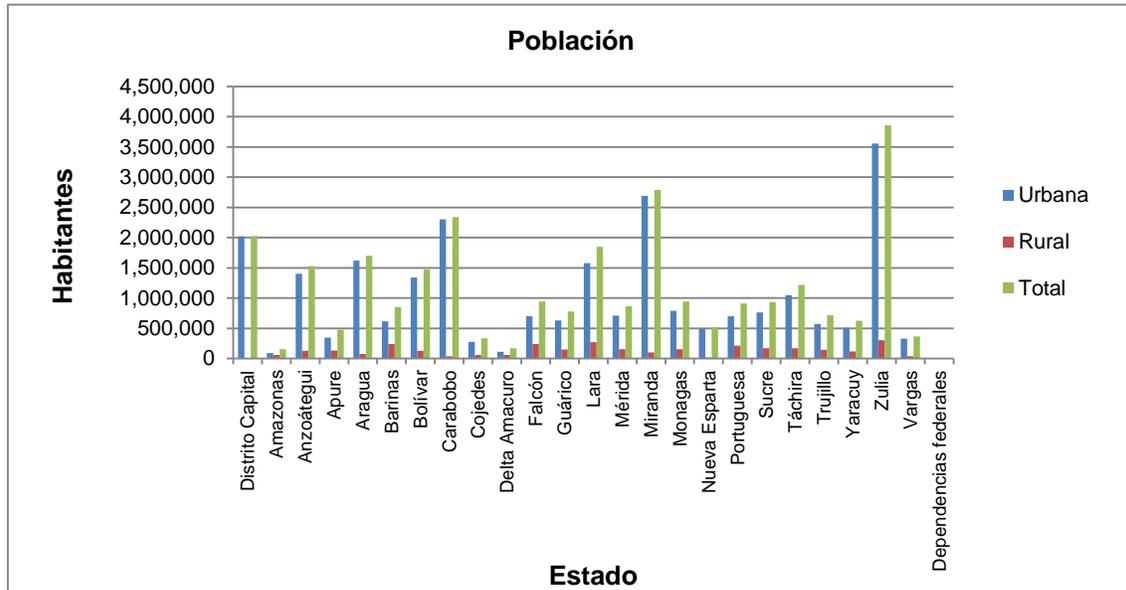
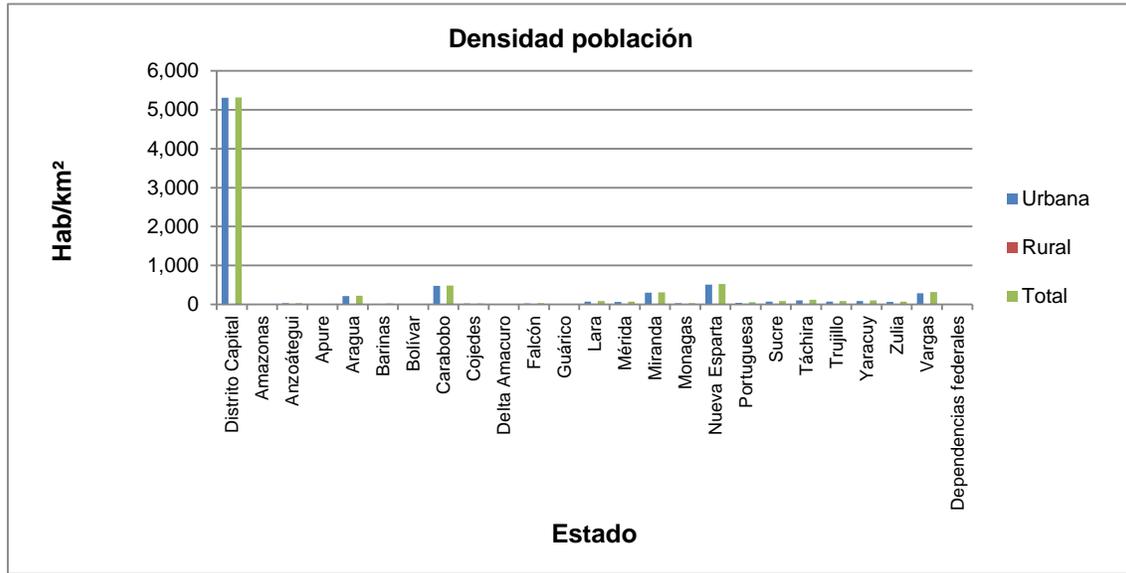


Figura 5-5. Densidad Poblacional



La Figura 5-6 y la Figura 5-7 presentan los valores estimados de área de construcción urbana en m² y valor expuesto correspondiente para cada uno de los Estados.

Figura 5-6. Área Construida por Estado

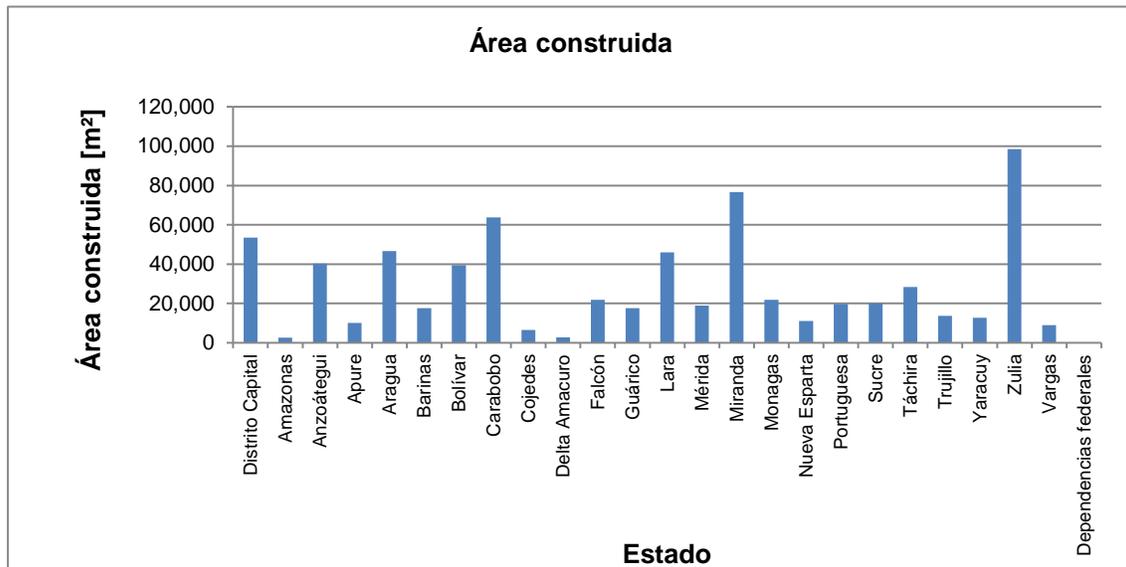


Figura 5-7. Valores Expuestos de Edificaciones Regulares por Estado



Por otro lado la Figura 5-8 y la Figura 5-9 presentan la información correspondiente a área construida aproximada y valores de exposición para cada uno de los sectores de uso.

Figura 5-8. Área Construida por Sector de Uso

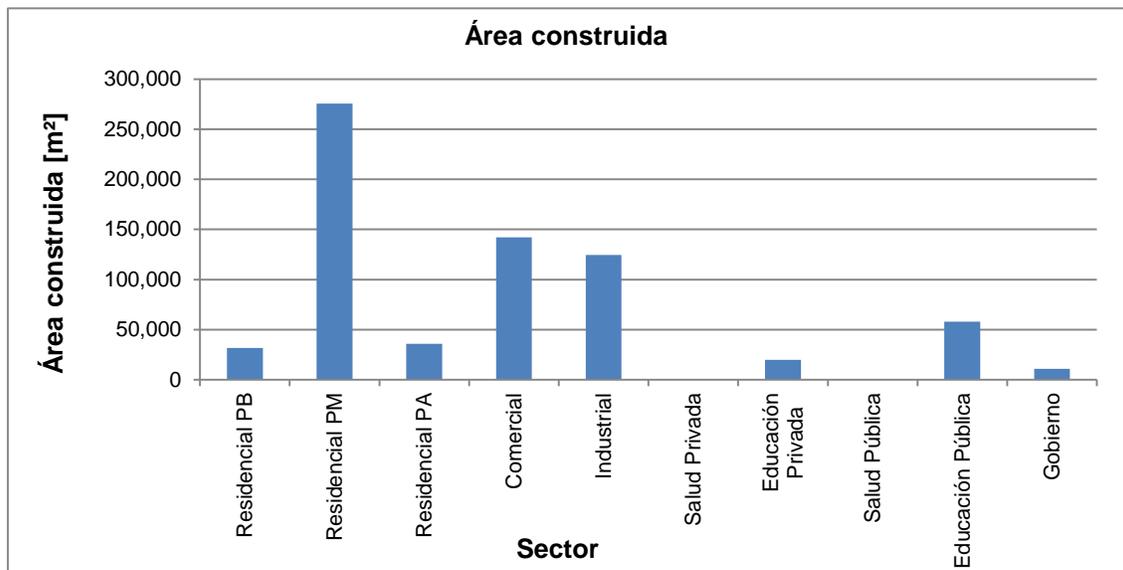
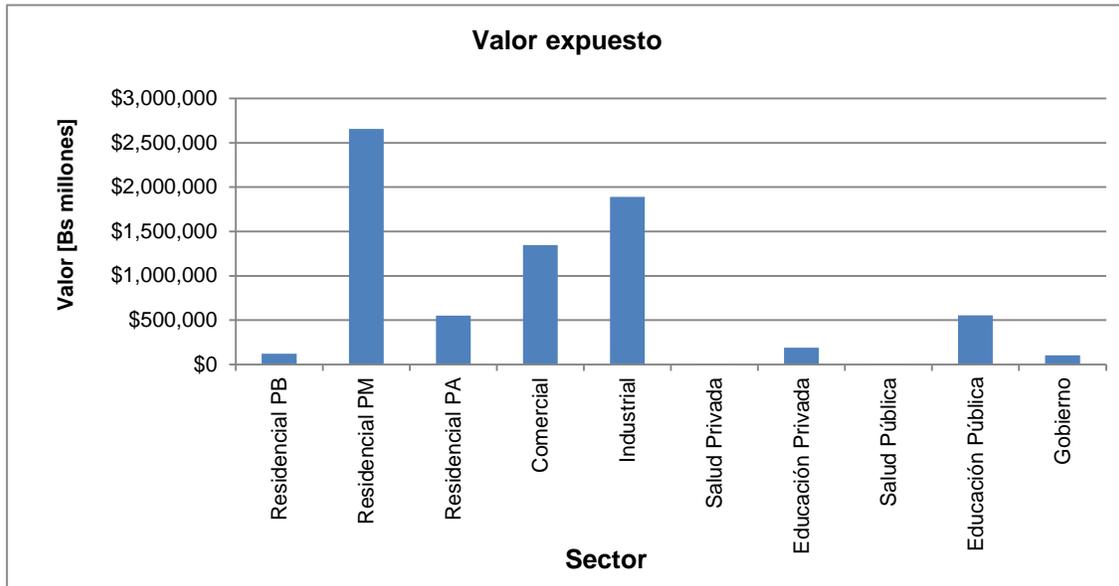


Figura 5-9. Valor Expuesto por Sector de Uso



La información anterior se combina en gráficas de tres ejes (Figura 5-10 y Figura 5-11) en las cuales se presentan las áreas de construcción y los valores expuestos correspondientes estimados y discriminados de acuerdo con cada uno de los Estados y con cada uno de los sectores de uso.

Figura 5-10. Valor Expuesto por Estado y Sector de Uso

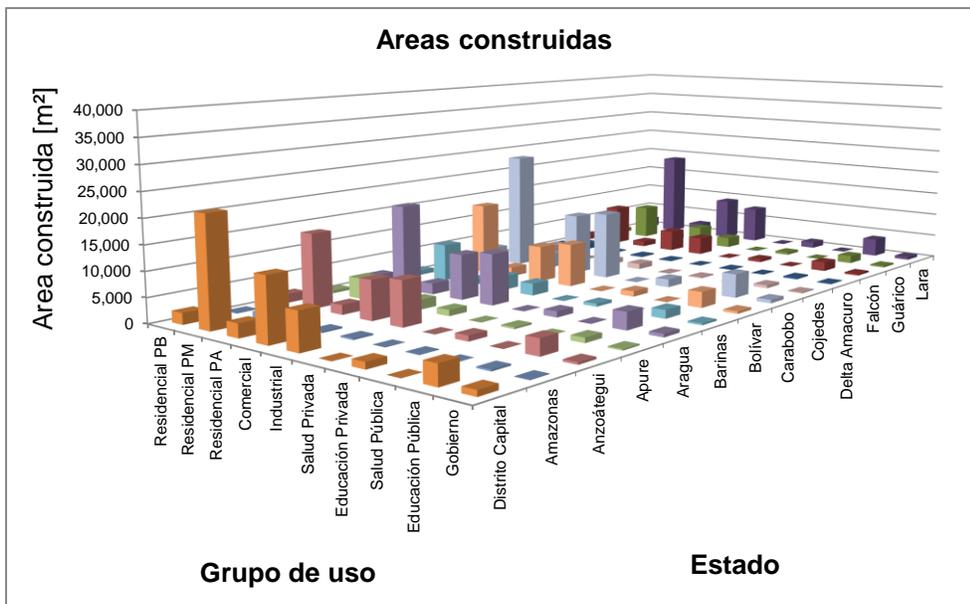


Figura 5-10. Valor Expuesto por Estado y Sector de Uso (continuación)

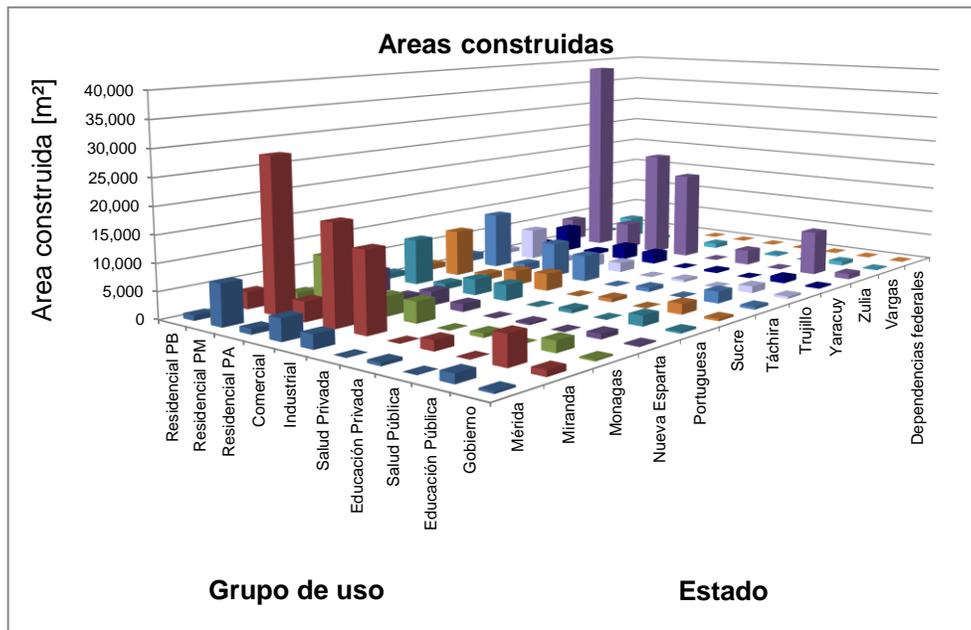


Figura 5-11. Valor Expuesto por Estado y Sector de Uso

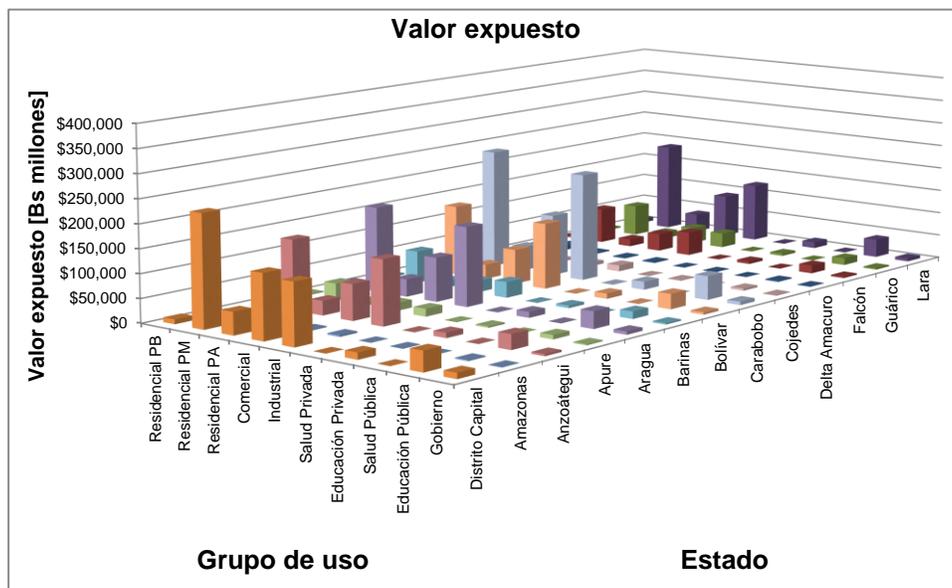
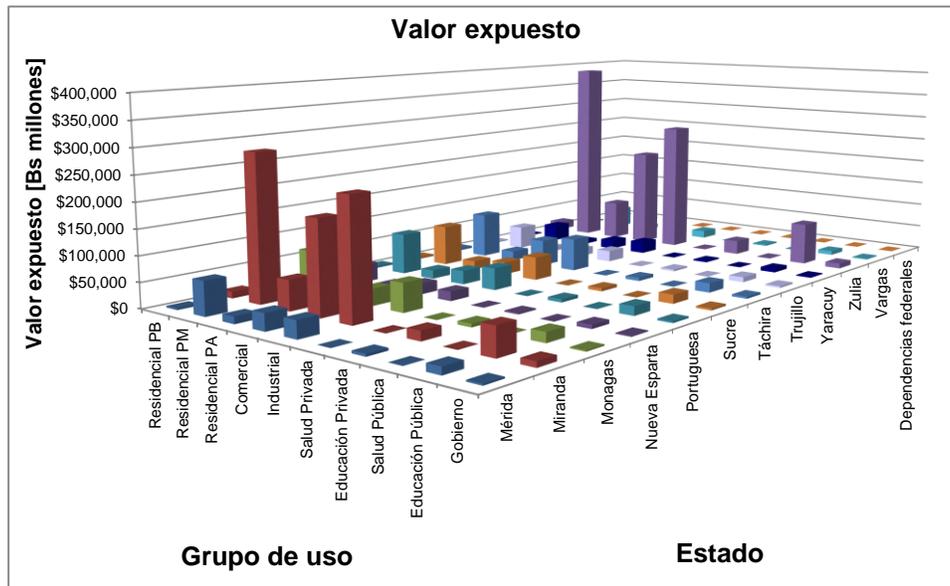


Figura 5-11. Valor Expuesto por Estado y Sector de Uso (continuación)



5.5.2 Infraestructura Urbana Según Valores por Estado y Sectores

La Figura 5-12 y Figura 5-13 presentan los valores expuestos estimados de la infraestructura urbana que incluye puentes, aeropuertos, puertos, sistema de distribución de energía, telecomunicaciones, sistemas de potabilización, distribución y tratamiento de aguas y sistema de distribución de gas. La información se presenta discriminada para cada uno de los Estados y por sectores de uso.

Figura 5-12. Valor Expuesto en Infraestructura Urbana por Estado

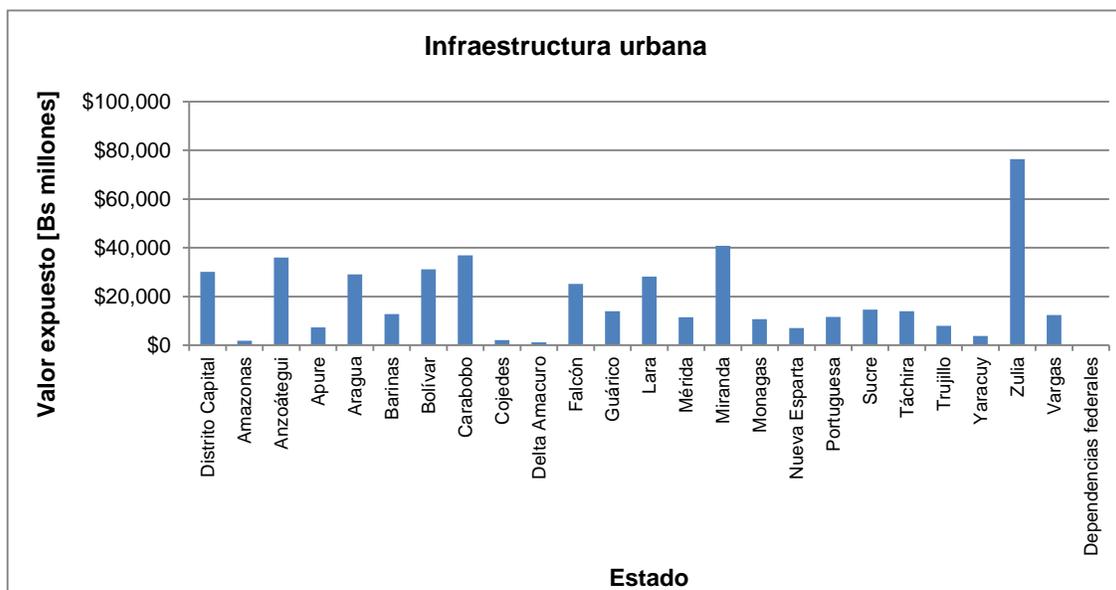
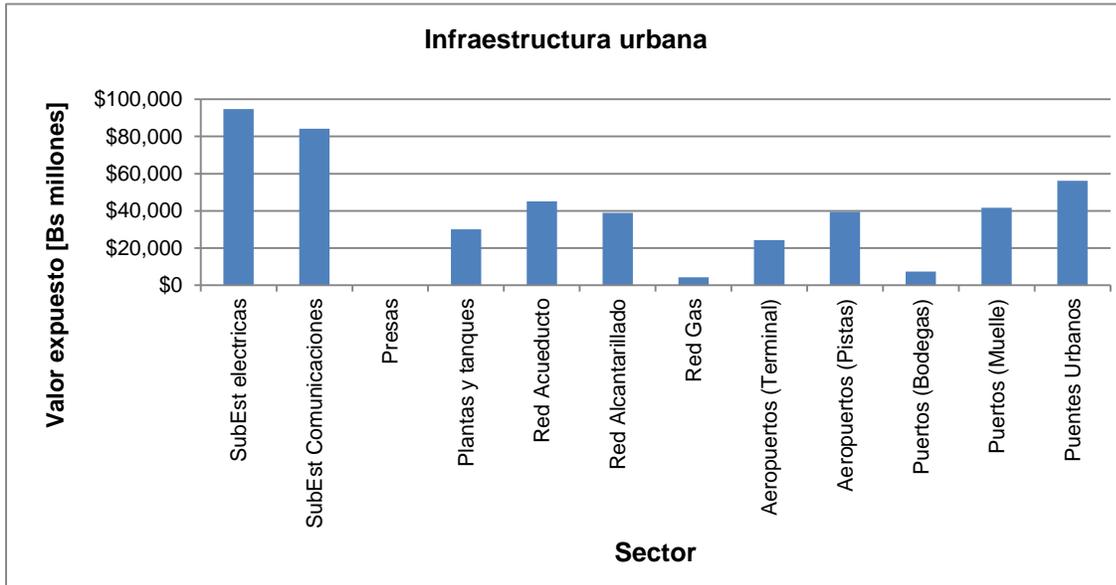


Figura 5-13. Valor Expuesto en Infraestructura Urbana por Sector



La Figura 5-14 muestra la información presentada anteriormente en una gráfica de tres dimensiones.

Figura 5-14. Valor Expuesto en Infraestructura Urbana por Estado y Sector

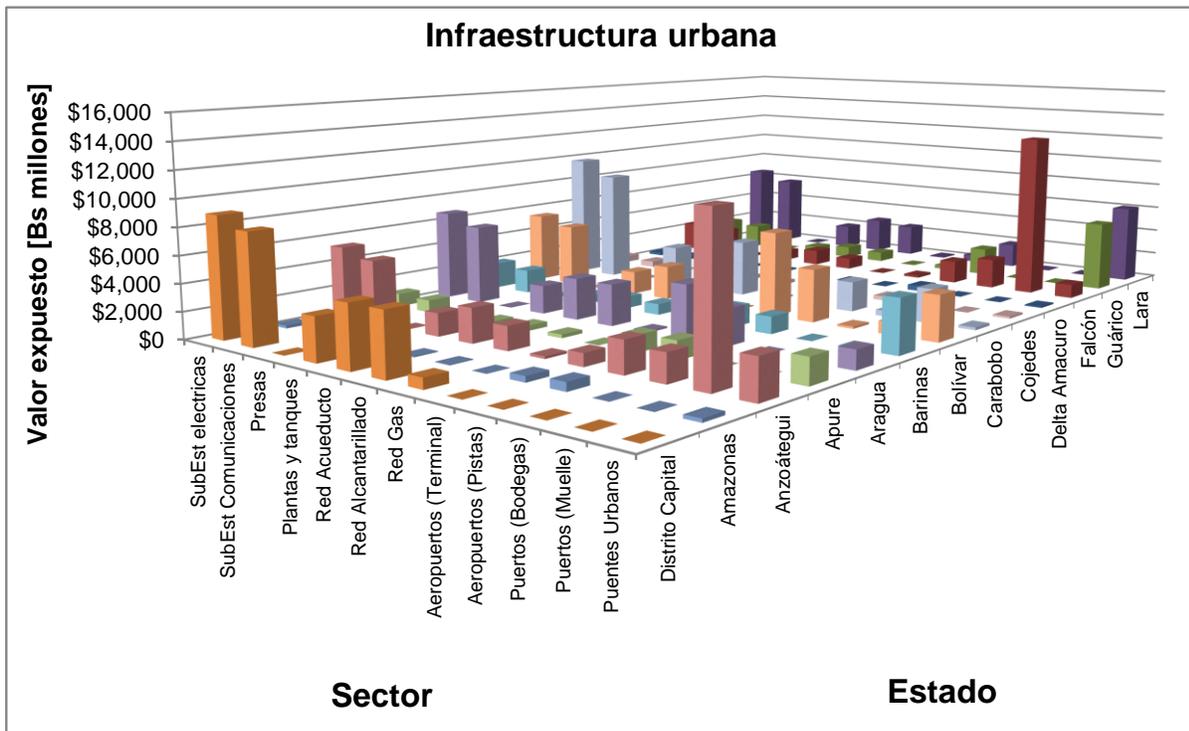
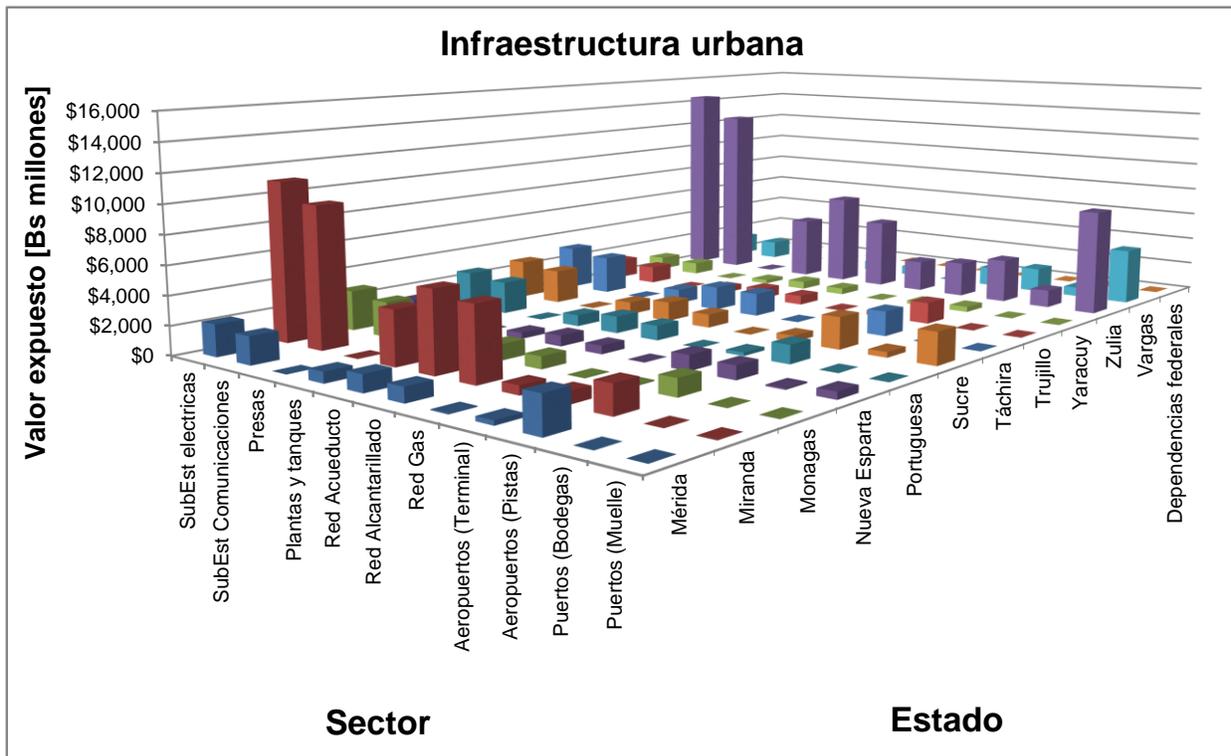


Figura 5-14. Valor Expuesto en Infraestructura Urbana por Estado y Sector (continuación)



5.5.3 Infraestructura Nacional según Valores por Estado y Sector

La Figura 5-15 y Figura 5-16 presentan los valores expuestos estimados de la infraestructura nacional que incluye la red vial principal y secundaria incluyendo puentes, sistemas de generación de energía, presas, plantas térmicas, subestaciones de energía, subestaciones de telecomunicaciones, subestaciones y redes de distribución de gas natural y sistema de hidrocarburos. La información se presenta discriminada para cada uno de los Estados y por sectores de uso.

Figura 5-15. Valor Expuesto en Infraestructura Nacional por Estado

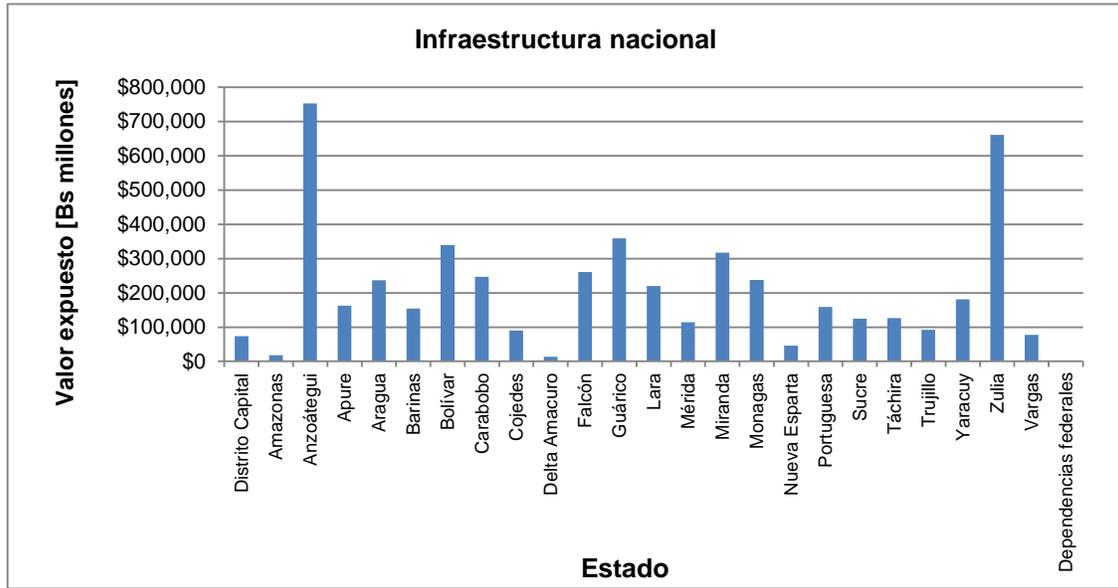
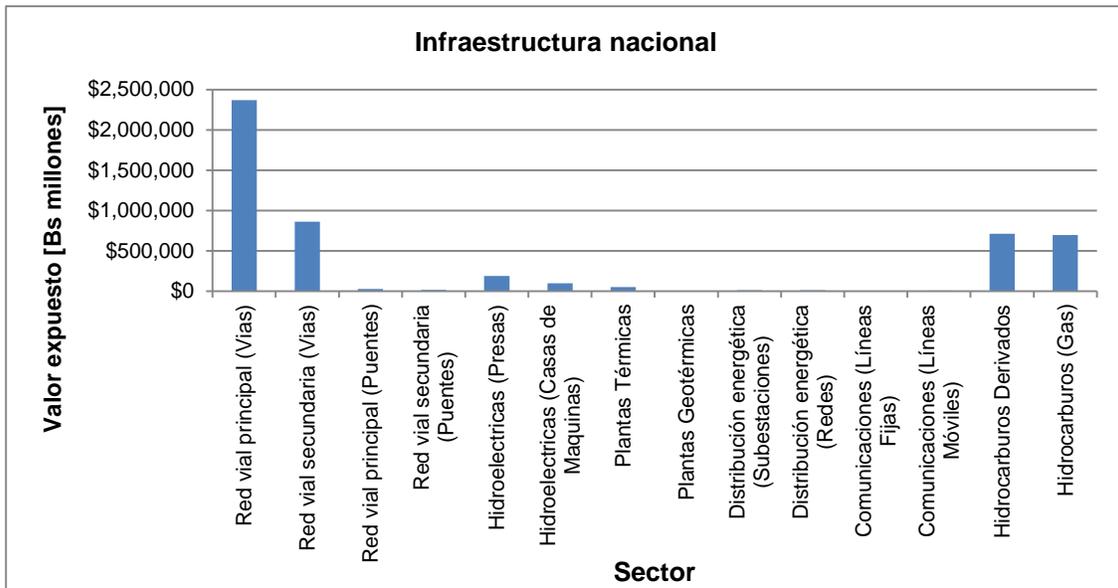


Figura 5-16. Valor Expuesto en Infraestructura Nacional por Sector



La Figura 5-17 resume la información anterior en una gráfica de tres ejes.

Figura 5-17. Valor Expuesto en Infraestructura Nacional por Estado y Sector

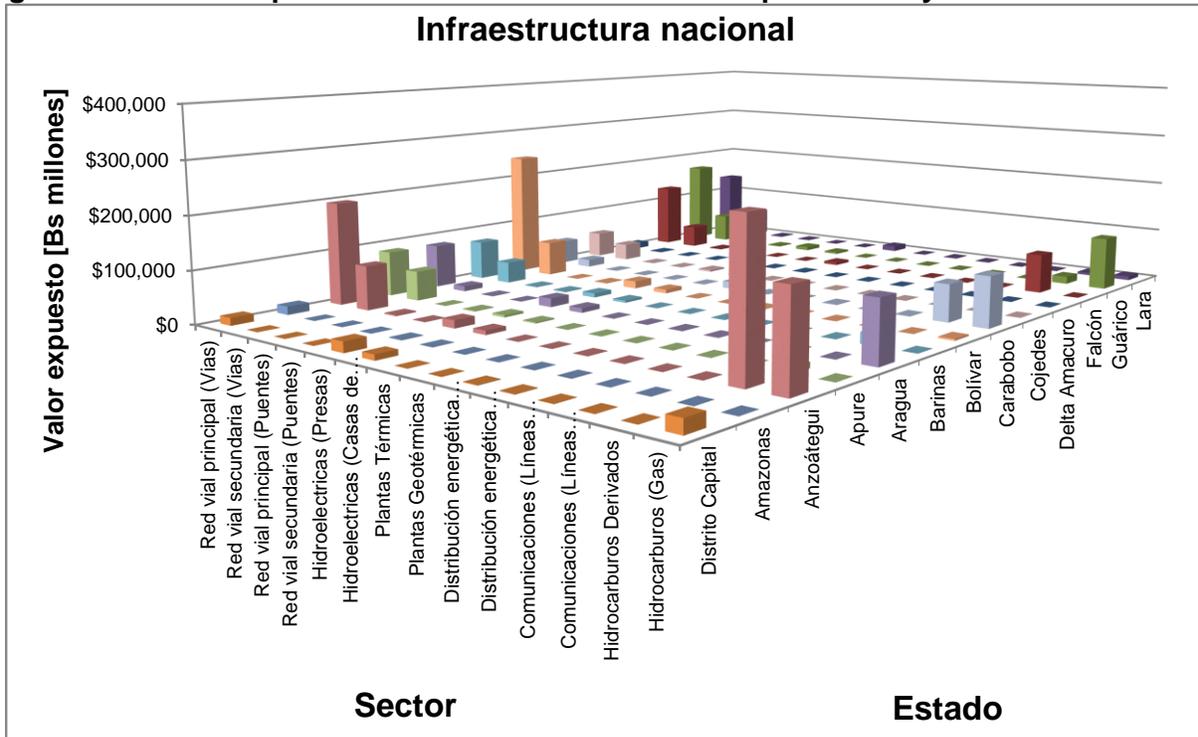
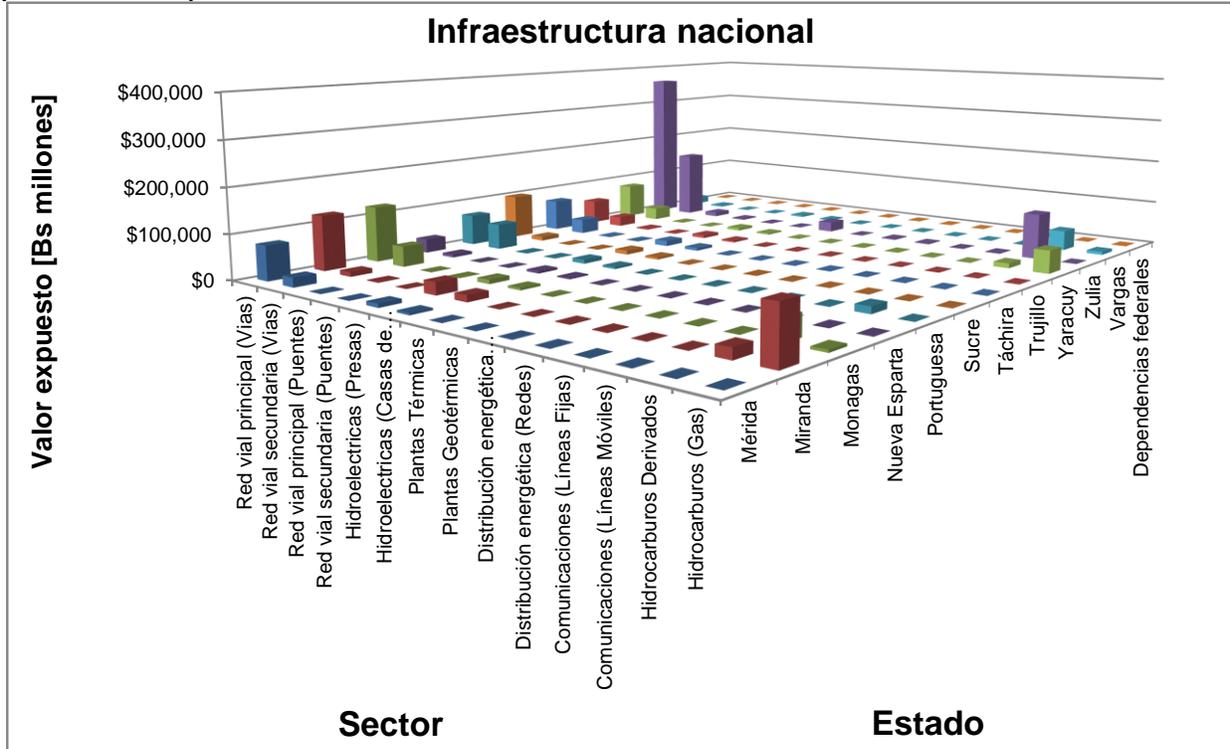


Figura 5-17. Valor Expuesto en Infraestructura Nacional por Estado y Sector (continuación)



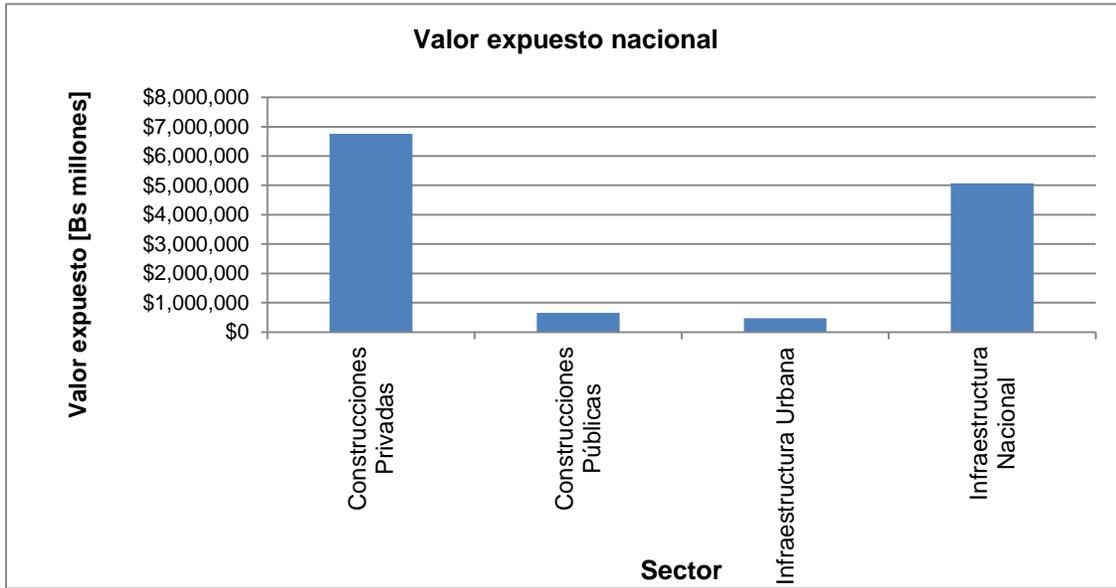
5.5.4 Resumen de Valores Expuestos Totales por Estado y Sectores

La Figura 5-18 y Figura 5-19 presentan el resumen de los valores totales expuestos que resultan de sumar los valores de las edificaciones urbanas, la infraestructura urbana y la infraestructura nacional discriminados para cada uno de los Estados y para cada uno de los sectores de uso. En las categorías de sectores de uso se incluye en forma individual los sectores asociados a las edificaciones urbanas, la infraestructura urbana y la infraestructura nacional.

Figura 5-18. Valor Expuesto en Infraestructura Nacional por Estado



Figura 5-19. Valor Total Expuesto en Infraestructura Nacional por Sectores



La Figura 5-20 muestra la información presentada anteriormente en una gráfica de tres dimensiones.

Figura 5-20. Valor Total Expuesto en Infraestructura Nacional por Estado y Sectores

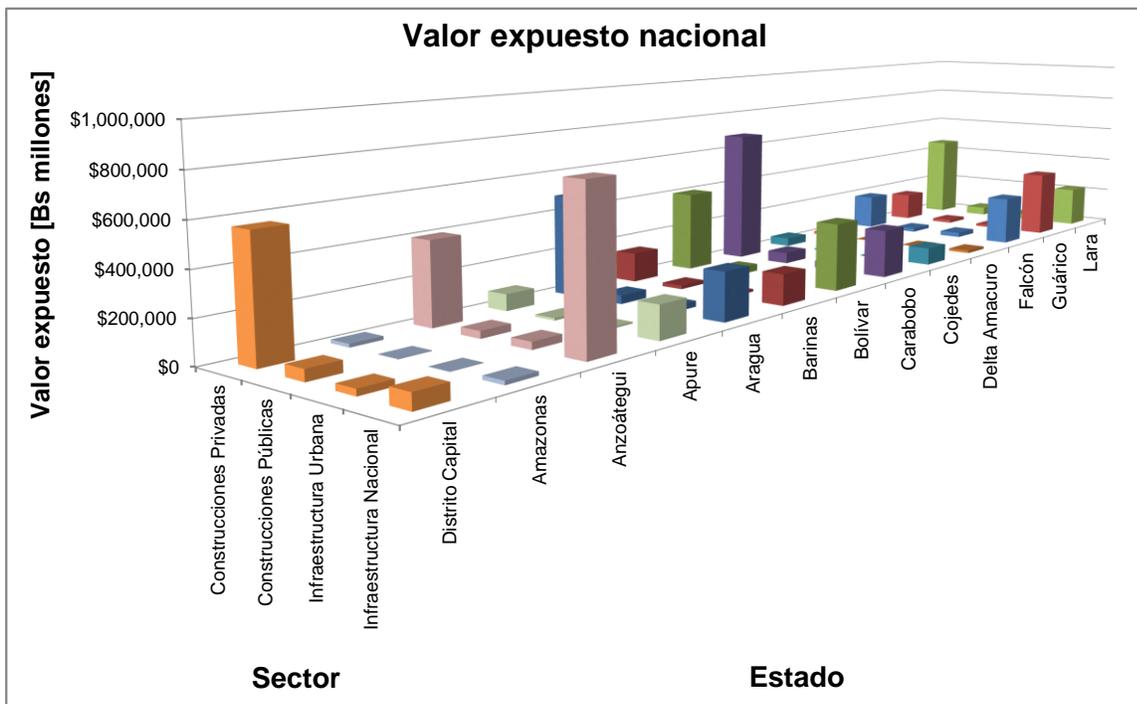


Figura 5-20. Valor Total Expuesto en Infraestructura Nacional por Estado y Sectores (continuación)



5.5.5 Información en Mapas Descriptivos

La Figura 5-21 a la Figura 5-27 presentan mapas de información por Municipio y Estados, para cada una de las siguientes variables: población, distribución de área construida y distribución del valor de exposición.

Figura 5-21. Distribución de Población por Municipio

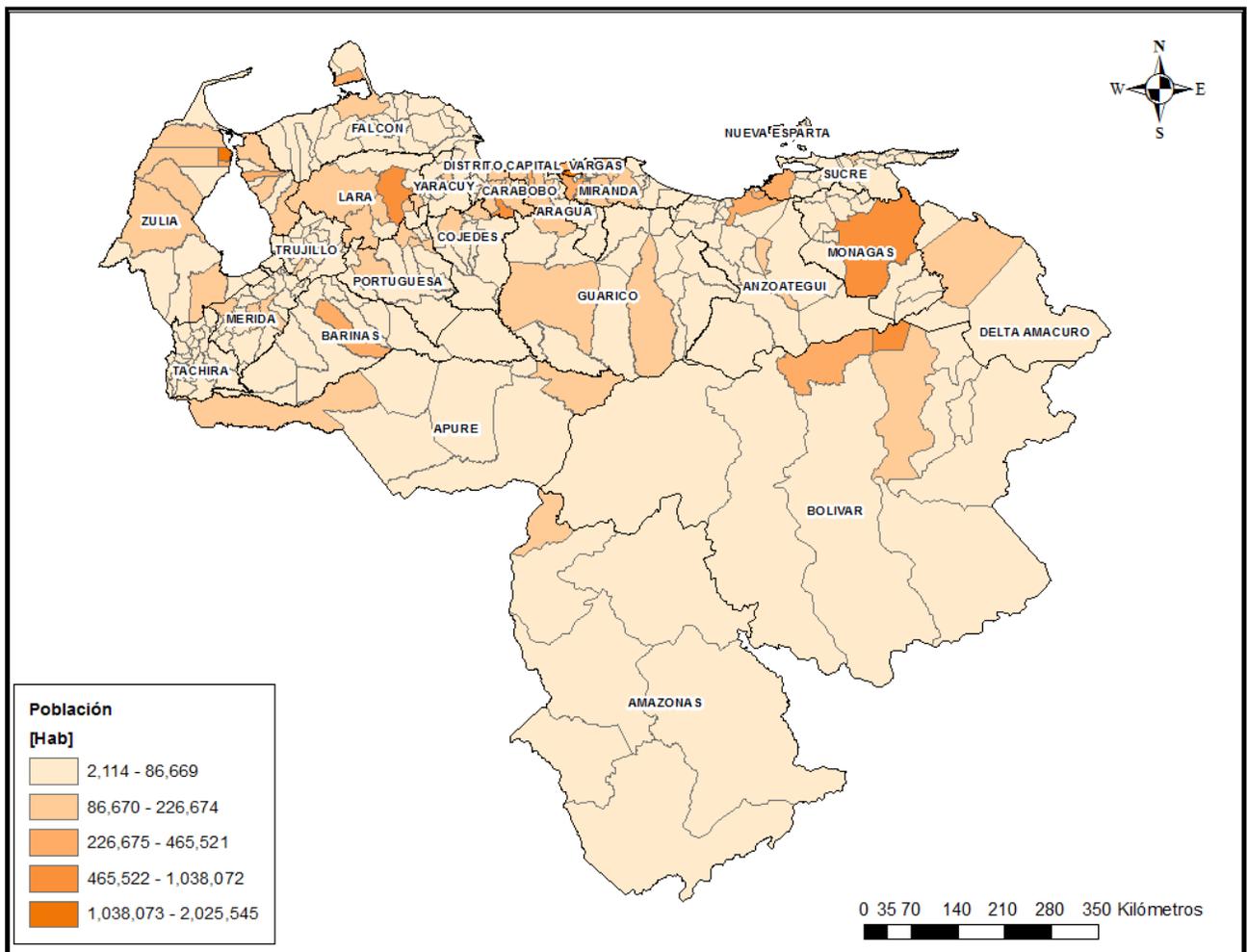


Figura 5-22. Densidad Poblacional por Municipio

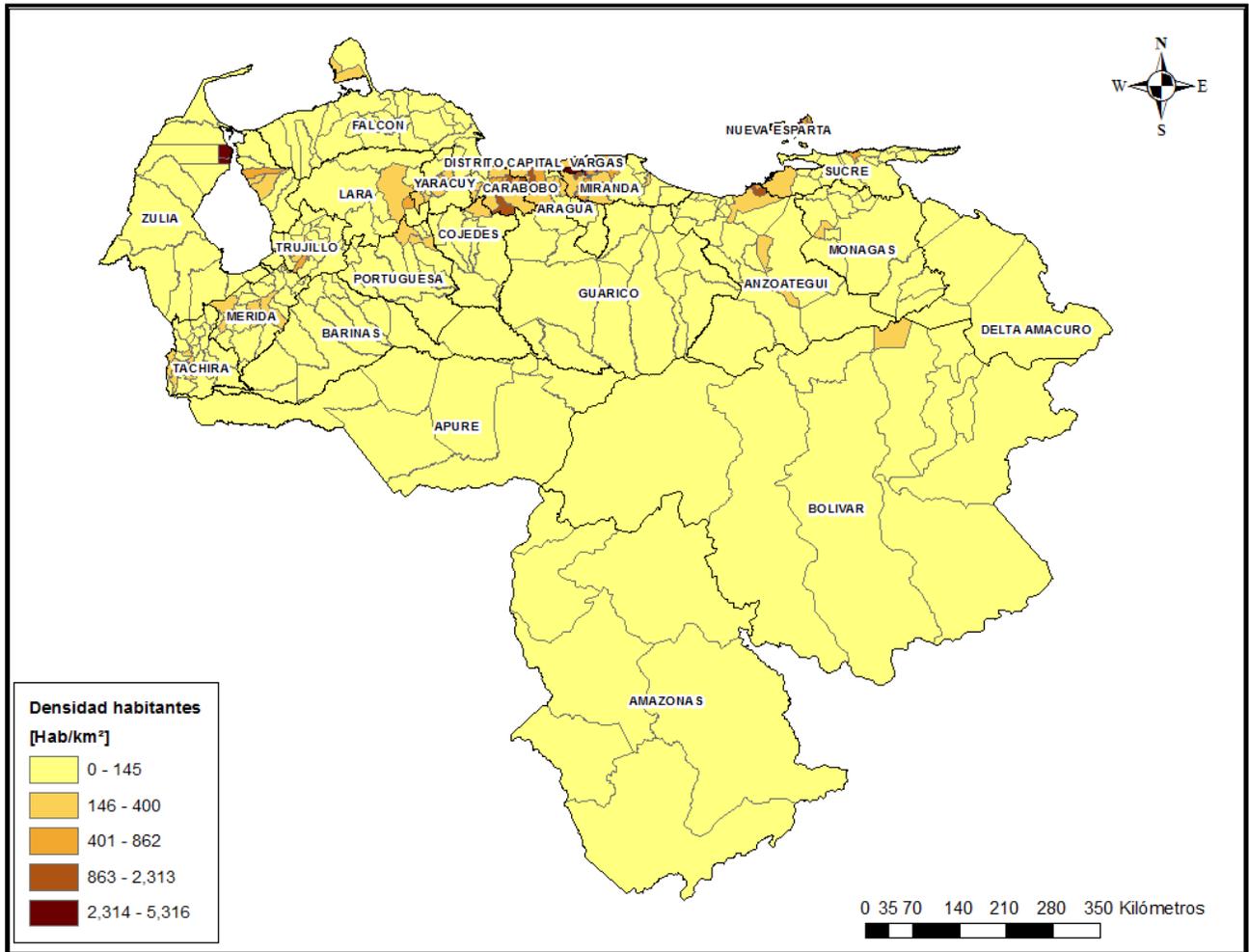


Figura 5-23. Distribución de Área Construida por Municipio

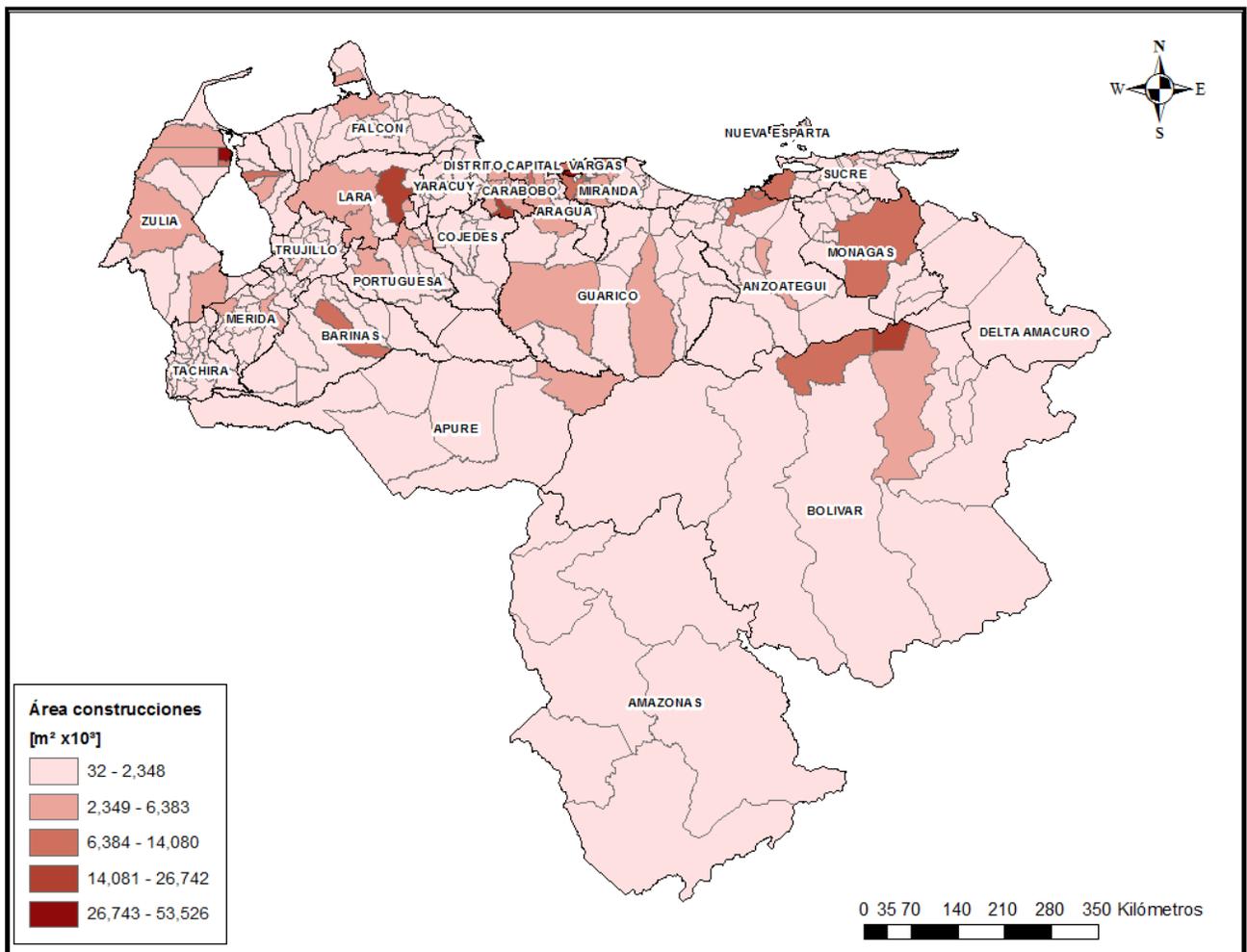


Figura 5-24. Distribución de Valores Expuestos en Construcciones Regulares por Municipio

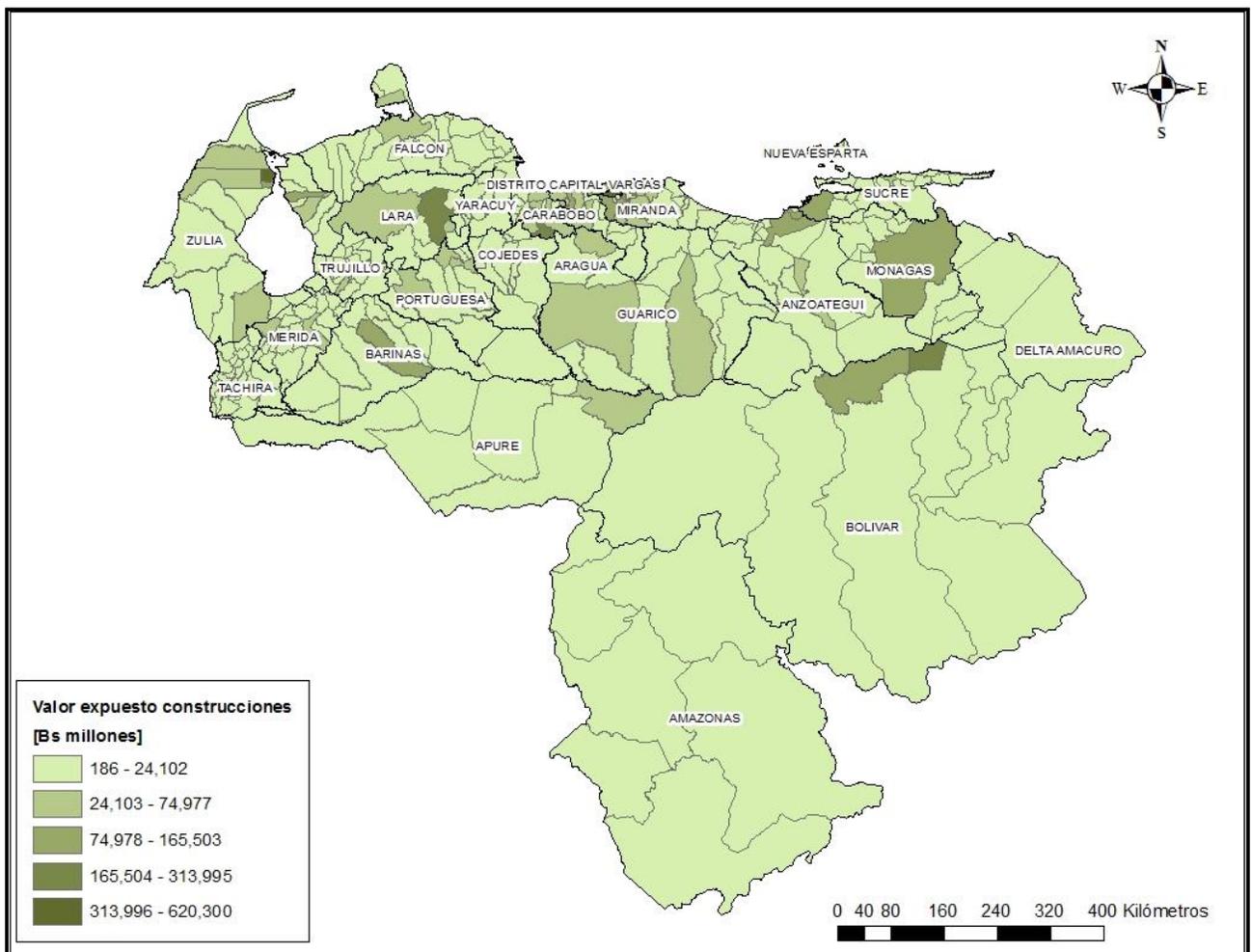


Figura 5-25. Distribución de Valores Expuestos en Infraestructura Nacional por Municipio

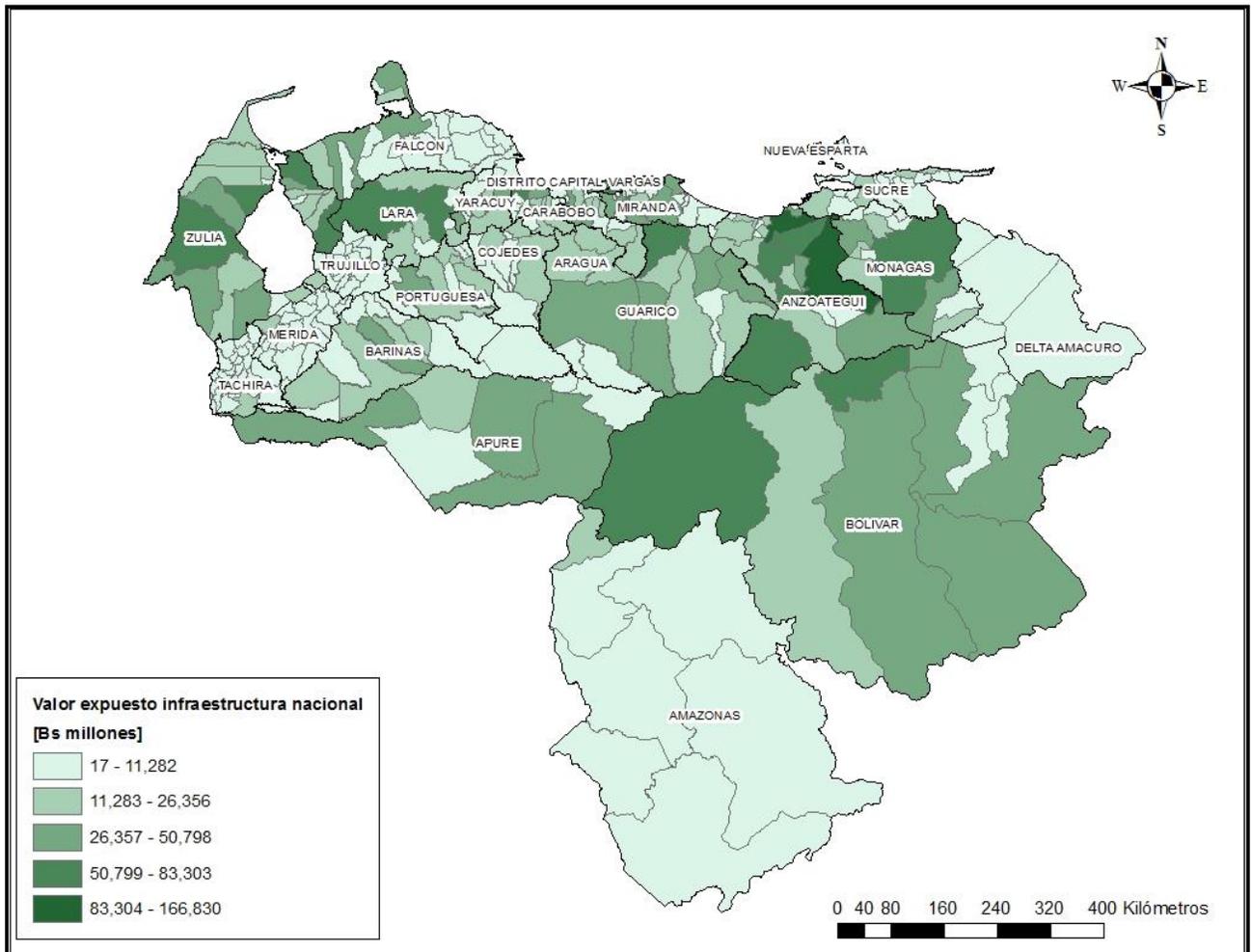


Figura 5-26. Distribución de Valor Expuesto Total por Municipio

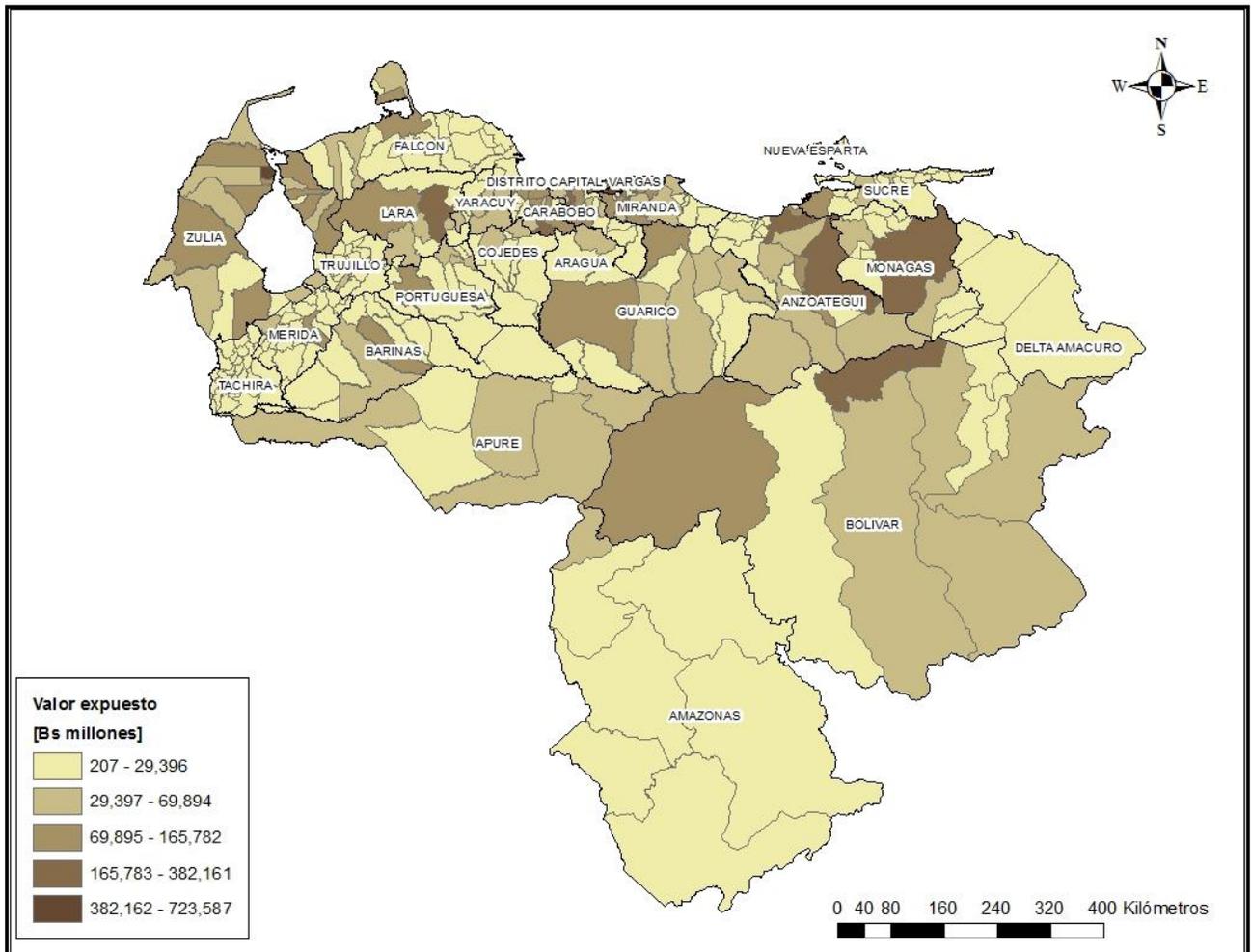
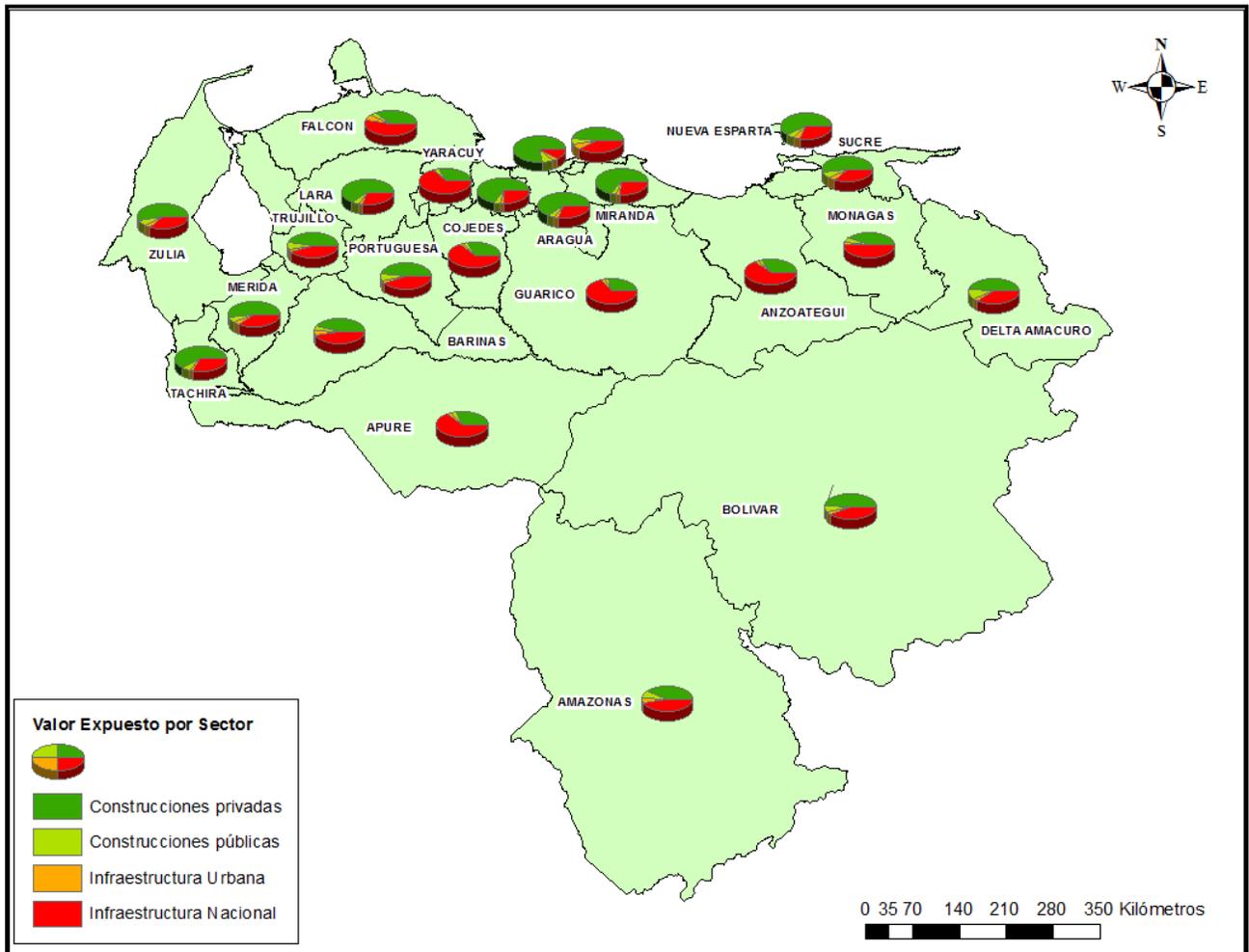


Figura 5-21. Distribución Relativa de Valores Expuestos según Sectores por Estado



6. Vulnerabilidad Sísmica de Activos

6.1 Aspectos Generales

La vulnerabilidad sísmica es la relación entre cualquier medida de intensidad del fenómeno (aceleración, velocidad, desplazamiento o cualquier otra; la que mejor correlación presente) y el nivel de daño en el elemento físico expuesto a dicha intensidad sísmica. Por ejemplo para el caso de construcciones típicas de edificios de varios pisos, la intensidad sísmica que mejor se correlaciona con los daños esperados es la deriva o distorsión angular de entrepisos (relacionada con la deformación de la estructura ante las fuerzas sísmicas). Para otro tipo de construcciones como edificaciones menores en mampostería o adobe, se utiliza principalmente la aceleración máxima del terreno como parámetro de correlación con el daño. En otros casos como los sistemas de tuberías enterradas, resulta más conveniente utilizar como parámetro de intensidad como la velocidad máxima del terreno.

El procedimiento para la calificación de la vulnerabilidad sísmica de los diferentes elementos expuestos es el siguiente:

- (a) Tipificación de los tipos constructivos más representativos o predominantes en el conjunto de elementos expuestos, con base en la información existente y las opiniones y criterios aportados a nivel local.
- (b) Cálculo de las funciones de vulnerabilidad de los tipos constructivos característicos. Para este efecto se desarrollaron algunos modelos analíticos o se utilizaron algunas funciones aplicables ya publicadas según experiencias nacionales e internacionales previas.
- (c) Conformación de la base de datos de las construcciones y elementos principales que representan el inventario de activos de la nación.
- (d) Asignación de un tipo constructivo característico a cada uno de los elementos que conforman el inventario de activos expuestos y asignación de la función de vulnerabilidad correspondiente.

Una vez caracterizada la vulnerabilidad de cada uno de los elementos, se realiza el análisis de riesgo frente a la amenaza sísmica.

A continuación se presenta una descripción del tipo de funciones de vulnerabilidad que se utilizaron para diferentes elementos expuestos. Estas curvas están basadas en el comportamiento de componentes típicos equivalentes, obtenido de estudios previos o de análisis específicos de las condiciones de diseño y construcción de los elementos modelados.

6.2 Funciones de Vulnerabilidad Sísmica

Las edificaciones típicas de varios pisos incluyen construcciones de varios sistemas estructurales como son pórticos resistentes a momentos, sistemas combinados o duales, sistemas de edificaciones con muros estructurales, sistemas prefabricados y otros en general comparten la característica de que el daño principal que se puede llegar a presentar depende principalmente de la deformación relativa piso a piso. Las funciones de vulnerabilidad para estos tipos constructivos se representan gráficamente como *el porcentaje de daño vs. Deriva máxima de entrepiso de la edificación*.

Por otro lado, para sistemas constructivos tales como sistemas de muros estructurales de mampostería, construcciones menores en adobe, tapia y materiales locales, así como estructuras aisladas tales como muros de contención, tanques y similares, las funciones de vulnerabilidad que correlacionan de mejor manera son las basadas en parámetros como la aceleración máxima del terreno. En este caso las funciones de vulnerabilidad se representan de mejor manera como el *porcentaje de daño vs. Aceleración espectral máxima de la edificación*.

La generación de funciones de vulnerabilidad se realiza en el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN 2009), con base en la información disponible en <http://www.ecapra.org/>.

6.3 Funciones de Vulnerabilidad para los Elementos Expuestos

El análisis requiere funciones de vulnerabilidad para cada uno de los tipos de elementos que componen el inventario de activos del país. Los tipos de elementos son los siguientes:

Construcciones urbanas y rurales típicas

- (a) Residencial PB: capacidad económica baja (Res PB)
- (b) Residencial PM: capacidad económica media (Res PM)
- (c) Residencial PA: capacidad económica alta (Res PA)
- (d) Comercial
- (e) Industrial (estructuras con una gran área construida)
- (f) Salud privada
- (g) Educación privada
- (h) Salud pública
- (i) Educación pública
- (j) Gubernamentales

Infraestructura urbana

- (a) Subestaciones de energía más redes anexas
- (b) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (c) Presas, tanques y plantas de acueducto y alcantarillado
- (d) Redes de acueducto, alcantarillado
- (e) Redes de gas
- (f) Aeropuertos
- (g) Puertos
- (h) Puentes urbanos

Infraestructura nacional

- (a) Vías Red primaria (vías y puentes)
- (b) Vías Red secundaria (vías y puentes)
- (c) Hidroeléctricas (presas y casas de máquinas)

- (d) Plantas térmicas y geotérmicas
- (e) Subestaciones de energía más redes anexas
- (f) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (g) Subestaciones de combustible y gas más redes anexas.

Las funciones de vulnerabilidad para cada uno de estos componentes se calculan utilizando el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN 2009). Las funciones se generan en términos de aceleración espectral o en términos de deriva estructural y luego se uniformizan todas en términos de aceleración espectral tal como se explicó anteriormente. Las curvas se modifican con factores que tienen en cuenta aspectos particulares de los tipos constructivos locales tales como calidad de materiales, estado general de las construcciones, prácticas de diseño y construcción típicas, y en general las características específicas de los tipos estructurales predominantes.

Las Figura 6-1 y Figura 6-2 presentan las funciones en términos de la aceleración espectral en cada caso.

Figura 6-1 Funciones de Vulnerabilidad (Función Aceleración Espectral) para Construcciones

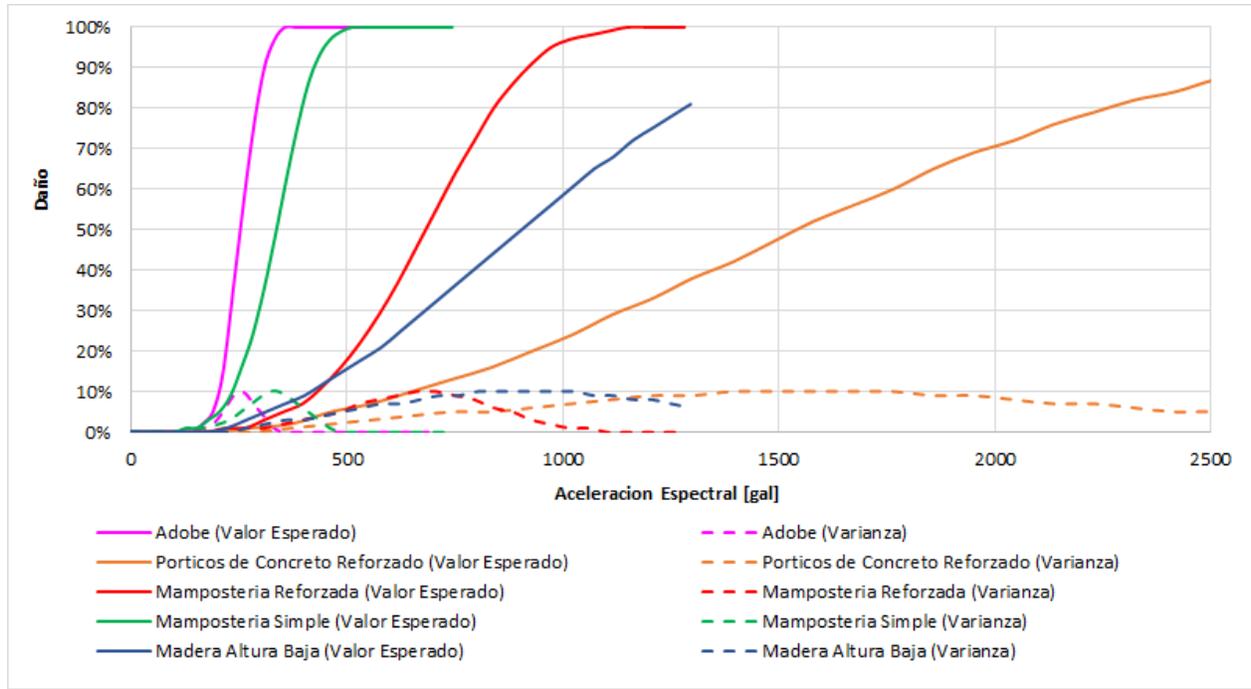
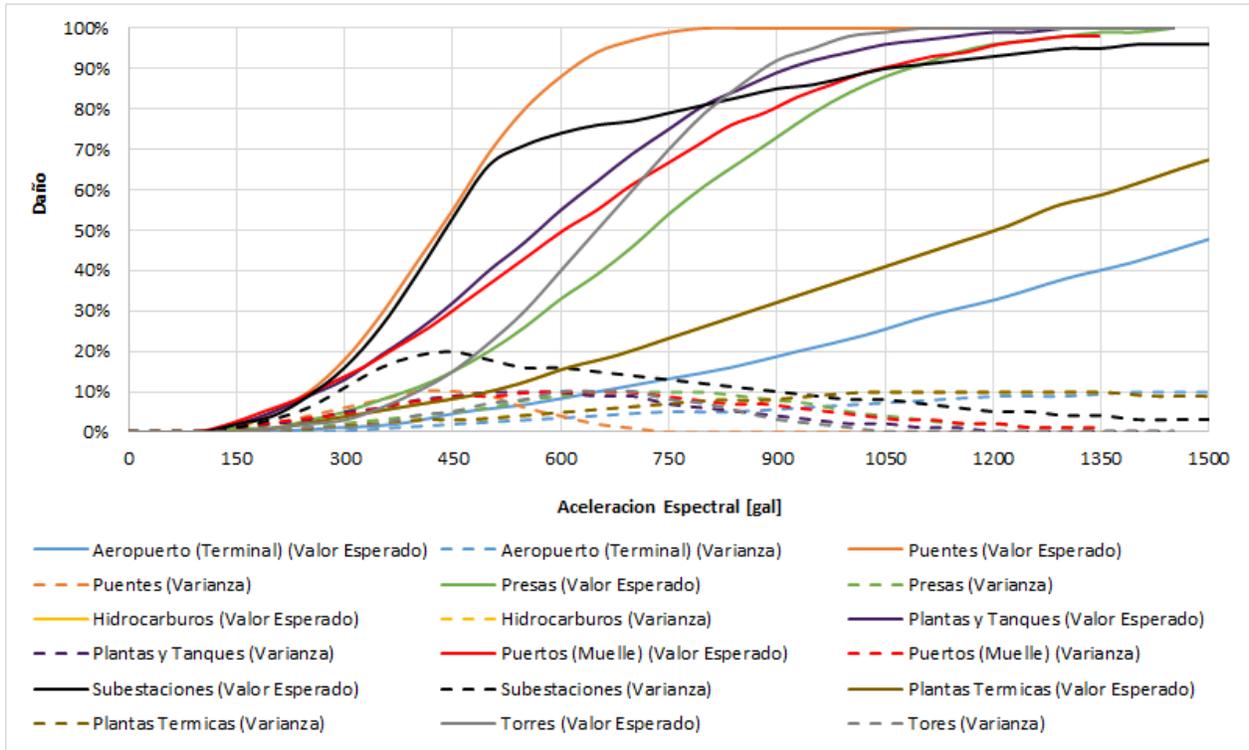


Figura 6-2. Funciones de Vulnerabilidad (Función Aceleración Espectral) para Infraestructura



Considerando que cada una de estas funciones está asociada a un tipo estructural característico la Tabla 6-1 resume los periodos estructurales representativos de cada tipo estructural, con base en lo cual se realiza la asignación de la intensidad sísmica correspondiente a utilizar en el análisis.

Tabla 6-1. Tipos de Funciones de Vulnerabilidad, Tipo Estructural y Periodo de Vibración

Función de Vulnerabilidad		Periodo Representativo
Construcciones	MS - Mampostería Simple	0.08 seg
	AD - Adobe	0.15 seg
	MR – Mampostería Reforzada	0.15 seg
	MD1 - Madera	0.35 seg
	MD2 - Madera	0.35 seg
	PCR_MCR - Pórticos de Concreto Reforzado con Muros de Cortante	0.56 seg
	PCR - Pórticos de Concreto Reforzado	0.75 seg
Infraestructura Urbana	Subestaciones Eléctricas	Amax
	Subestaciones Comunicación	0.75 seg
	Presas	Amax
	Plantas y Tanques	Amax
	Red Acueducto	Amax
	Red Alcantarillado	Amax
	Red Gas	Amax
	Aeropuertos (Terminal)	0.75 seg
	Puertos (Bodegas)	0.75 seg
	Puertos (Muelle)	0.4 seg
	Puentes Urbanos	Amax
Infraestructura Nacional	Red Vial Principal (Puentes)	Amax
	Red Vial Secundaria (Puentes)	Amax
	Hidroeléctricas (Presas)	Amax
	Hidroeléctricas (Casas de Maquinas)	0.56 seg
	Plantas Térmicas	0.86 seg
	Plantas Geotérmicas	0.86 seg
	Distribución energética (Subestaciones)	Amax
	Distribución energética (Redes)	Amax
	Comunicaciones (Líneas Fijas)	0.56 seg
	Comunicaciones (Líneas Móviles)	0.56 seg
	Hidrocarburos Derivados	0.86 seg
	Hidrocarburos (Gas)	0.86 seg

En el vínculo <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – vulnerabilidad) se presentan las funciones de vulnerabilidad utilizadas en los análisis y la explicación de los diferentes niveles de daño esperado en cada uno de los tipos estructurales característicos.

7. Evaluación del Riesgo Sísmico

7.1 Aspectos Generales

Con base en los modelos de amenaza probabilistas propuestos y en el inventario y valoración de activos expuestos con sus funciones de vulnerabilidad correspondientes, se desarrolla un modelo de análisis de riesgo probabilista para el país.

Tal como se explicó anteriormente, el análisis probabilista del riesgo se plantea con base en una serie de escenarios de amenaza que representan de manera adecuada los efectos de cualquier evento de magnitud factible que se puede presentar en el área de influencia. Cada uno de estos escenarios tiene asociada una frecuencia o probabilidad de ocurrencia específica. El procedimiento de cálculo probabilista consiste en evaluar con métricas apropiadas, en este caso la pérdida económica, para cada uno de los activos expuestos, considerando cada uno de los escenarios de amenaza, y luego integrar en forma probabilista los resultados obtenidos utilizando las frecuencias de ocurrencia de cada escenario.

El riesgo sísmico ha sido calculado utilizando la plataforma CAPRA-GIS (ERN, 2009). La metodología de cálculo se describe en el vínculo <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – riesgo).

7.2 Pérdidas Totales a Nivel País

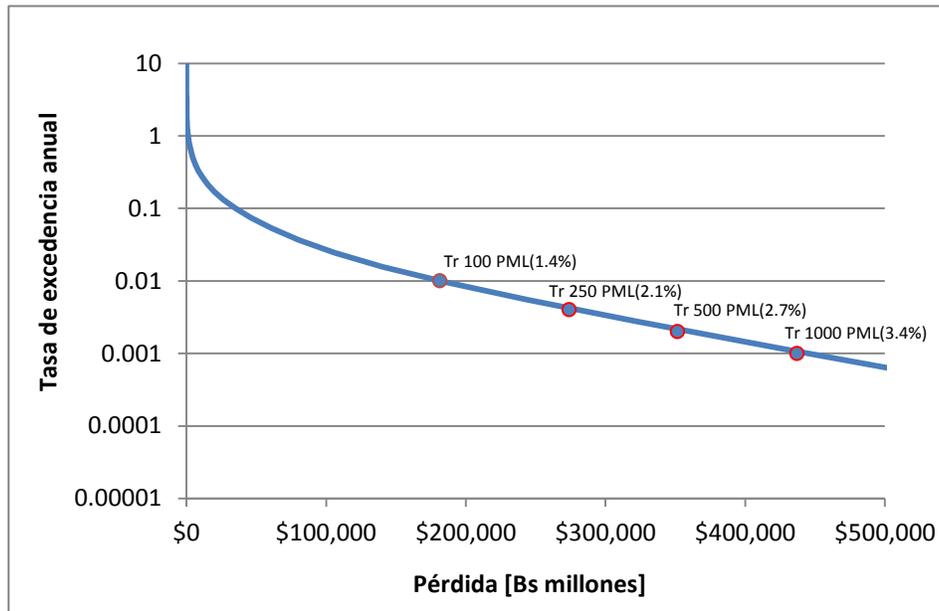
En primer lugar se presenta la con la información consolidada a nivel de todo país como es el valor total expuesto, la pérdida anual esperada en valor y al millar (también conocida como prima técnica de riesgo) y valores indicativos de pérdida máxima probable para diferentes períodos de retorno.

Tabla 7-1. Resultados Generales de PML

Resultados		
Valor expuesto	Bs x10 ⁶	\$12,940,150
Pérdida anual esperada	Bs x10 ⁶	\$16,718
	‰	1.3
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	Bs x10 ⁶	%
50	\$119,648	0.9%
100	\$181,356	1.4%
250	\$273,984	2.1%
500	\$351,625	2.7%
1000	\$437,178	3.4%

La Figura 7-1 presenta la curva de excedencia de pérdidas a nivel país por terremoto.

Figura 7-1. Excedencia de Pérdidas por Terremoto



La Figura 7-2 presenta la curva de pérdida máxima probable en valor y en porcentaje para diferentes periodos de retorno. Paralelamente se presentan en la Figura 7-3 las curvas de probabilidad de excedencia de diferentes valores de PML en porcentaje para diferentes períodos de exposición, en particular 20, 50, 100 y 200 años.

Figura 7-2. Curva de PML por Terremoto

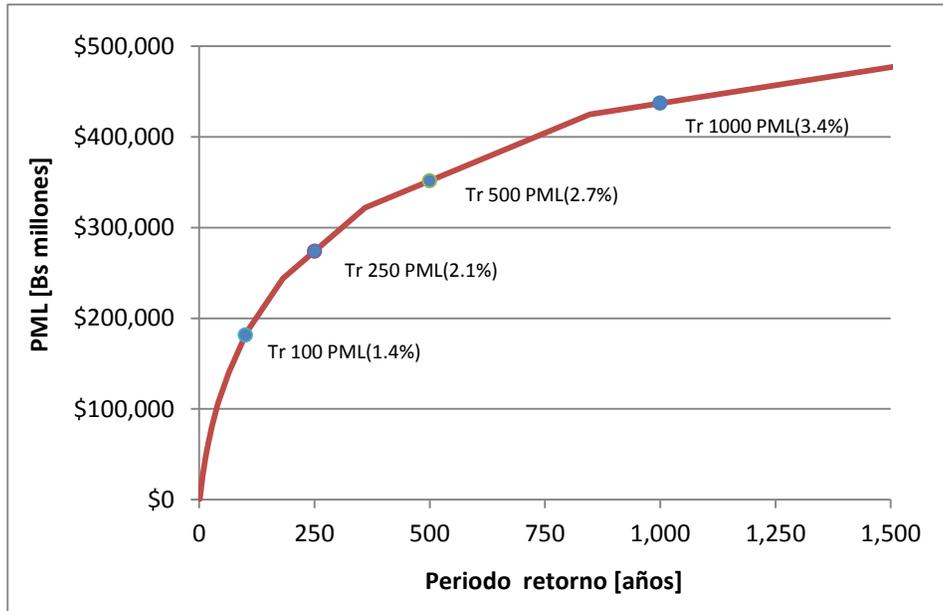
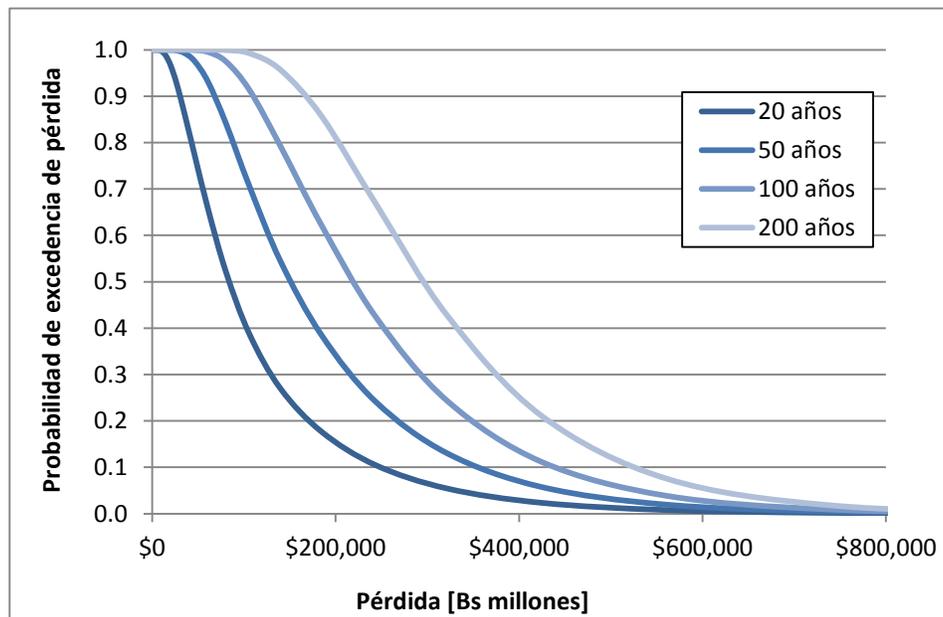


Figura 7-3. Curvas de Probabilidad de Excedencia de Diferentes Valores de PML, para Diferentes Tiempos de Exposición



La Tabla 7-2 resume por su parte los escenarios críticos resultantes del análisis, es decir los escenarios que resultaron con las mayores pérdidas económicas esperadas.

Tabla 7-2. Escenarios Críticos de Análisis

N°	Escenario		Pérdida		Frecuencia	Per. retorno escenario [años]
	Fuente	Magnitud	[Bs x10 ⁶]	%		
6612	SanSebastian_SF12	7.11	281,000	2.17%	0.00062	1613
6611	SanSebastian_SF12	6.73	201,000	1.55%	0.00098	1022
6605	SanSebastian_SF11	6.73	174,000	1.34%	0.00098	1022
6610	SanSebastian_SF12	6.34	127,000	0.98%	0.00154	649
6609	SanSebastian_SF12	5.96	70,700	0.55%	0.00243	412

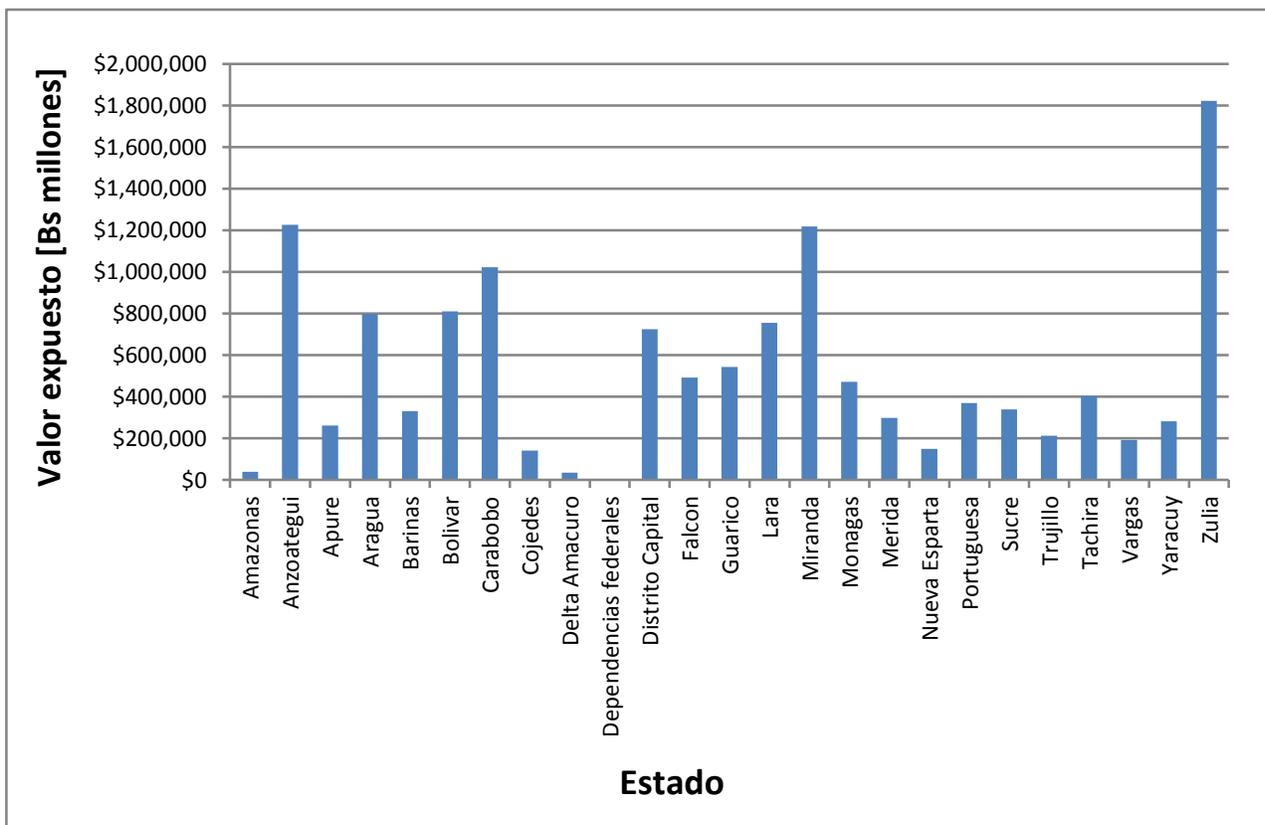
8. Concentración de Riesgo Sísmico

El análisis de concentración del riesgo se realiza a nivel de Estados y a nivel de los diferentes sectores de uso, para los sectores público y privado, así como para los principales componentes de la infraestructura nacional.

8.1 Comparación de Pérdidas por Estado

Las pérdidas se evalúan por Estado como unidad geográfica de análisis. La Figura 8-1 presenta la comparación de valores expuestos por Estado.

Figura 8-1. Valores Expuestos por Estados

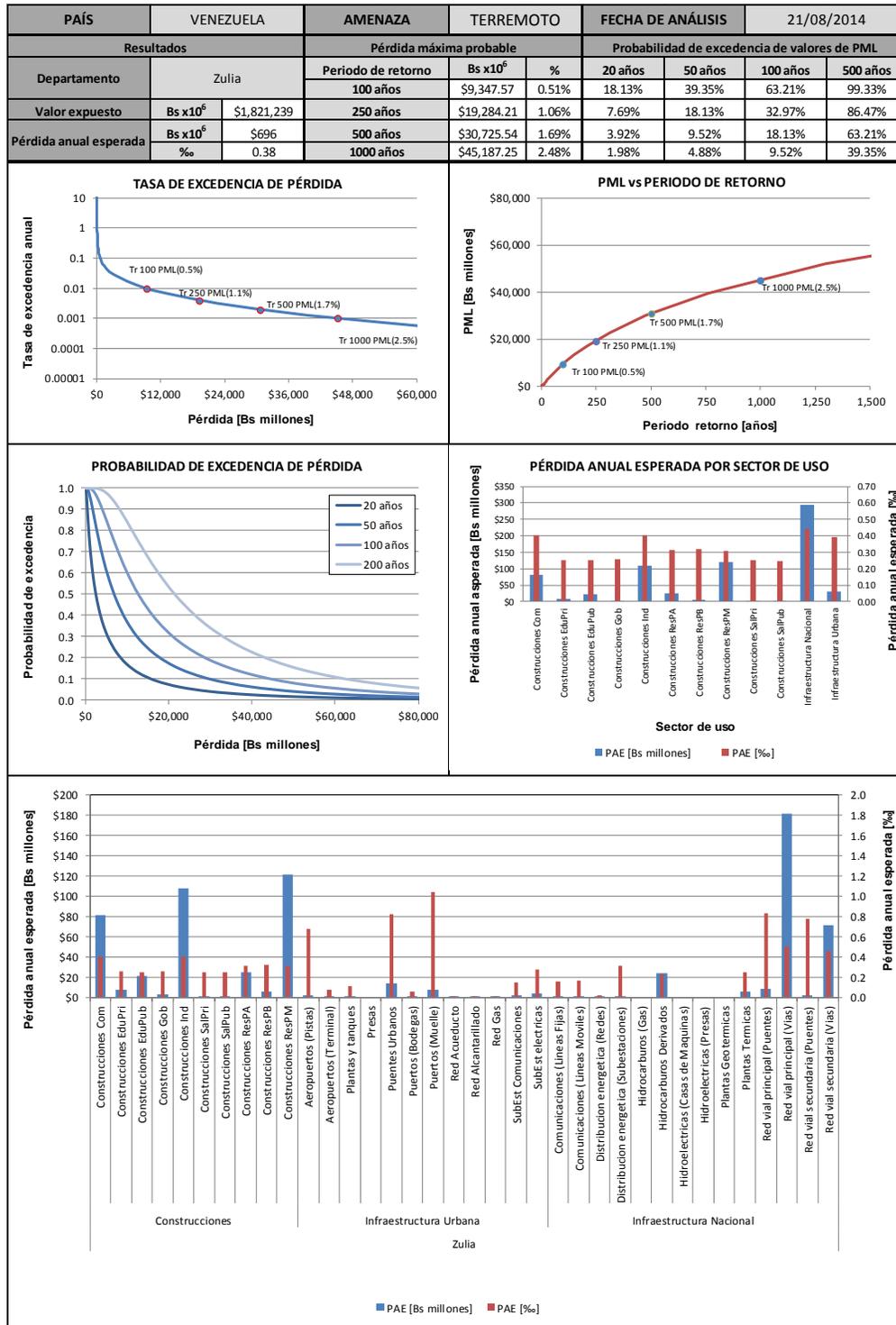


Para cada uno de los Estados, se realiza en forma complementaria un análisis individual, que permite estimar el nivel de pérdida máxima probable y el nivel de primas individuales por Estado. En cada caso se presentan resultados correspondientes a:

- Tabla resumen de pérdida anual esperada (AAL) y pérdida máxima probable (PML).
- Curvas de tasa de excedencia de pérdidas y de PML con el período de retorno.
- Diagrama de barras con los valores de AAL en valor y al millar discriminados para cada uno de los sectores de uso.

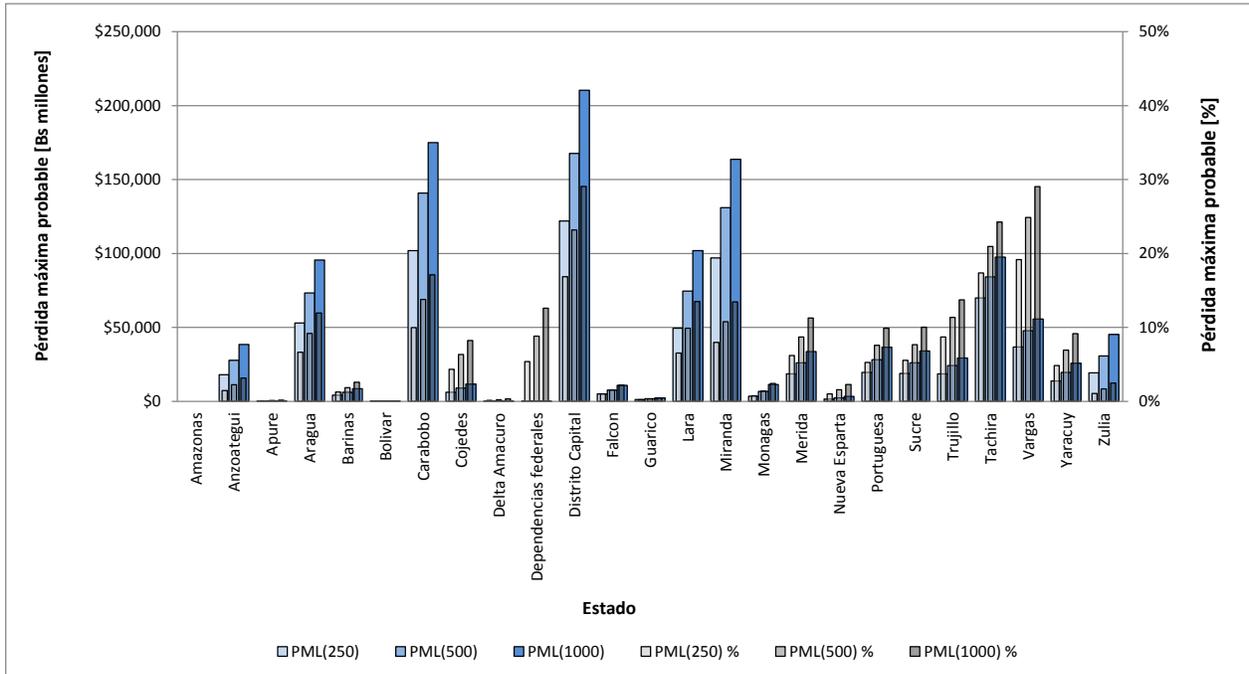
La Figura 8-2 presenta un ejemplo del formato de presentación de los resultados individuales para cada uno de los Estados. En el Anexo 3 se presentan los resultados individuales para los Estados restantes. Es importante resaltar que el Estado del Amazonas al tener un valor expuesto bajo en comparación al resto del país (Bs 38,991 x10⁶) y por estar ubicado en una zona sísmica de amenaza baja la pérdida anual esperada y la PML son iguales cero, se puede observar este resultado en la Figura 8-2.

Figura 8-2. Ejemplo de Resultados por Terremoto para el Estado de Zulia



La Figura 8-3 resume los valores de PML para periodos de retorno de 250, 500 y 1000 años para cada uno de los Estados tanto en valor como en porcentaje.

Figura 8-3. Valores de PML para Diferentes Periodos de Retorno en cada Estado



Por otro lado la Figura 8-4 presenta los valores correspondientes de AAL tanto en valor como al millar y la Figura 8-5 muestra en el eje de la izquierda el valor expuesto por estado y en el eje de la derecha su correspondiente pérdida anual esperada expresada al millar.

Figura 8-4. Valores de AAL por Estado

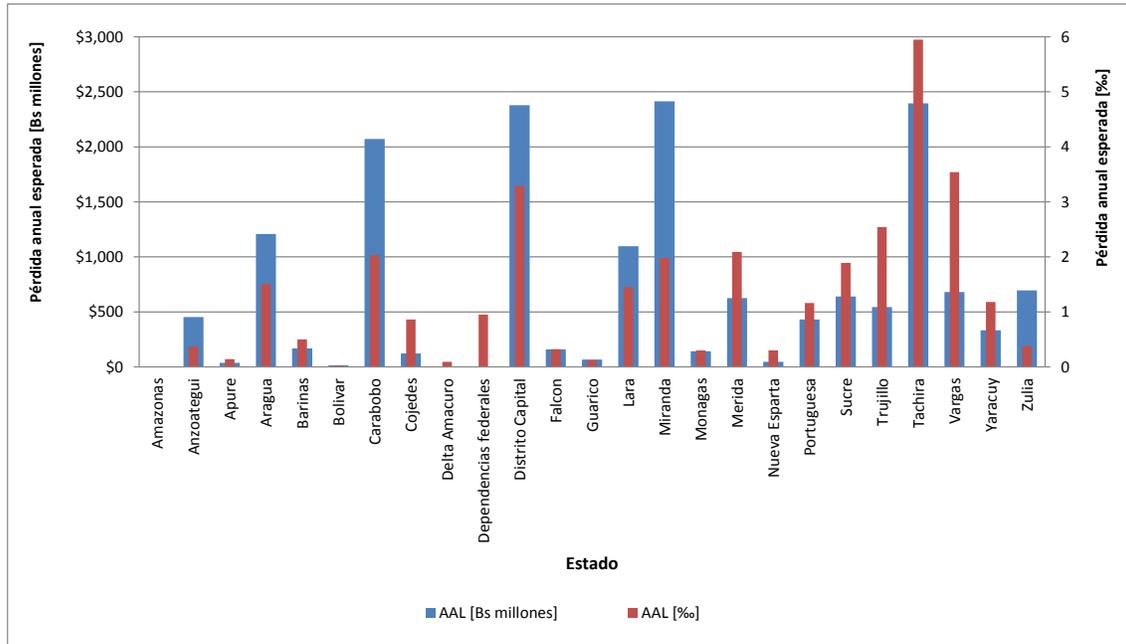
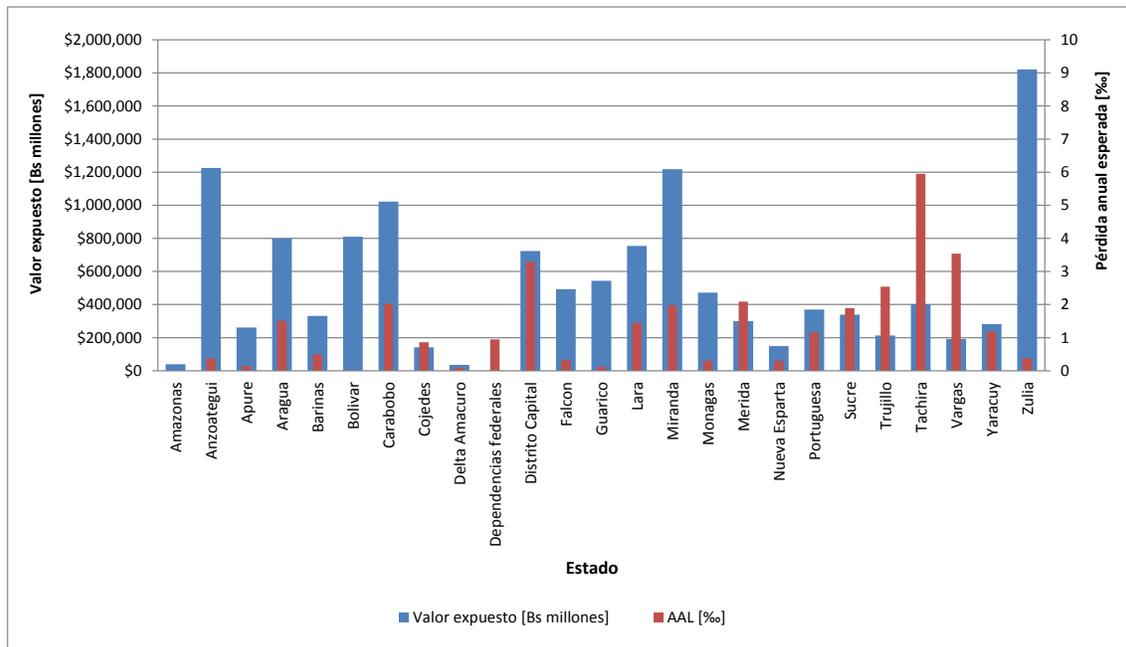


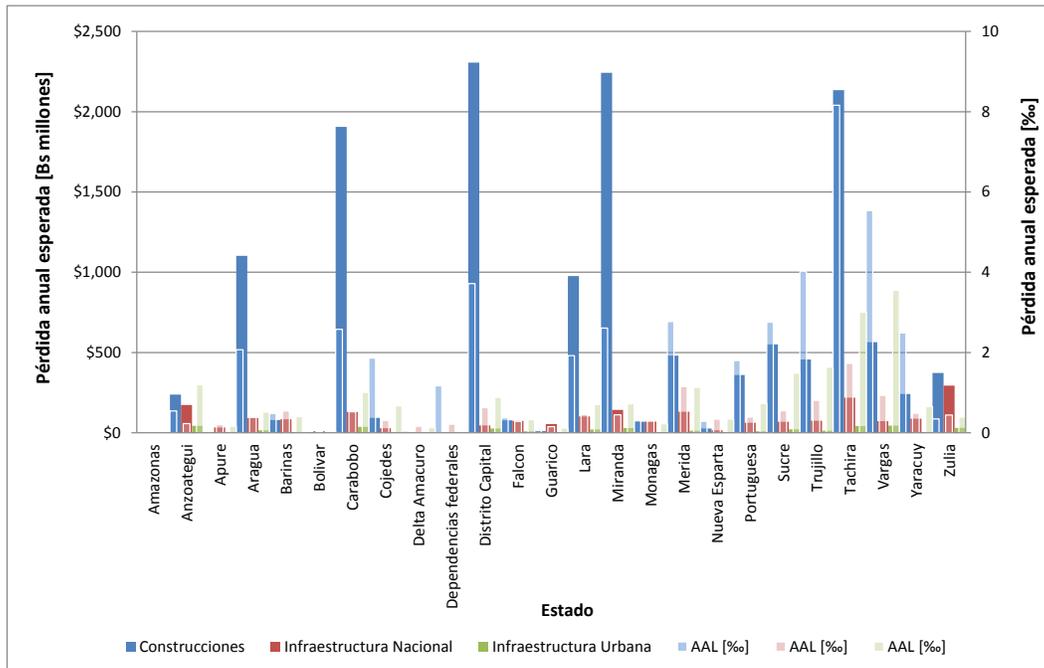
Figura 8-5. Valores Expuestos por Estado y AAL al Millar



En la Figura 8-6 se presenta el desglose de las pérdidas anuales esperadas por sectores para cada uno de los Estados. Los sectores considerados son las

construcciones urbanas, la infraestructura urbana y la infraestructura nacional asociada con cada Estado.

Figura 8-6. Valores de AAL por Estado para los Diferentes Sectores



Finalmente la Figura 8-7 y la Figura 8-8 presentan la distribución geográfica de la pérdida anual esperada en valor y al millar para cada uno de los municipios. Por otro lado, la Figura 8-9 y la Figura 8-10 presentan la pérdida máxima probable en valor y en porcentaje para cada uno de los Estados.

Figura 8-7. Distribución Geográfica de AAL (valor) por Municipio

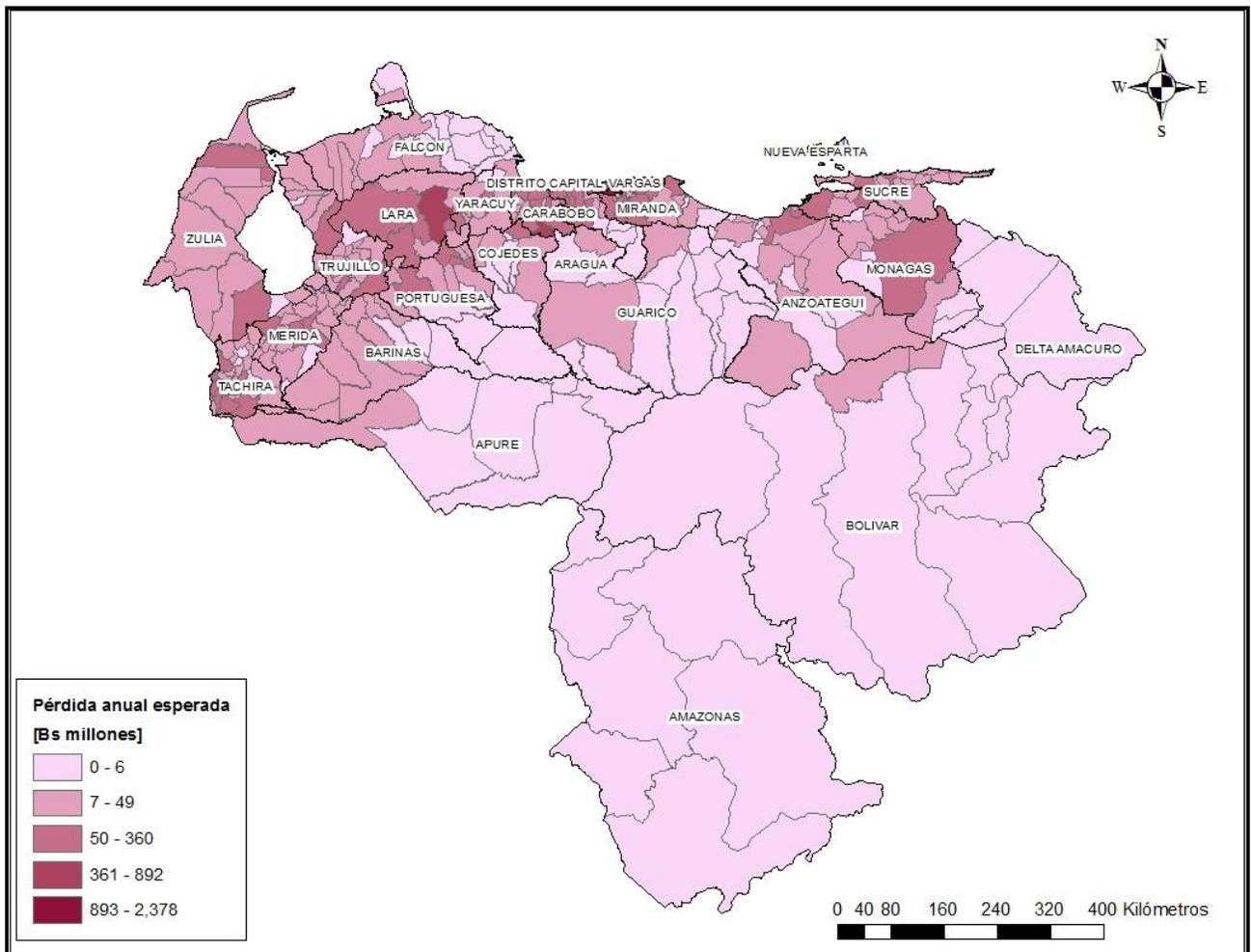


Figura 8-8. Distribución Geográfica de AAL (%) por Municipio

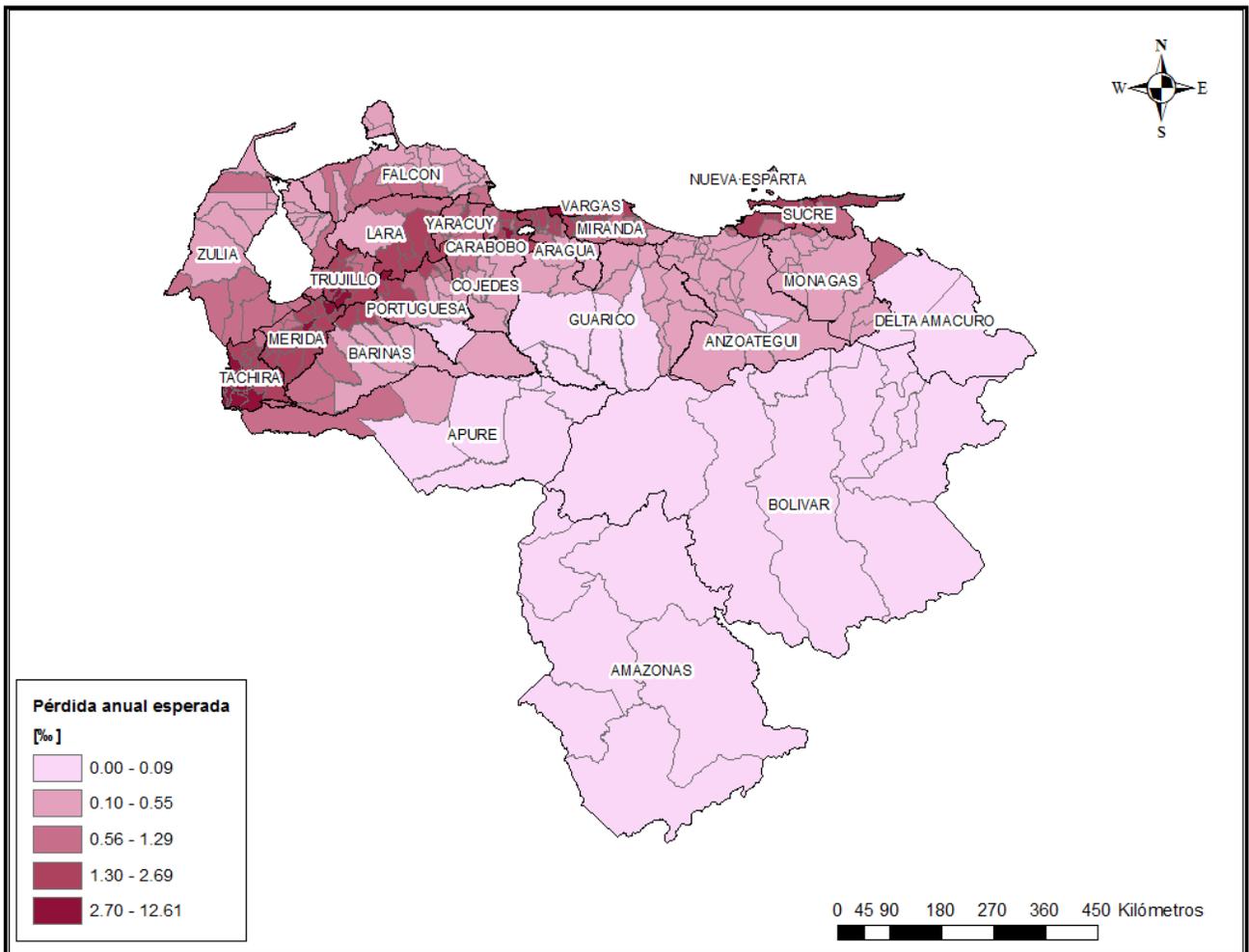


Figura 8-9. Distribución Geográfica de PML (valor) por Estado

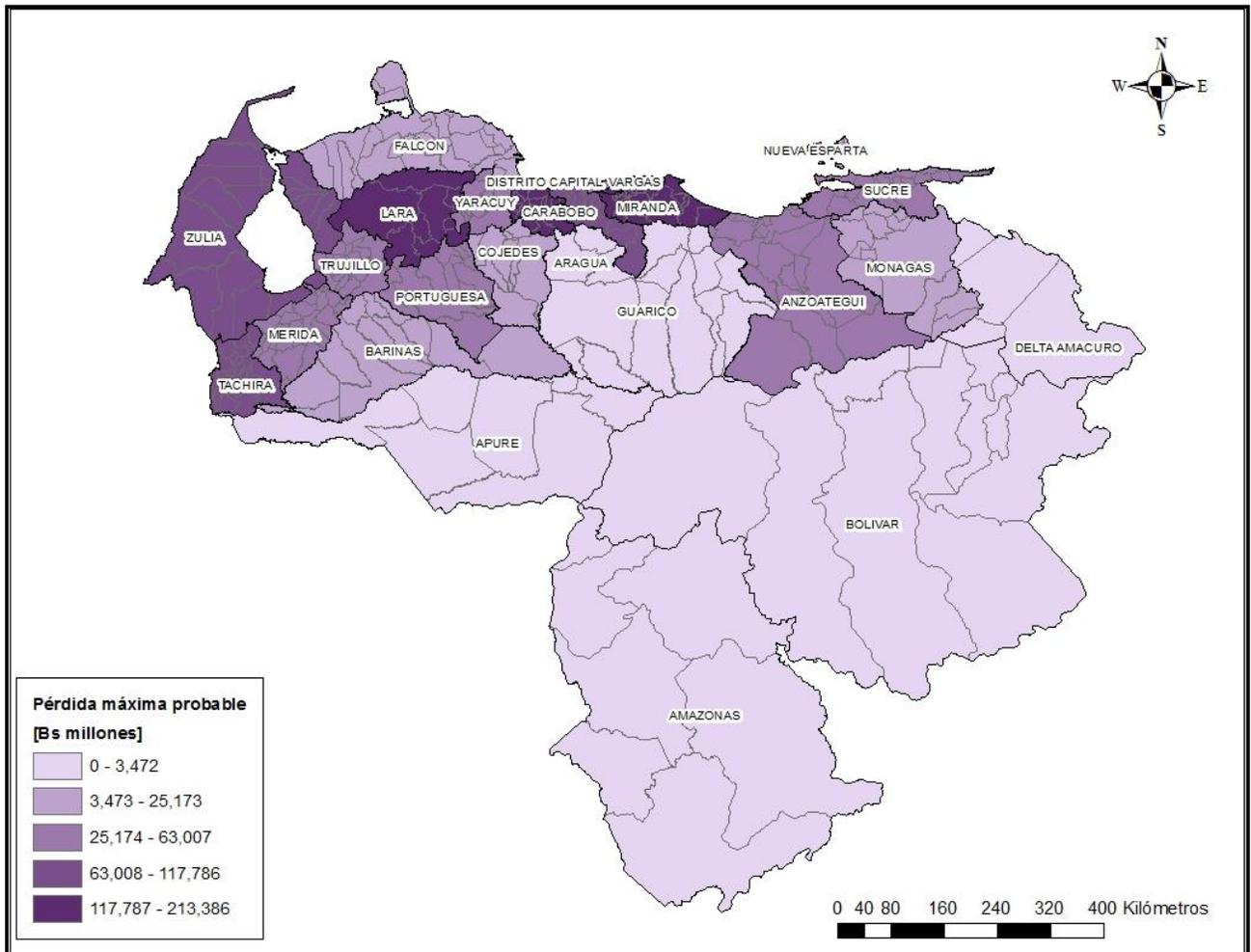
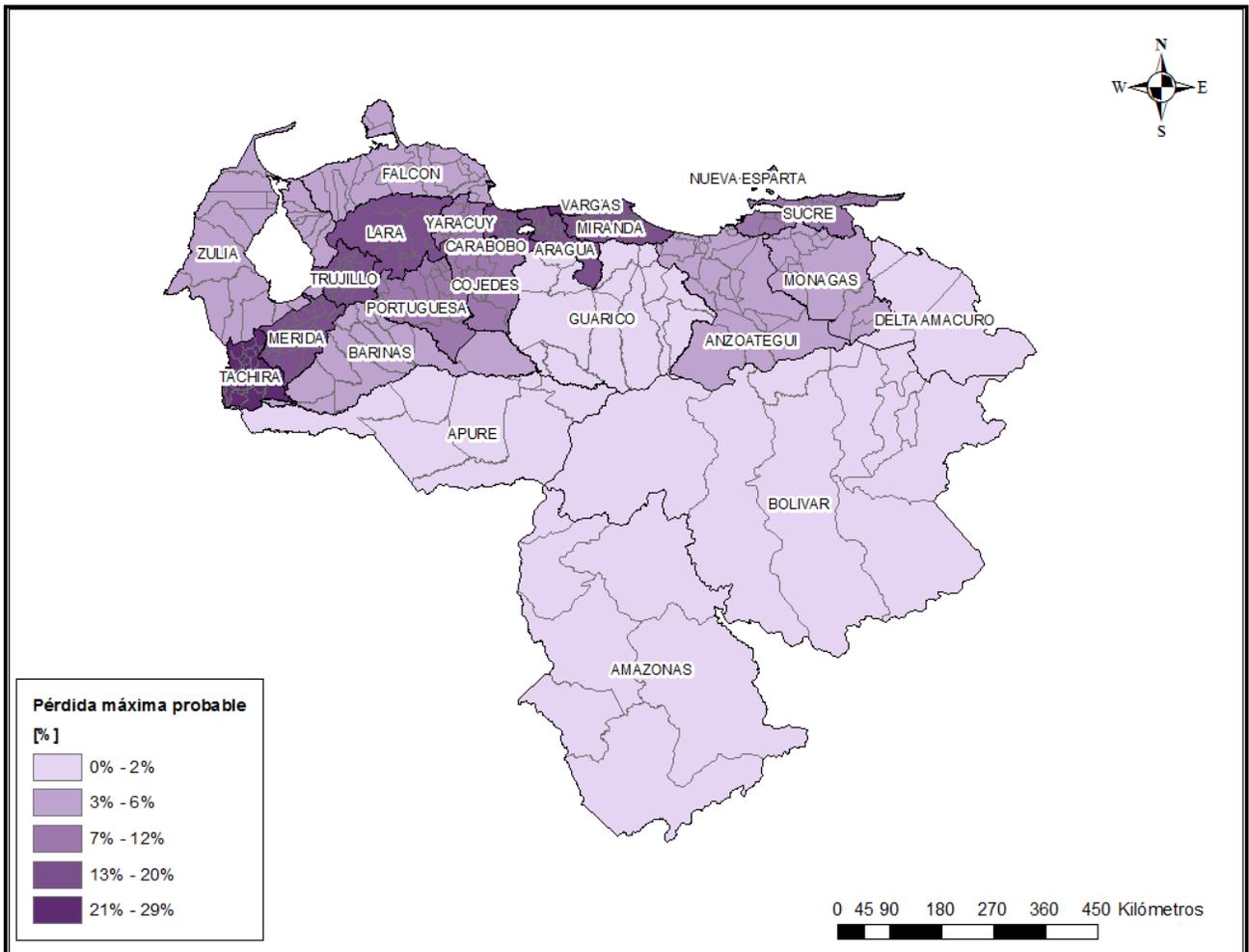


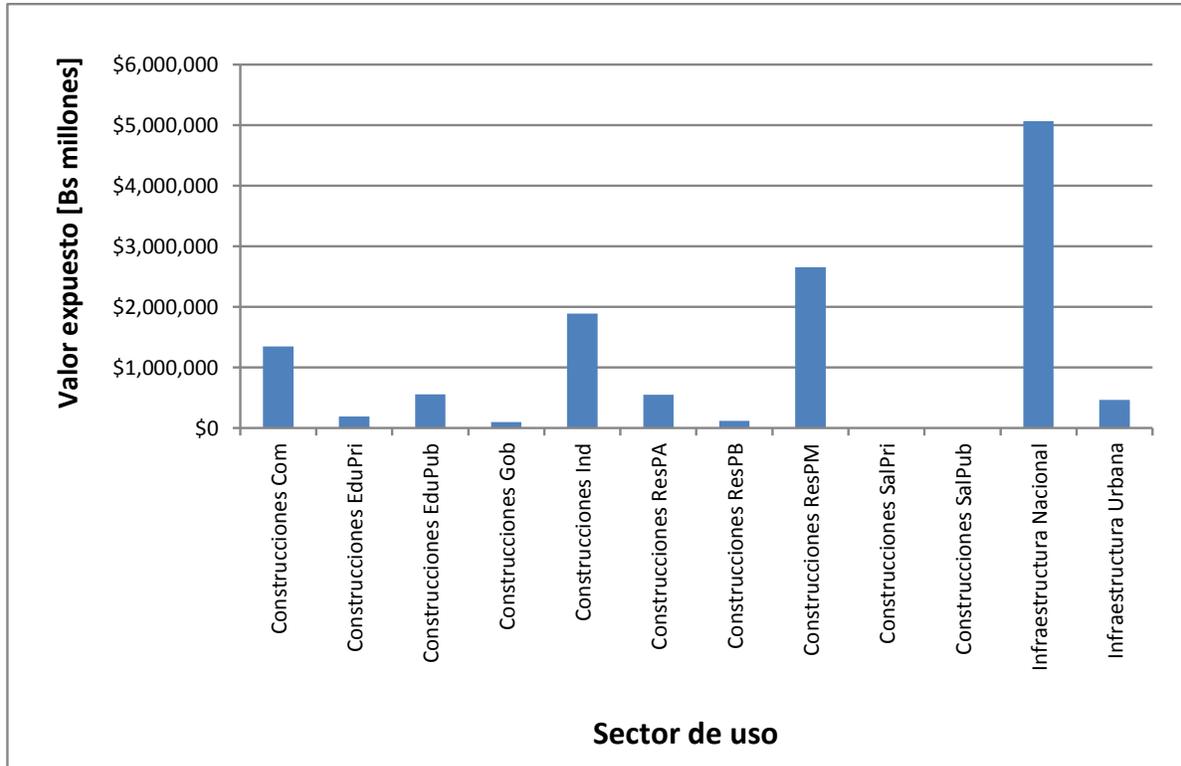
Figura 8-10. Distribución Geográfica de PML (%) por Estado



8.1.1 Comparación de Pérdidas por Sector

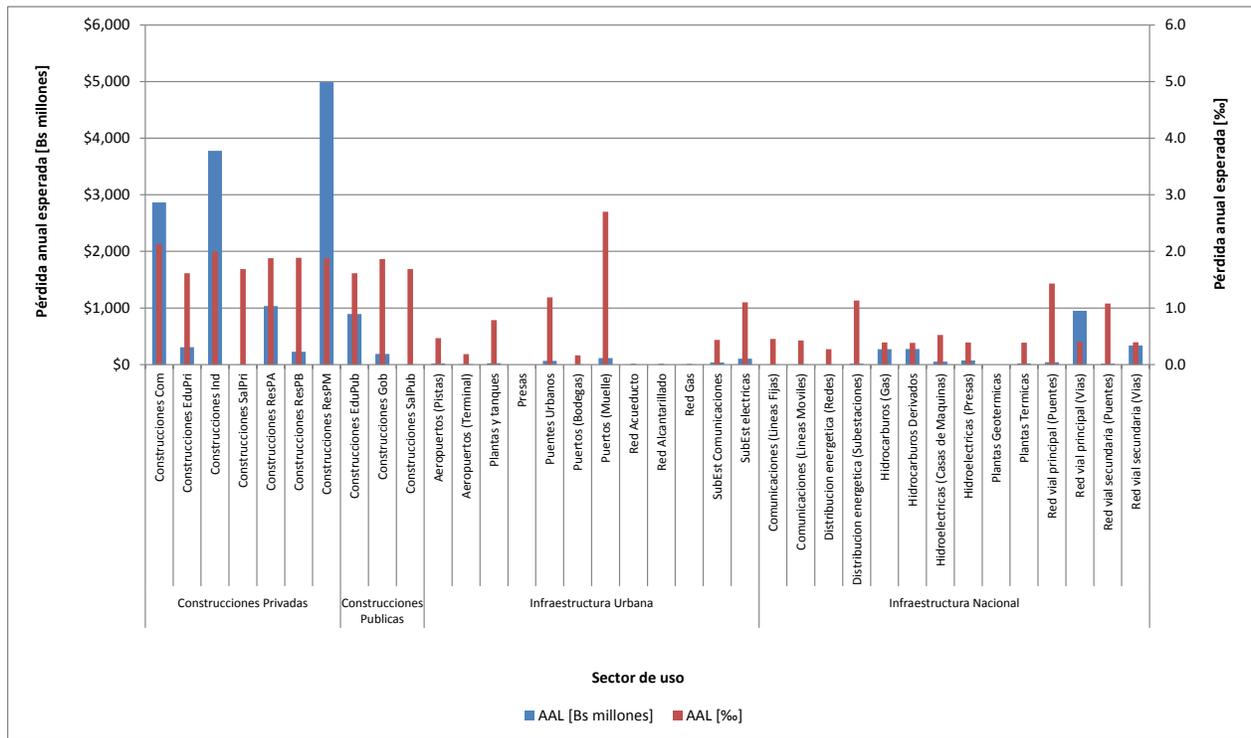
La Figura 8-11 presenta la comparación de los valores relativos expuestos por sector a nivel del país.

Figura 8-11. Valores Expuestos por Uso



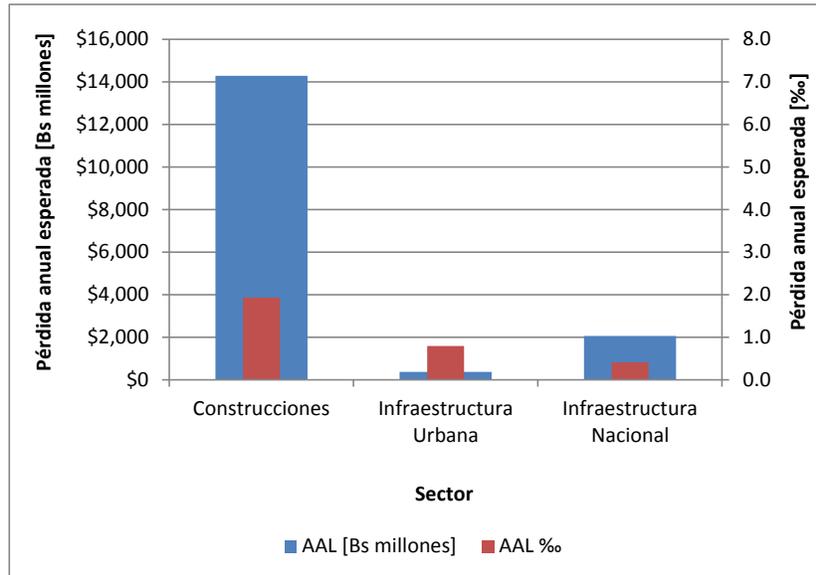
La Figura 8-12 totaliza la pérdida anual esperada en valor y al millar para cada uno de los sectores de uso y para todo el país en forma agregada.

Figura 8-12. Valores de AAL por Sectores



Por otro lado y en forma más resumida, la Figura 8-13 presenta los resultados equivalentes a la totalización de los resultados para los tres sectores de uso principales que corresponden a construcciones urbanas, infraestructura urbana e infraestructura nacional.

Figura 8-13. Resumen de Distribución de AAL por Sectores



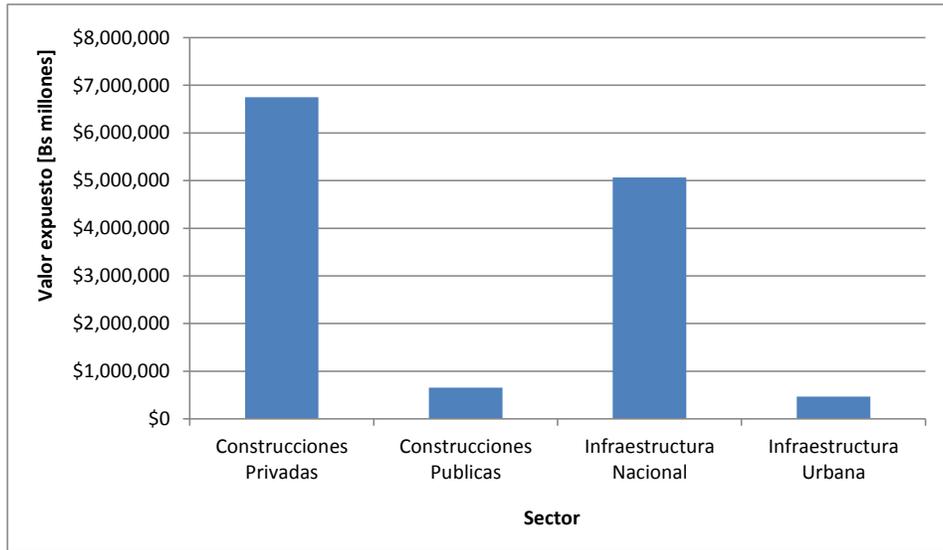
8.1.2 Perdida Máxima Probable para Sectores Público y Privado

Para evaluar la pérdida máxima probable para los sectores público y privado es necesario realizar análisis para cada uno de los portafolios que se desee analizar, ya que los resultados de este tipo de análisis dependen de la distribución geográfica relativa de los valores expuestos.

El sector público incluye las construcciones urbanas públicas (salud, educación – cuando son del Estado– y gubernamentales) así como toda la infraestructura. Por su parte el sector privado incluye únicamente las construcciones residenciales, comerciales, industriales y las construcciones respectivas del sector salud y educación.

La Figura 8-14 presenta los valores expuestos a nivel de sector público y privado en el país.

Figura 8-14. Valores Expuestos por Sectores



La Figura 8-15 y Figura 8-16 presentan la curva de PML para cada uno de estos sectores.

Figura 8-15 Curva de Excedencia de Pérdidas y de PML para Construcciones Públicas

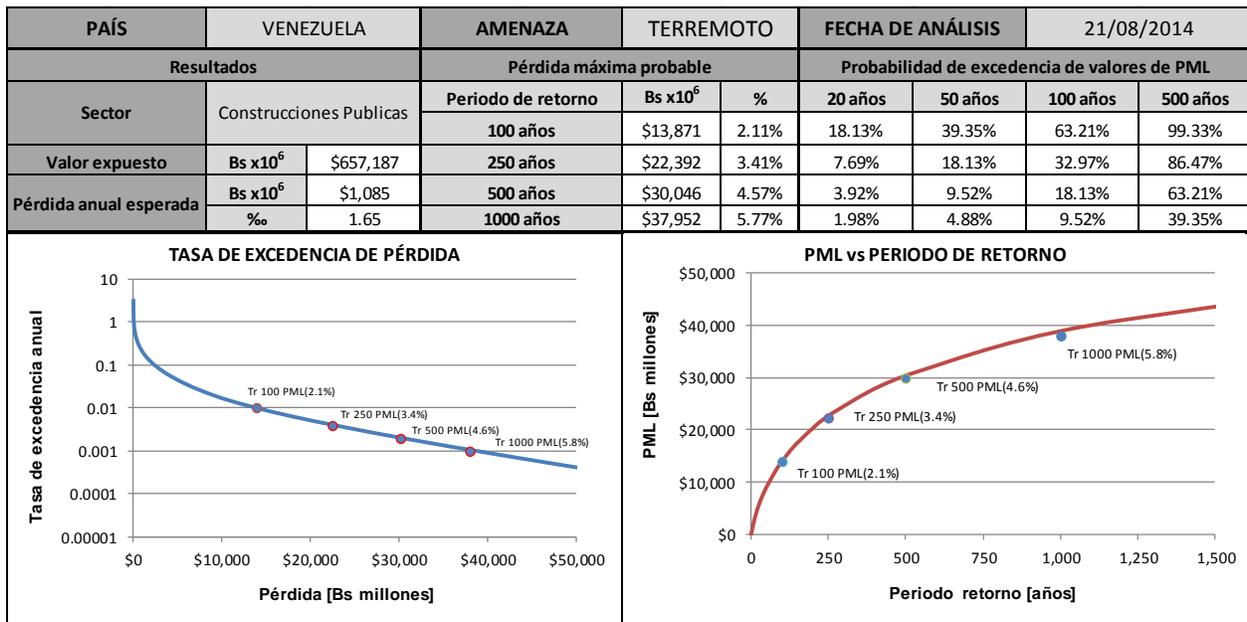
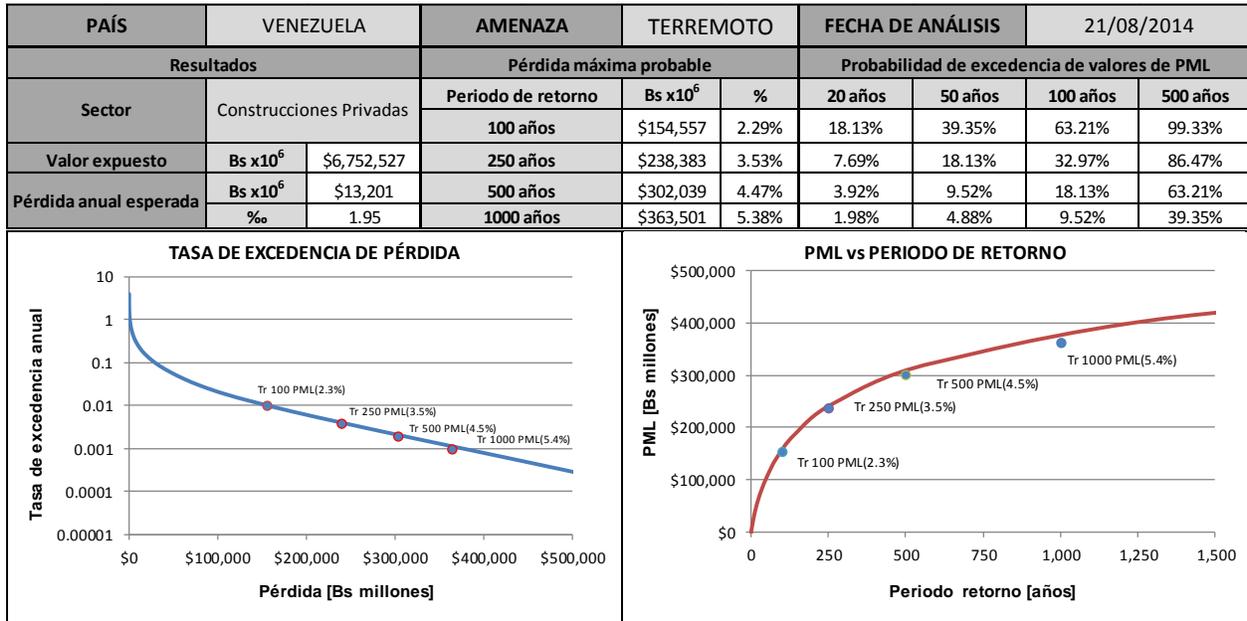


Figura 8-16. Curva de Excedencia de Pérdidas y para Construcciones Privadas



8.1.3 Pérdida Máxima Probable para Sectores Público y Privado

Un análisis similar al anterior se realiza para el sector de infraestructura nacional teniendo en cuenta que se han podido realizar análisis individuales para:

- Generación y distribución de energía
- Comunicaciones
- Transportes (vías y puentes)
- Hidrocarburos

Para cada uno de estos sectores se presentan los resultados de curvas de PML vs. Periodo de retorno y resultados globales de AAL en valor y al millar. La Figura 8-17, Figura 8-18, Figura 8-19 y Figura 8-20 a resumen estos resultados. En el Anexo 3 se presentan los resultados para los demás sectores.

Figura 8-17. Curva de Excedencia de Pérdidas y de PML para el Sector Energía

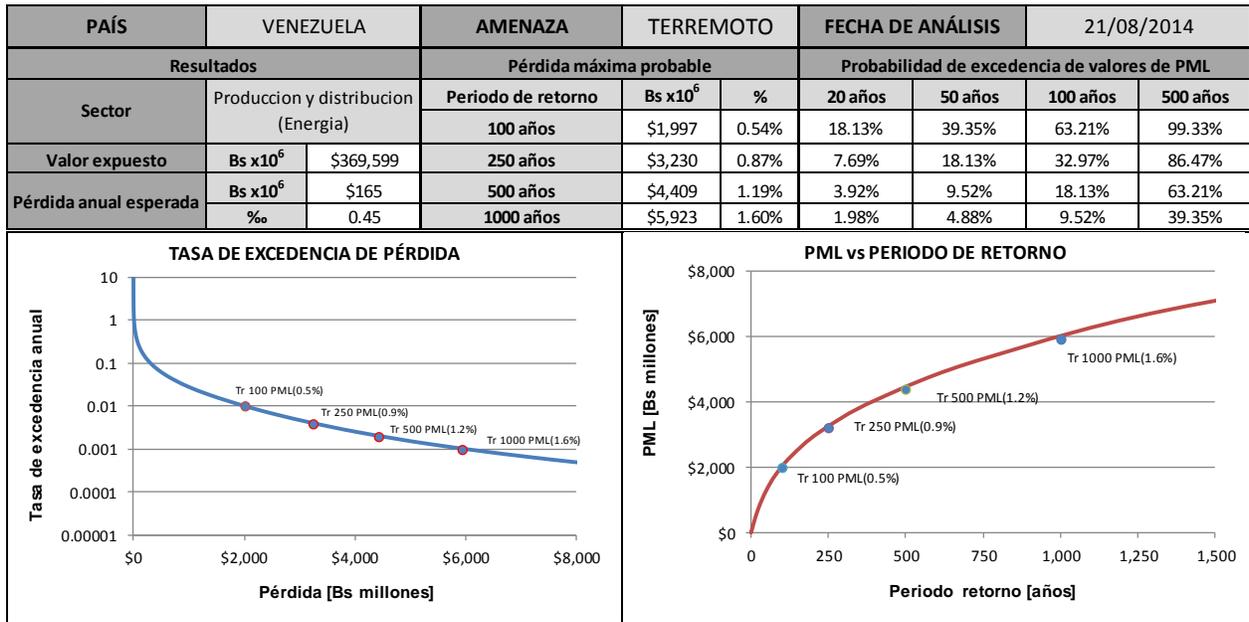


Figura 8-18. Curva de Excedencia de Pérdidas y de PML para el Sector Comunicaciones

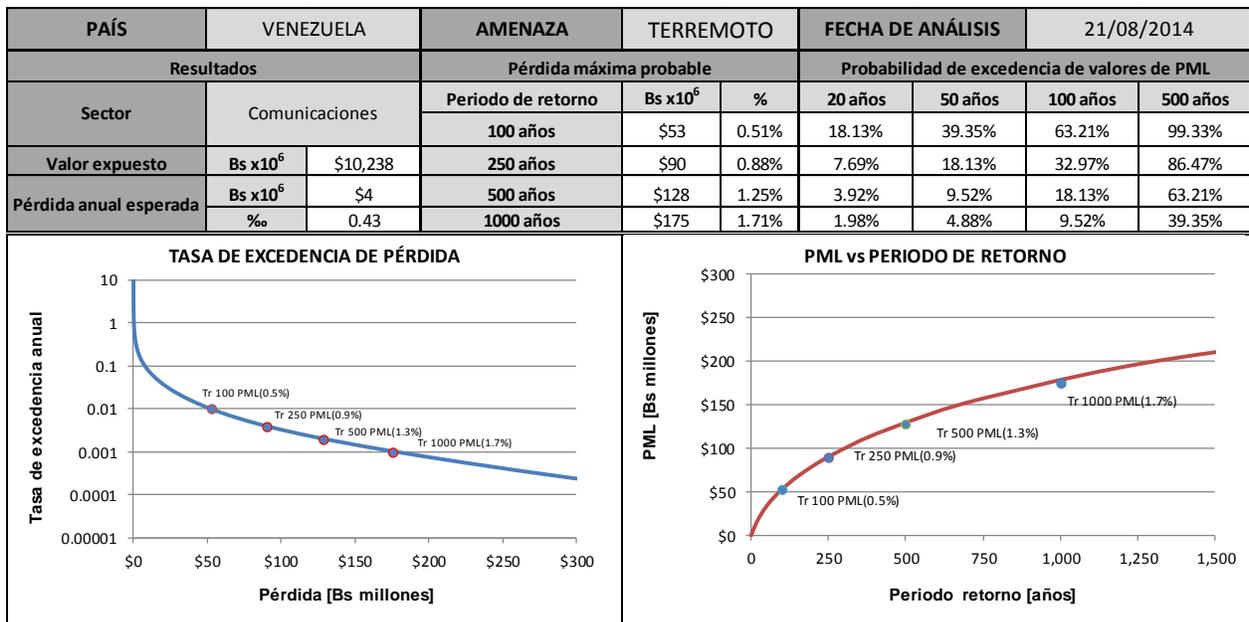


Figura 8-19. Curva de Excedencia de Pérdidas y de PML por Terremoto para el Sector de Vías

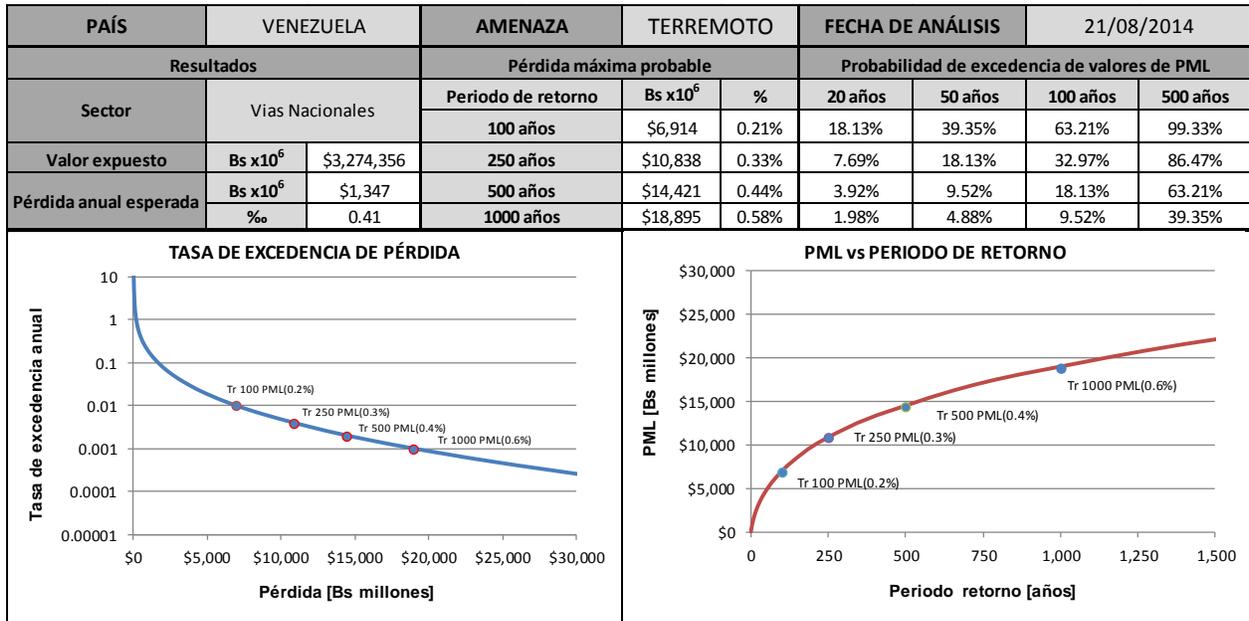
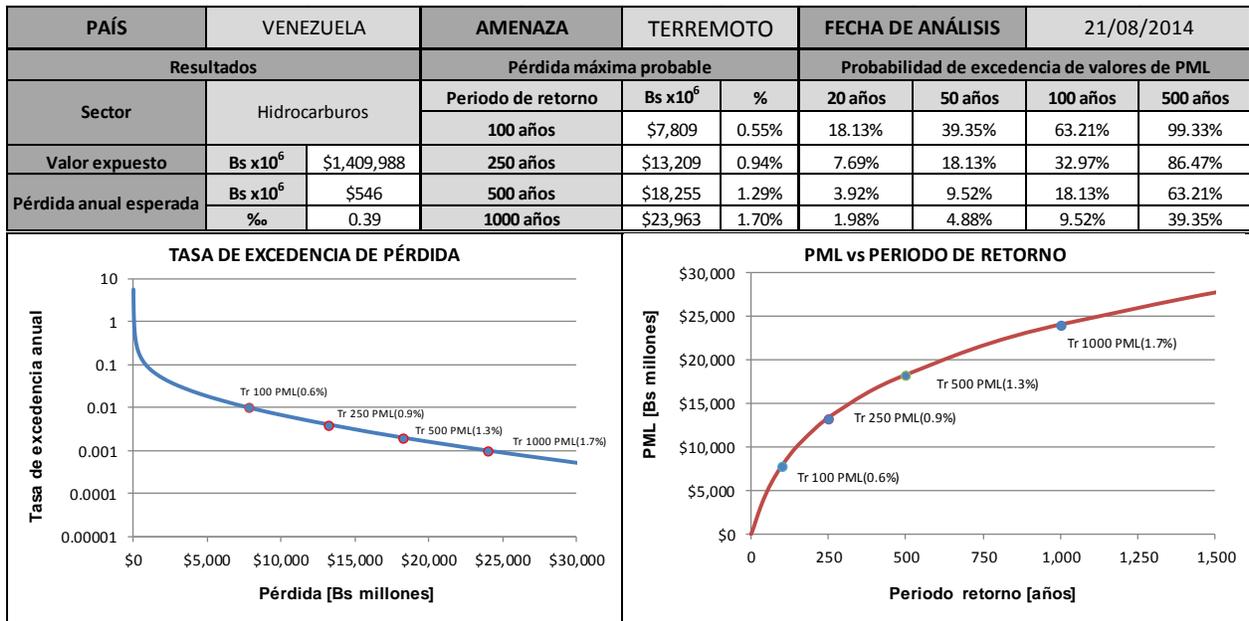


Figura 8-20. Curva de Excedencia de Pérdidas y de PML para el Sector Hidrocarburos



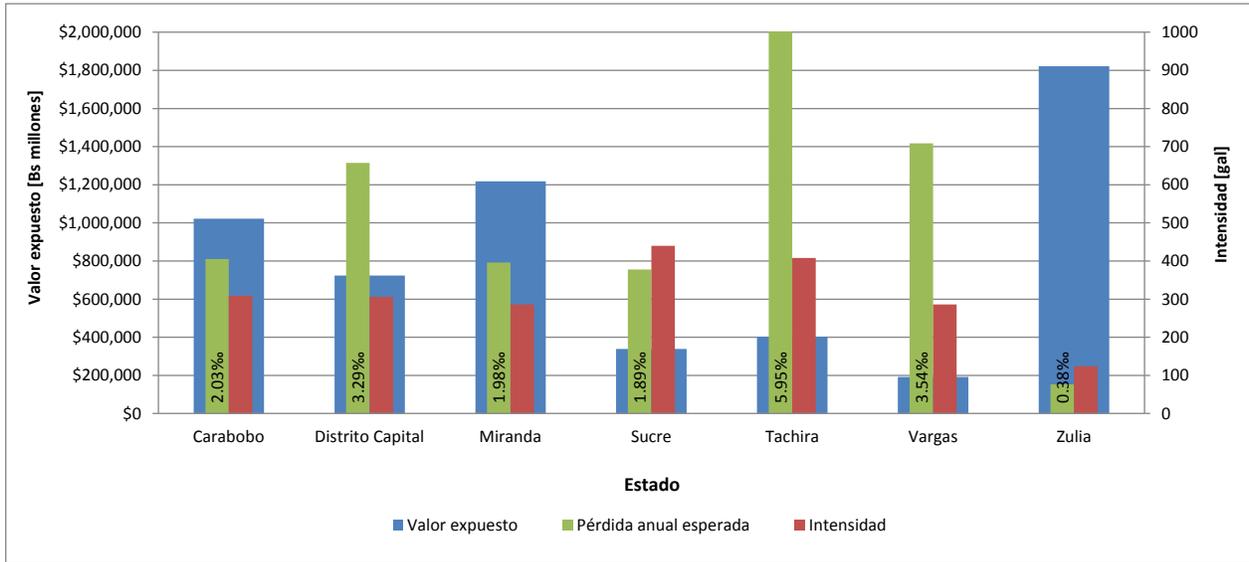
8.2 Reflexiones sobre la Evaluación Nacional de Riesgo

De los resultados de riesgo nacional y por estados presentados anteriormente es preciso anotar las particularidades que se presentan a continuación respecto de los niveles de amenaza sísmica, valores expuestos y el consecuente nivel de riesgo, representado por medio de la pérdida anual esperada, que sustentan los diferentes estados.

De la Figura 8-21 a Figura 8-22 fueron extractados los estados (Carabobo, Distrito Capital, Miranda, Sucre, Táchira, Vargas y Zulia) que corresponden a los más representativos en términos de valores en exposición y pérdidas anuales esperadas; a la vez, para los mismos estados en la localización (centro del municipio) de mayor valor expuesto se identificó desde el modelo de amenaza sísmica (mapa de amenaza uniforme para 457 años de periodo de retorno) la aceleración esperada.

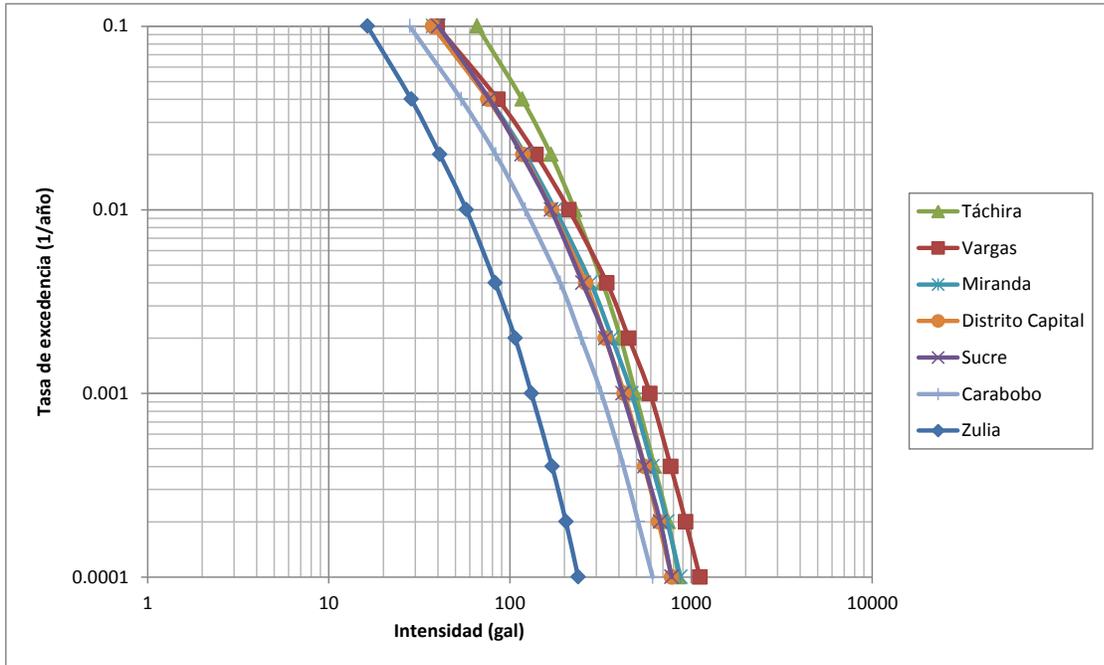
Dichos valores se presentan en la Figura 8-23, donde se observa la distribución de valor expuesto, pérdidas anuales e intensidad de las amenazas esperadas por estado. Podría verse los resultados de Táchira como anómalos si no se presta atención a los niveles de amenaza esperados en la localización de mayor exposición, pues es por dicho nivel de amenaza que Táchira a pesar de no concentrar el mayor valor expuesto del país, si concentra el mayor valor de riesgo (pérdida anual esperada).

Figura 8-21. Distribución Valores Expuestos, Intensidad de Amenaza y Pérdida



Los niveles de amenaza por estado se presentan en la Figura 8-22 donde se confirma la razón por la cual Táchira y Vargas concentran valores de riesgo altos, pues son los estados con las curvas de amenaza más altas.

Figura 8-22. Curva de Amenaza



El mapa de la Figura 8-23 presenta el modelo de exposición por municipio, incluyendo la distribución de aceleraciones esperadas en el territorio Venezolano para un periodo de retorno de 475 años, donde se identifica la ubicación de los municipios de mayor exposición en las zonas de amenaza con aceleraciones entre 100 y 300 gal. De igual forma la Figura 8-24 presenta la relación lógica entre niveles de amenaza y concentración de riesgo.

Figura 8-23. Mapa de Amenaza frente a Valor Expuesto

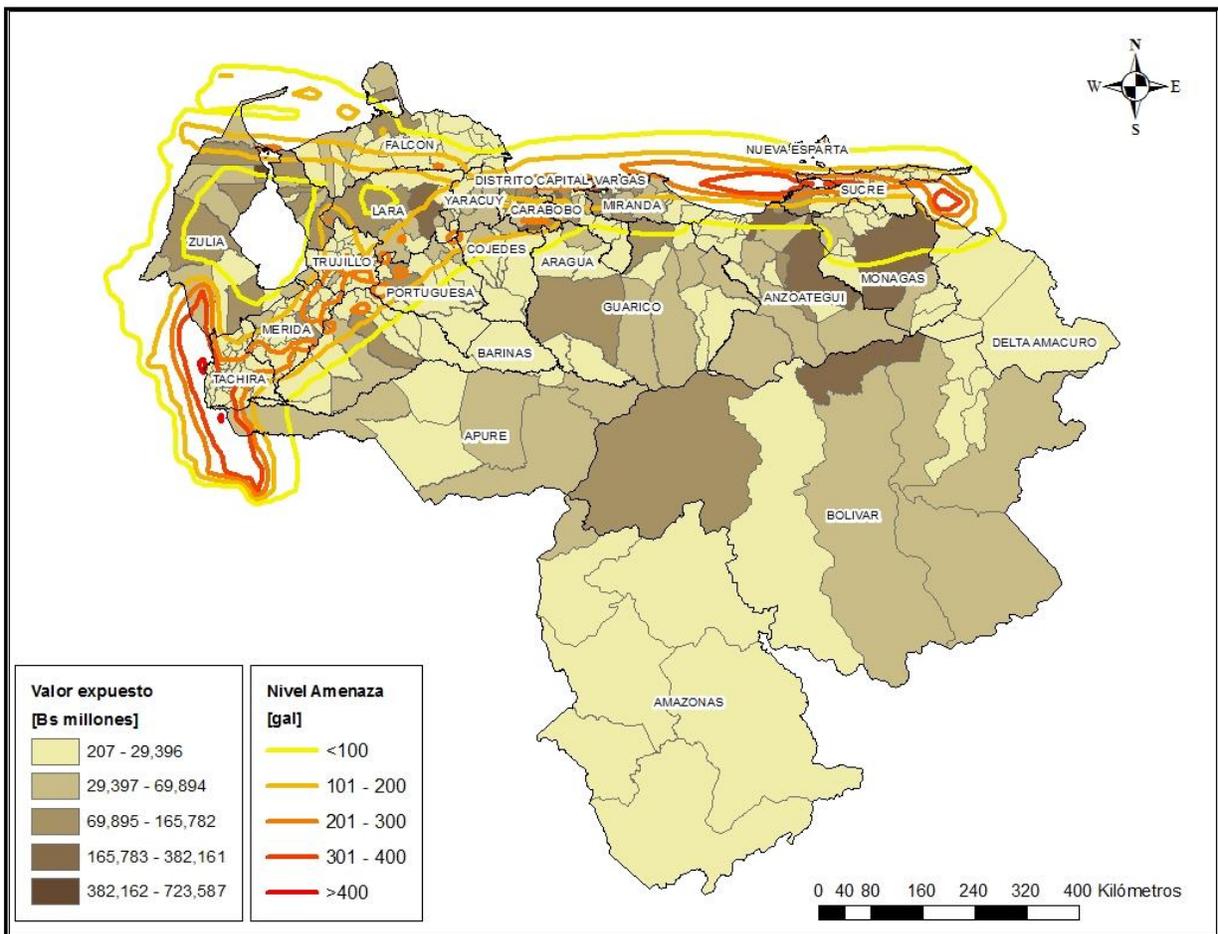
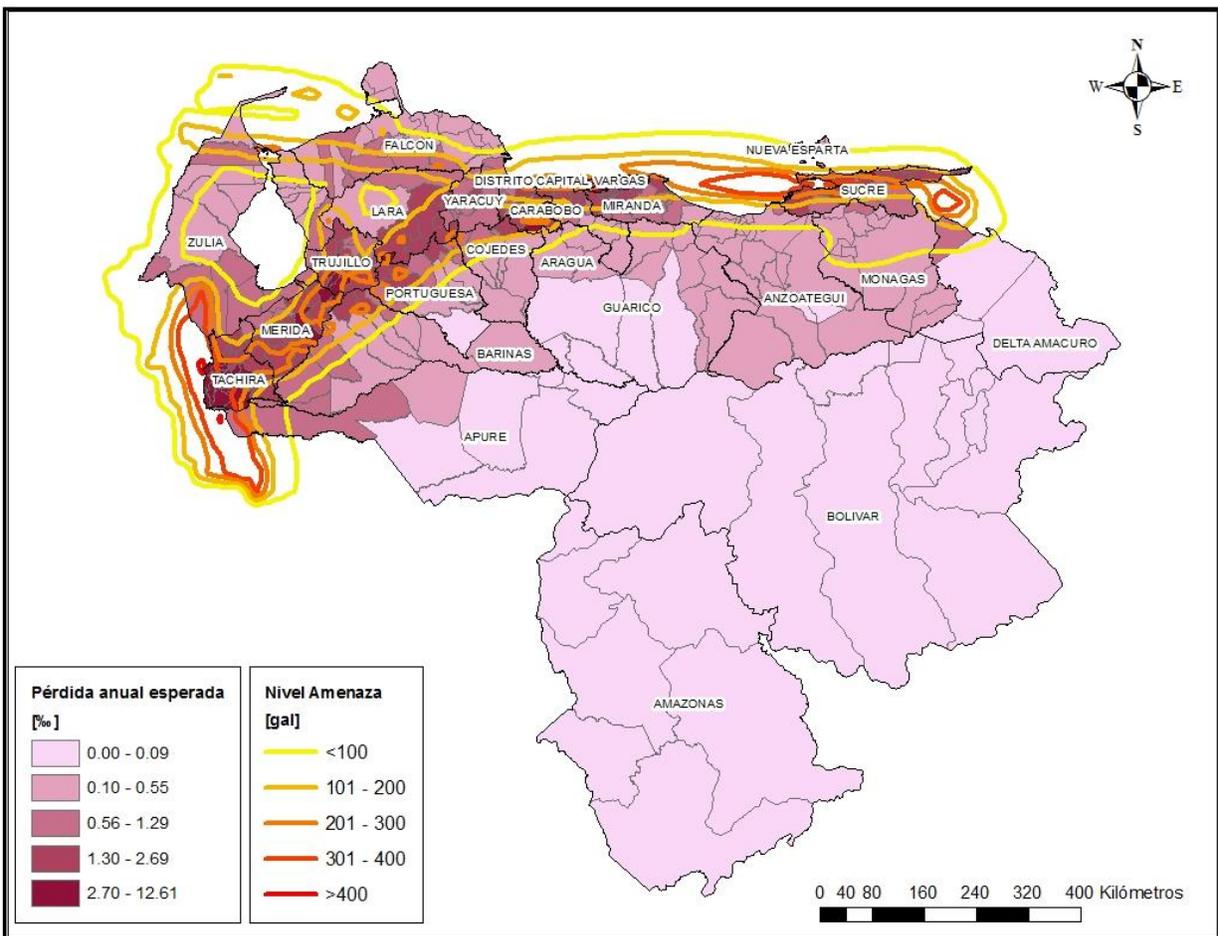


Figura 8-24. Mapa de Amenaza frente a Pérdida Anual Esperada



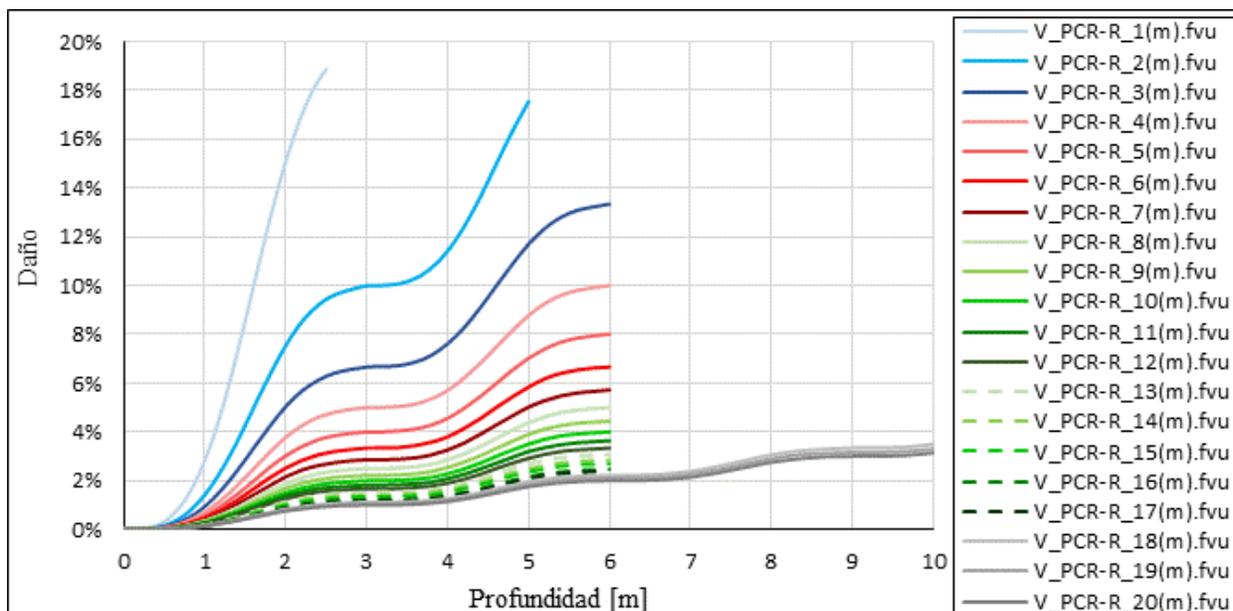
9. Funciones de Vulnerabilidad para Inundación

Al igual que para el caso de la vulnerabilidad sísmica, tras la caracterización de elementos expuestos realizada anteriormente y que se puede encontrar en detalle en el reporte técnico “*Identificación y caracterización de elementos expuestos en el Municipio Chacao*”, se han agrupado los mismos en clases estructurales que dependen del sistema estructural, al altura y la edad. En este caso las funciones de vulnerabilidad por inundación se encuentran mayormente relacionadas con el parámetro de altura, en número de pisos.

La

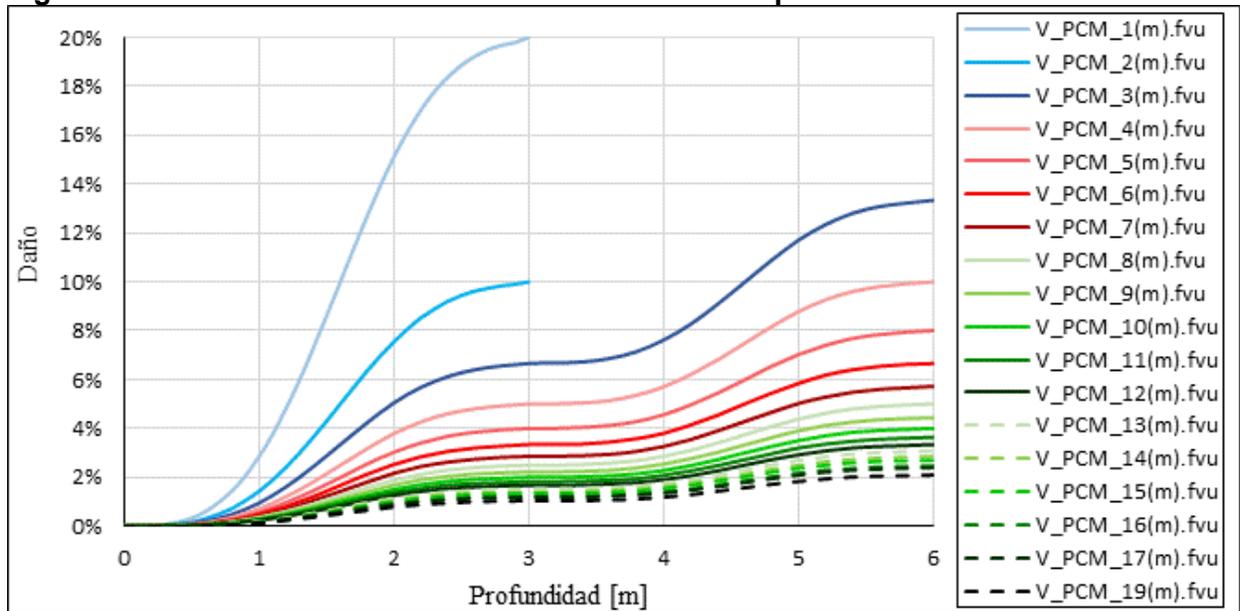
Figura 9-1 muestra las funciones de vulnerabilidad utilizadas para los pórticos en concreto resistentes a momento para diferente número de pisos. La amenaza por inundación para el presente estudio ha sido cuantificada en términos de altura de agua (en metros); por esa razón, las funciones de vulnerabilidad se definen en términos de dicha intensidad.

Figura 9-1. Funciones de Vulnerabilidad de Inundación para los Pórticos en Concreto Resistentes a Momento



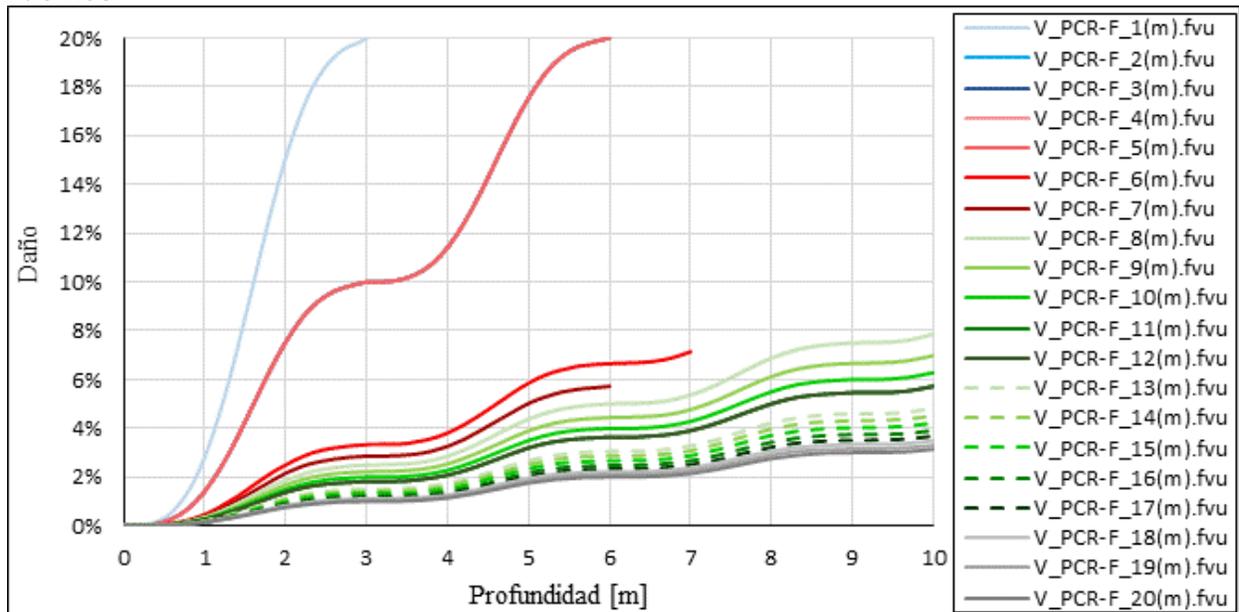
La Figura 9-2 muestra las funciones de vulnerabilidad utilizadas para los sistemas duales para diferente número de pisos.

Figura 9-2. Funciones de Vulnerabilidad de Inundación para los Sistemas Duales



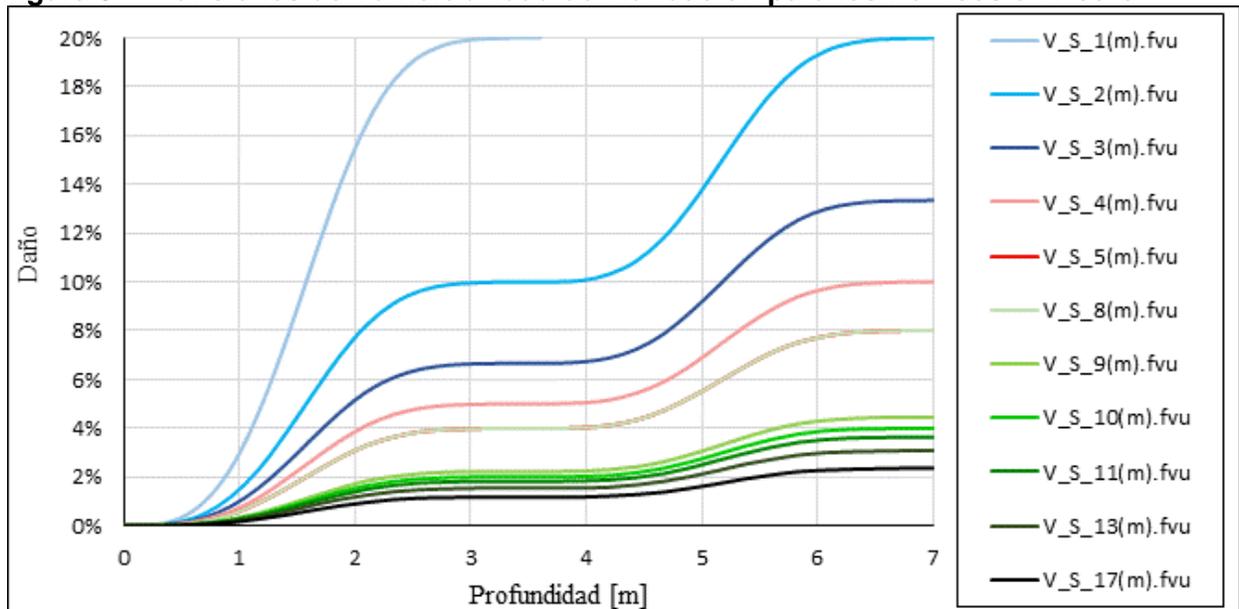
La Figura 9-3 muestra las funciones de vulnerabilidad utilizadas para los pórticos en concreto no dúctiles para diferente número de pisos.

Figura 9-3. Funciones de Vulnerabilidad de Inundación para los Pórticos en Concreto No Dúctiles



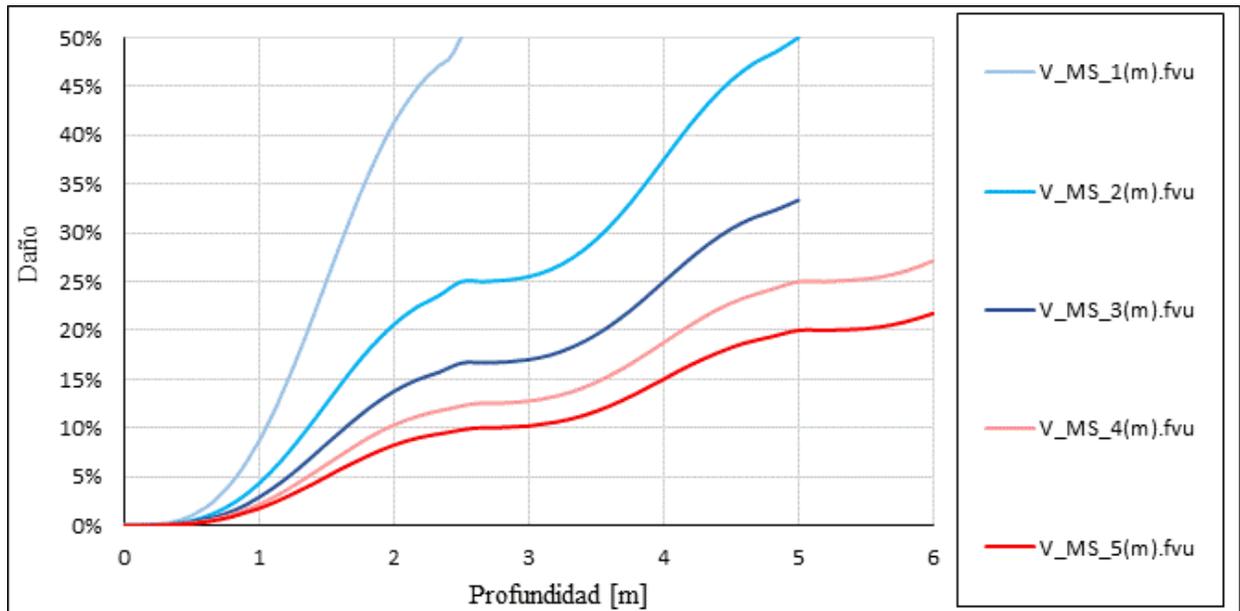
La Figura 9-4 muestra las funciones de vulnerabilidad utilizadas para los pórticos en acero para diferente número de pisos.

Figura 9-4. Funciones de Vulnerabilidad de Inundación para los Pórticos en Acero



La Figura 9-5 muestra las funciones de vulnerabilidad utilizadas para las edificaciones en mampostería.

Figura 9-5. Funciones de Inundación para las Edificaciones en Mampostería



10. Análisis Probabilista de Riesgo por Inundación de la Quebrada Chacaíto

La Tabla 10-1 presenta un resumen de los resultados de riesgo por inundación debido a la Quebrada Chacaíto, de las edificaciones ubicadas en el Municipio Chacao y en el Municipio Libertador.

Tabla 10-1. Resumen de Resultados de Riesgo por Inundación

Resultados		
Valor Expuesto	Bs x10⁶	137,573.87
Pérdida anual esperada	Bs x10⁶	0.563
	‰	0.004
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	Bs x10⁶	%
100	\$8.24	0.006
250	\$8.95	0.0065
500	\$10.13	0.0074
1000	\$10.84	0.008

De la Tabla 10-1 se puede ver que el riesgo por inundación es extremadamente bajo; la pérdida anual esperada representa tan sólo el 0.004 por mil del valor total expuesto. Esto también se ve reflejado en los valores de PML, los cuales no llegan ni al 0.01% para un periodo de retorno de 1000 años. Sin embargo, es clave anotar que estas pérdidas tan bajas se deben principalmente a la combinación de un nivel bajo de amenaza y de exposición. El nivel bajo de amenaza se ve reflejado en la corta extensión geográfica de la amenaza que afecta únicamente pocas edificaciones localizadas en el área inundable. Por otro lado, el nivel bajo de exposición se ve reflejado en el hecho que la cantidad de edificaciones expuestas que caen dentro del área de influencia de esta amenaza es muy poca, limitándose a aquellas localizadas a orillas de la quebrada, dejando a la mayoría de edificaciones en ambos municipios sin afectación alguna. Esto todo se traduce en un nivel de riesgo por inundación bajo para los dos municipios.

Figura 10-1. Curva de Excedencia de Pérdidas para Riesgo por Inundación

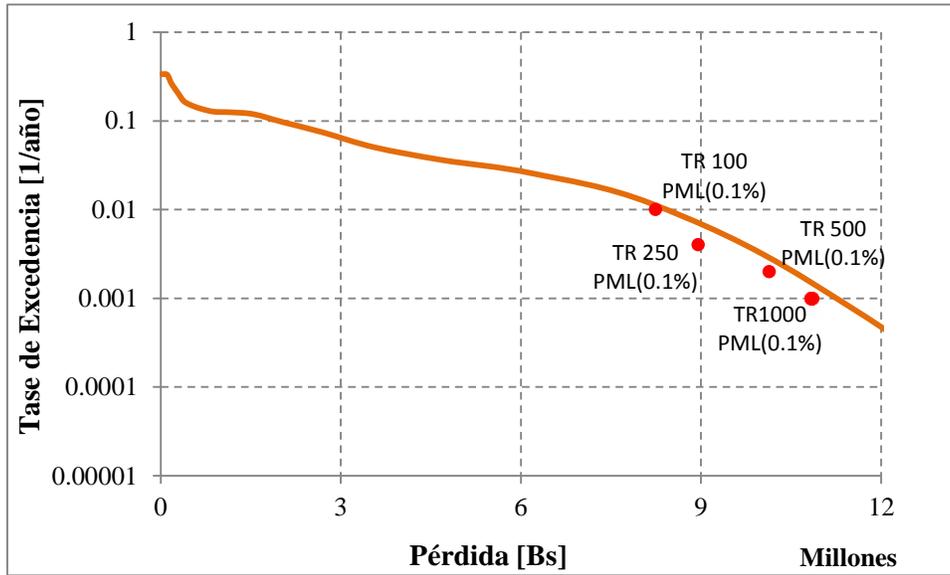


Figura 10-2. Curva de PML para Riesgo por Inundación

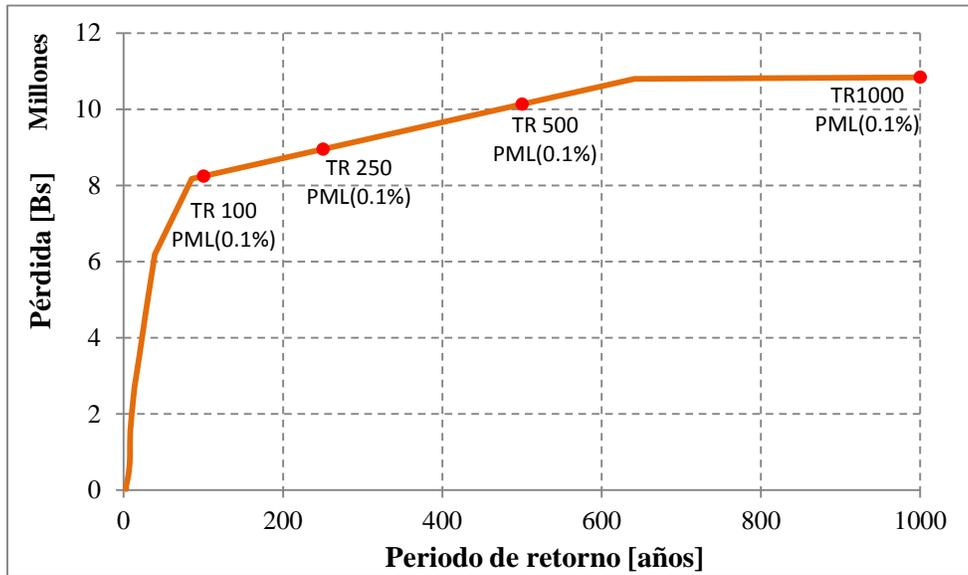
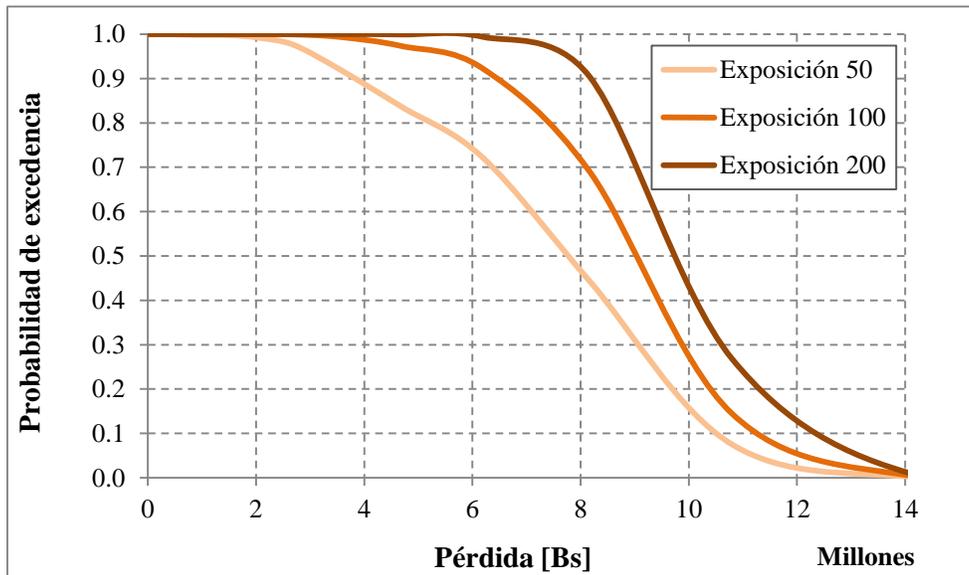


Figura 10-3. Curva de Probabilidad de Pérdida para Diferentes Ventanas de Exposición



De igual forma que se hizo anteriormente para expresar los resultados de riesgo sísmico según diferentes agrupaciones, en las secciones siguientes se presentan los resultados de riesgo por inundación desagregados en las mismas categorías para cada uno de los dos municipios por separado.

11. Curva de Excedencia de Pérdidas Híbrida

Se construyó la curva de excedencia de pérdidas híbrida, mediante la combinación de la curvas de excedencia del análisis retrospectivo (Figura 11-1) con la obtenida mediante la modelación probabilista del riesgo (Figura 11-2). La curva híbrida se presenta en la Figura 11-3. La Tabla 11-1 muestra los valores de la pérdida anual esperada, calculada para cada una de las curvas obtenidas.

Es importante anotar que la pérdida anual esperada obtenida de la curva híbrida no corresponde a la suma de las pérdidas anuales esperadas obtenidas por separado del análisis retrospectivo y prospectivo. Esto se debe a que la curva híbrida intenta representar de manera adecuada aquellas bandas de pérdida en donde los enfoques retrospectivo y prospectivo tienen alcance o resolución limitada.

Tabla 11-1. Valores de Pérdida Anual Esperada según el Enfoque Usado para Determinar la Curva de Excedencia de Pérdidas

Retrospectivo	Catastrófico/Prospectivo	Híbrida
Bs. 2,138	Bs. 16,718	Bs. 22,875

Figura 11-1. Curva de Excedencia de Pérdidas del Análisis Retrospectivo

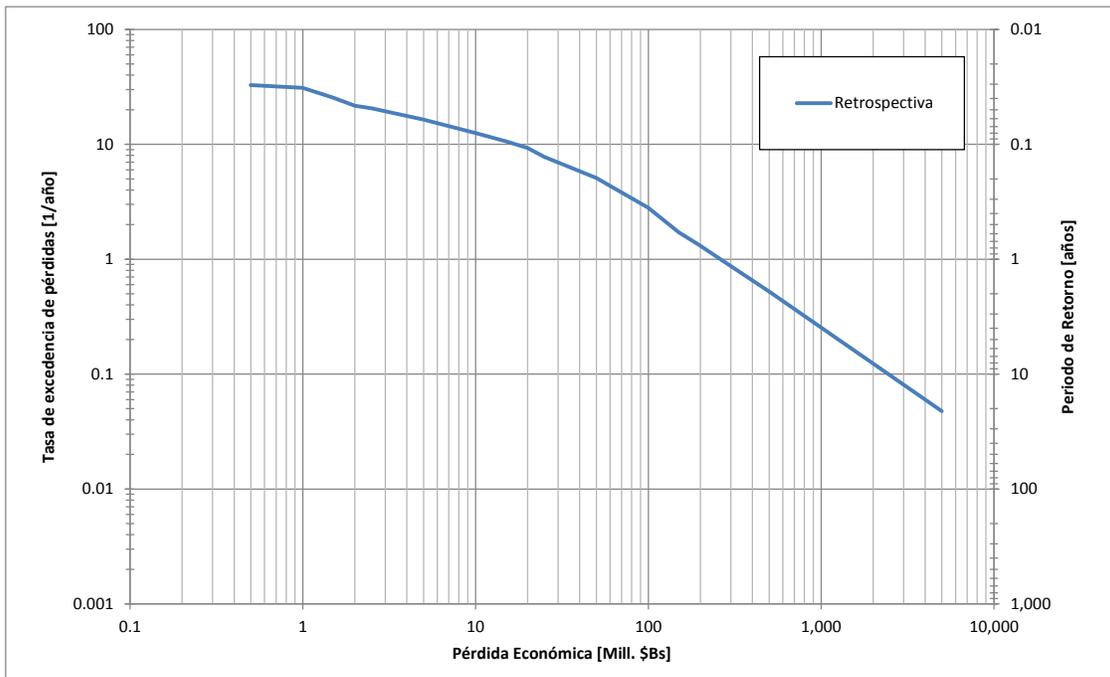


Figura 11-2. Curva de Excedencia de Pérdidas del Análisis Prospectivo

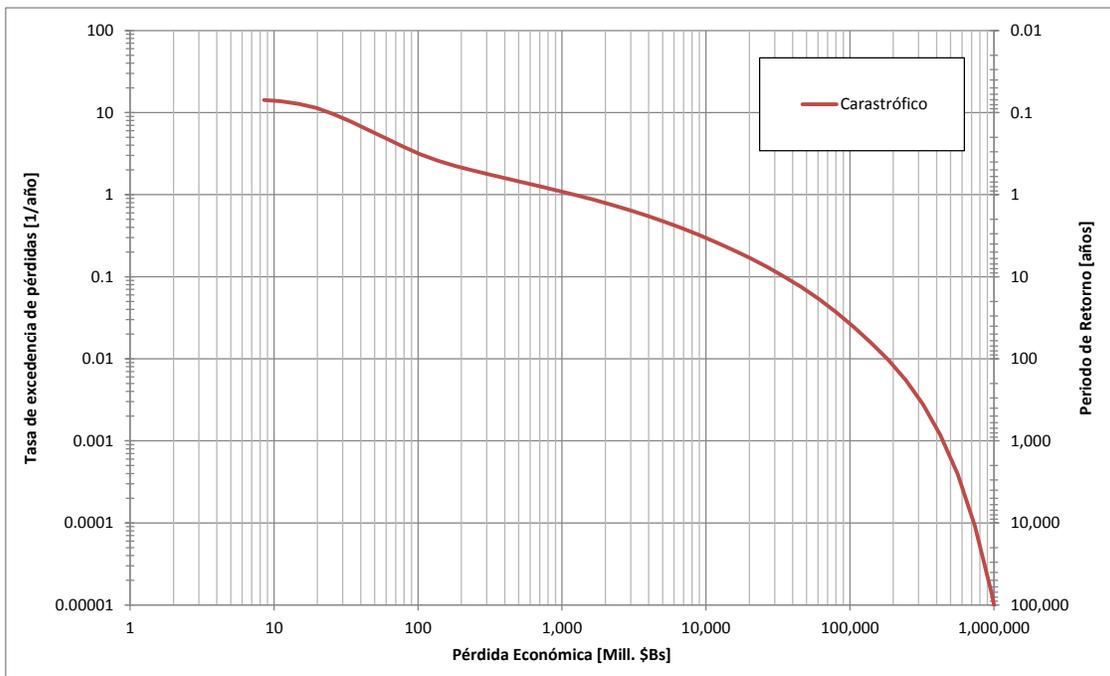
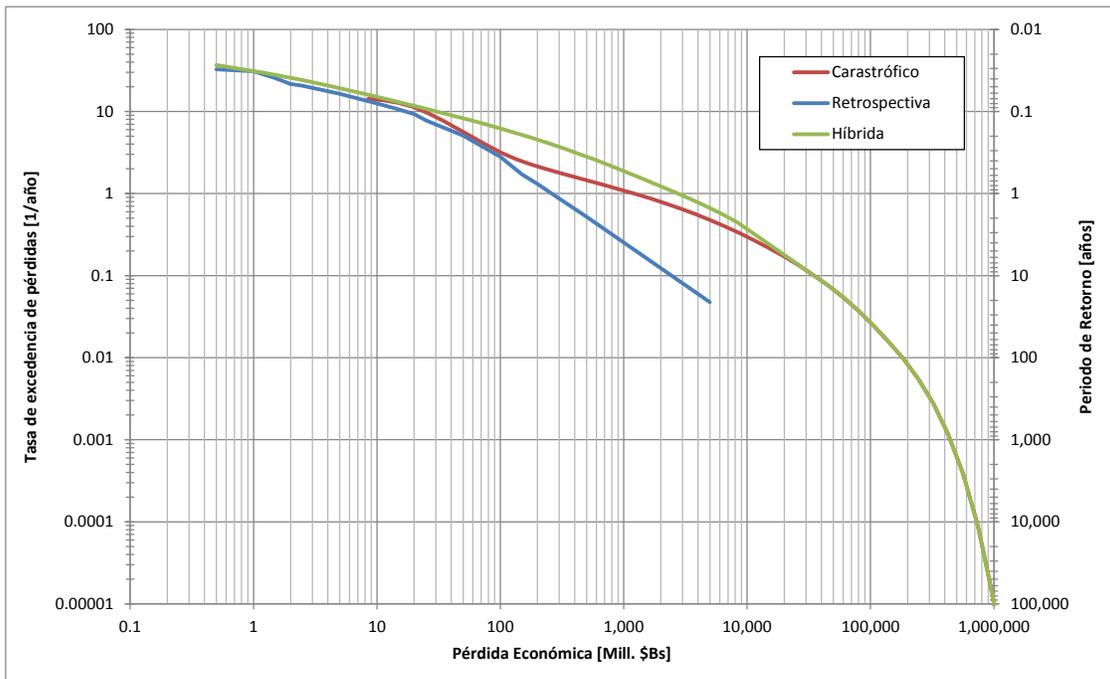


Figura 11-3. Curva de Excedencia de Pérdidas Híbrida



Referencias

- Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS), Fondo de Reconstrucción del Eje Cafetero (FOREC), Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE), Yamin L, Cardona O, Merlano S, Blandón C, Mejía L, Arango J, Gómez C. (2005). Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo resistente de Viviendas de Mampostería, Bogotá, Colombia. 2005
- ATC (1985). "Earthquake Damage Evaluation Data for California" - ATC-13. Applied Technology Council, Redwood City, CA.
- Boore, D.M. (1983). Stochastic simulation of high-frequency ground motion based on seismological models of radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Am. 73, 1865-1884
- Bozzoni, F., Corigliano, M., Lai, C. G., Salazar, W., Scandella, L., Zuccolo, E., Robertson, R. (2011). Probabilistic Seismic Hazard Assessment at the Eastern Caribbean Islands. Bulletin of the Seismological Society of America, 101(5), 2499-2521. Doi: 10.1785/0120100208.
- Caribbean Meteorological Agency - CMA (2012). Presentations made at the 2012 Directors of Meteorological Services Meeting. Fifty-Second Session of the Caribbean Meteorological Council and Related Meetings (CM52). Available at: http://www.cmo.org.tt/docs/CMC52/Country_Presentations/T&T_CMC_Presentation_2012.ppt
- CEPAL (2000). Los efectos socioeconómicos de las inundaciones y deslizamientos en Venezuela en 1999. Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. LC/MEX/L.421
- CIMNE (Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería), EAI, INGENIAR, ITEC. (2013). Probabilistic Modelling of Natural Risks at the Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve. Background Paper prepared for the 2013 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction.
- CRED. EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database – www.emdat.net. Brussels, Belgium: Université catholique de Louvain. Dirección web <http://emdat.be/>
- CUBiC (1985). Caribbean Uniform Building Code. Georgetown, Guyana: Caribbean Community Secretariat.
- Earthquake Spectra, Special Issue (2010). Haiti Earthquake 2010. Volume 27, number S1, October 2011.
- EM-DAT. Base de Datos Internacional sobre Desastres. Dirección web: <http://emdat.be/>
- ERN-AL (2010a). CAPRA: Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment. The World Bank, IDB, UN-ISDR, CEPREDENAC. Informe ERN-CAPRA-T1-3 - Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales. Available at: www.ecapra.org
- ERN-AL (2010b). CAPRA -Caracterización, Clasificación y Valoración de Elementos Expuestos. Informe ERN-CAPRA-T2.1. <http://www.ecapra.org>

- ERN-AL (2010c). CAPRA - ERN-Vulnerabilidad V1.0. Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. <http://www.ecapra.org>
- ERN-AL (2010d). CAPRA - Informe ERN-CAPRA-T1-3 - Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales. Evaluación de Riesgos Naturales – América Latina. <http://www.ecapra.org>
- ERN-AL (2010e). CAPRA - Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos. Informe ERN-CAPRA-T3.2. Evaluación de Riesgos Naturales – América Latina. <http://www.ecapra.org>
- ERN-AL (2010f). CAPRA - Plataforma para la Evaluación Probabilista de Riesgo CAPRA-GIS. Evaluación de Riesgos Naturales – América Latina. <http://www.ecapra.org>
- ERN-AL (2011). Modelación Probabilista de Riesgos Naturales a Nivel Global: La Curva Híbrida de Excedencia de Pérdidas. Desarrollo Metodológico e Implementación de Casos de Estudio Fase 1A: Colombia, México y Nepal. Informe preparado para el GAR 2011. Ginebra, Suiza: EIRD/ONU.
- Espinosa, A. y Algermissen, S. (1972). A study of soil amplification factors in earthquake damage areas, Caracas, Venezuela. NOAA Technical Report ERL 280-ESL31, Boulder, Colorado.
- FEMA (2003). Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR3 Technical Manual. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA (2011a). Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH 2.1 Technical Manual. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA (2011b). Multi-hazard Loss Estimation Methodology Flood Model HAZUS-MH 2.1 Technical Manual. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA (2011c). Multi-hazard Loss Estimation Methodology Hurricane Model HAZUS-MH 2.1 Technical Manual. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA. (2006). Multi-hazard loss estimation methodology, HAZUS-MH MR2 technical manual. Washington D.C., United States of America: Federal Emergency Management Agency and National Institute of Building Sciences.
- García L, Yamin L., (1994). A Review Of Masonry Construction In Colombia. American Concrete Institute, ACI, SP 147.
- Granger, K (2008). Seismic risk assessment for Trinidad and Tobago – Direct economic loss for Port of Spain and San Fernando (Graduate thesis), Imperial College of London, Department of Civil and Environmental Engineering.
- IDEA (2005). Sistema de indicadores para la gestión del riesgo de desastre: Informe técnico principal. Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. En: <http://idea.unalmzl.edu.co>
- IDEA (2009). Sistema de indicadores para la gestión del riesgo de desastre: Informe técnico principal. Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. En: <http://idea.unalmzl.edu.co>

- International Code Council - ICC (2000), International Building Code (IBC).
- Laffaille, J., Ferrer, C y Dugarte, M (2005). Evaluación de campo al sector La Victoria – Santa Cruz de Mora – Tovar – San Francisco. Estudio preliminar de algunos de los efectos geomorfológicos del evento meteorológico observado el día 11 de febrero del año 2005. Fundación para la Prevención de los Riesgos Sísmicos del Estado Mérida (FUNDAPRIS). Mérida, Mérida.
- LaRed, OSSO (2003). Comparative Analysis of Disaster Databases. UNDP-ISDR.
- Meli R, Svetlana B, Yamin L, Astroza M, Boen T, Crisafulli F, Dai J, Farsi M, Hart T, Mebarki A, Moghadam A, Quiun D, Tomazevic M. (2010). Seismic Design Guide for Low Rise Confined Masonry Buildings - World housing Encyclopedia, EERI & IAEE, Confined masonry Network, World Housing Encyclopedia, EERI, IAEE, RMS. Washington DC, USA.
- Miranda, E. (1999). Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings Journal of Structural Engineering, 125(4), 417–425. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1999)125:4(417).
- NORSAR et. al. Proyecto regional RESIS II – Evaluación de la Amenaza sísmica en Centroamérica. 2008.
- Ordaz, M. G. (2000). Metodología para la evaluación del riesgo sísmico enfocada a la gerencia de seguros para terremoto. Universidad Nacional Autónoma de México.
- OSSO. Desinventar.org - DesInventar Project. Cali, Colombia: Corporación OSSO. Dirección web <http://desinventar.org/en/>
- Trinidad and Tobago Bureau of Standards (2001). Small Building Code of Trinidad and Tobago (SBCTT).
- UNISDR (2011). GAR2011: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing risk, redefining development. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. ISBN 978-92-1-132030-5
- UNISDR (2013). GAR2013: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – From shared risk to shared value: The business case for disaster risk reduction. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. ISBN 978-92-1-132038-1
- Velásquez C. A., Cardona O. D., Mora M. G., Yamin L. E., Carreño M. L., Barbat A. H. (2014a). Hybrid loss exceedance curve (HLEC) for disaster risk assessment. Natural Hazards 72 (2):455–479. DOI 10.1007/s11069-013-1017-z. Print ISSN 0921-030X. Online ISSN 1573-0840.
- Velásquez, C. A., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H. (2014b). Retrospective assessment of risk from natural hazards. International Journal of Disaster Risk Reduction. doi:10.1016/j.ijdrr.2014.05.005
- Wai-Fah C., Scawthorn C. (2003). Earthquake Engineering Handbook, CRC Press.
- Water and Sewerage Authority of Trinidad & Tobago. Trinidad and Tobago Wastewater Rehabilitation Project. 2009. Available at:

http://www.wasa.gov.tt/Forms/EIAs/Malabar_%20Maloney/MALMALON%20EIA_MAIN%20TEXT_FINAL_%2030JULY2009.pdf

Yamin, L. (1994), Comportamiento Sísmico de Muros de Mampostería Confinada, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, Boletín Técnico No.45, Bogotá, Colombia.

Yamin, L., Hurtado, A., Barbat, A., Bernal, G., Cardona, O. (2012). Earthquake Vulnerability Assessment of Buildings for Catastrophic Risk Analysis in Urban Area. 15th World Conference Earthquake Engineering, paper 2364, 15WCEE, Lisboa, Portugal.

Abrahamson, N. A. & Silva, W.J. (2008). Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations. *Earthquake Spectra*, 24(1), 67-97.

AIS–Comité 300 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). (2010). Estudio general de la amenaza sísmica de Colombia. Bogotá, Colombia.

Audemard, F.A., Machetee, M.N., Cox, J.W., Dart, R.L., Haller, K.M. (2000). Map and database of quaternary faults in Venezuela and its offshore regions. Open-file report 00-018. USGS (United States Geological Survey).

Audemard, F.A., Romero, G., Rendon, H., Cano, V. (2005). Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions. *Earth-Science Reviews*, 69, 181-233.

Audemard, F., Singer, A., Soulas, J.P. (2006). Quaternary faults and stress regime of Venezuela. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61 (4), 480-491.

Beltrán, C., Rodríguez, J.A., Singer, A. (1994). Geología de fallas activas en Singer, A. (coord.) Proyecto INTEVEP 92-175. Estudio neotectónico y de geología de fallas activas de la región nororiental de Venezuela. Reporte FUNVISIS para INTEVEP 3 vol.

Bernal G., Ordaz M., Salgado M., Yamin L., Cardona O. (2012). Calibration of a source spectrum model and construction of spectral strong ground motion attenuation relationships from accelerogram records. Proceedings in the 15 World Conference on Earthquake Engineering. Lisboa, Portugal.

Boore, D. & Atkinson, G. (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01s and 10.0s. *Earthquake Spectra*, 24(1), 99-138.

Bozzoni F, Corigliano M, Lai C, Salazar W, Scandella L, Zuccolo E, Latchman J, Lynch L and Robertson R. (2011). Probabilistic seismic hazard assessment at the Eastern

Caribbean Islands. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101 (5), 2499–2521.

Campbell, K & Bozorgnia, Y. (2008). NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.1 to 10s. *Earthquake Spectra*, 24(1), 139-171.

Chiou, B. & Youngs, R. (2008). *NGA model for average horizontal component of peak ground motion and response spectra*. PEER report 2008/09.

Christeson, G.L., Mann, P., Escalona, A., Aitken, T.L. (2008). Crustal structure of the Caribbean northeastern South America arc-continent collision zone. *Journal of Geophysical Research*, 113, doi: 10.1029/2007JB005373.

Cornell A. (1968). “*Engineering Seismic Risk Analysis*”, *Bulletin Seismological Society of America*, Vol 58.

Deniz, A. (2006). Estimation of earthquake insurance Premium rates based on stochastic methods. The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). (2002). Espectros de diseño para microzonas. Microzonificación sísmica de Caracas.

Hernández J., Schmitz M., Delavaud E., Cader H., Domínguez J. (S.F.). Espectros de respuesta sísmica en microzonas de Caracas incluyendo efectos de sitio 1D, 2D y 3D. Manuscrito sometido a revisión a la Revista de Facultad de Ingeniería, UCV.

Idriss, I. (2008). An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated By Shallow Crustal Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 24 (1), 217-242.

Placas Tectónicas. (2010). [Mapa ilustrativo]. Recuperado desde: <http://cmc-rosa.blogspot.com/2010/11/placas-tectonicas.html>.

McGuire R. (2004). Seismic hazard and risk analysis. Earthquake Engineering Research Institute. Oakland, California, United States of America.

Ordaz M. (2000) Metodología para la evaluación del riesgo sísmico enfocada a la gerencia de seguros por terremoto. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

Ordaz M, Aguilar A, Arboleda J, (2007). CRISIS, Program for computing seismic hazard. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

Paolini M, Rodríguez L, Olbrich F. (2012). Actualización de las fallas activas de Venezuela como aporte a la evaluación de la amenaza sísmica. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. Caracas.

Storchak, D.A., D. Di Giacomo, I. Bondár, E. R. Engdahl, J. Harris, W.H.K. Lee, A. Villaseñor and P. Bormann, 2013. Public Release of the ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900-2009). *Seism. Res. Lett.*, 84, 5, 810-815.

Tinti S, Mulargia F. An improved method for the analysis of the completeness of a seismic catalogue. *Lettere Al Nuovo Cimento Series 2*, 1985;42(1):21-27.

USGS (United States Geological Survey). (2013). *Earthquake archive search* [Data set]. Recuperado desde: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

VanDecar, J. C., R. M. Russo, D. E. James, W. B. Ambeh, and M. Franke. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath continental South America. *J. Geophys. Res.*, 108(B1), doi:10.1029/2001JB000884.

Veloza, G., Styron, R., Taylor, M., Mora, A. (2012). Open-source archive of active faults for northwest South America. *GSA Today*, 22 (10), doi:10.1130/GSAT-G156A.1.

Anexo 1
Metodología de Evaluación Retrospectiva del Riesgo por
Fenómenos Naturales

A1.1. Introducción

La valoración económica de los efectos de los desastres que se han presentado en el pasado es una tarea que no se ha hecho en forma sistemática. En el mejor de los casos, lo que se ha hecho es la consolidación de algunos datos acerca de los efectos; lo que ha permitido reflejar, de manera muy general y no sin dudas y controversias, el costo directo de daños y pérdidas. Claramente, aún con técnicas bien concebidas, las evaluaciones se limitan a cifras muy básicas de costos que han estado lejos de dimensionar el impacto de los desastres de una manera mucho más rigurosa, en términos sociales, ambientales y económicos. Esto se presenta por la falta de información precisa o confiable, por la inevitable diversidad de criterios y por las subjetividades inherentes de los mismos evaluadores o interesados. En realidad, el impacto de un desastre difiere del costo per se. Es por esta razón que el problema de la medición del impacto, se presenta en la literatura en general como algo irresoluble, o en el mejor de los casos como inmedible. Sin embargo, los intentos de medición tienden a concentrarse en:

- a) Los efectos causados por grandes desastres, ignorando los efectos de los pequeños e incluso, en muchos casos, los efectos de los desastres de mediana magnitud cuando éstos no tienen un elevado costo que afecte directamente las principales variables de tipo macroeconómico.
- b) Atender la medición de los efectos causados a sectores consolidados de la economía o estructuras formales, ignorando los efectos en los sectores informales o marginales de subsistencia.

En lo que se refiere a la estimación del impacto, además de incluir el efecto económico (tanto en su versión negativa como positiva) se debe considerar otro tipo de variables que no siempre es posible medir en términos monetarios o cuya cuantificación se dificulta por su naturaleza. Entre ellas, se puede mencionar la desarticulación económica de sectores marginales e informales de la economía local, la pérdida del patrimonio familiar o individual de sectores marginales, la destrucción de formas de subsistencia de auto-consumo, la migración causada por un desastre, además de otros factores que pueden darse en casos específicos como puede ser la destrucción parcial o total de sitios y edificios históricos, obras de arte, patrimonio científico, etc.

En general, cuando ocurre un gran desastre, existen mayores posibilidades -o al menos mejores condiciones- de que los recursos para ayuda y reconstrucción fluyan hacia las poblaciones afectadas, aunque esto no siempre suceda así y tampoco se refleje en una distribución equitativa de ellos, pero generalmente cuando ocurre un desastre de pequeña o mediana magnitud, es la propia población la que tiene que invertir recursos para rehabilitar sus actividades productivas y cotidianas, dado que en la mayoría de los casos la ayuda proveniente tanto de los gobiernos centrales como de organismos externos, es prácticamente nula. Son en cierta forma desastres "invisibles". Por otra parte, normalmente los gobiernos locales son muy débiles en lo que se refiere a la disponibilidad de recursos para la inversión o en la capacidad para gestionarlos ante otros niveles de gobierno, en la disponibilidad de personal calificado y en la existencia

de esquemas de planificación o gestión territorial efectiva, lo que contribuye a que los desastres tengan un mayor impacto, si no directo, sí en términos de los efectos secundarios que se reflejan en un deterioro aún mayor de los niveles de vida de la población o en la imposibilidad de mejorarlos en el corto y mediano plazo. En el caso de las poblaciones que permanentemente sufren algún tipo de desastre, la pérdida de los medios de subsistencia puede representar uno de los aspectos más importantes de obstaculización para el desarrollo, ya que cada suceso interrumpe la actividad normal y cancela la posibilidad de mejorar esos medios de subsistencia al invertir los pocos recursos económicos existentes en su reposición, que con frecuencia se hace en condiciones menos favorables que las que se tenían anteriores a su ocurrencia.

Por lo anterior y sin pretender resolver la complejidad de la evaluación del impacto de los desastres, este informe intenta ilustrar, con una técnica simplificada, el costo indicativo que hubiesen tenido que asumir los gobiernos centrales, si se hubiera cubierto en el pasado la reposición, reparación o reconstrucción de los activos afectados. Esto en función de los limitados datos disponibles de los efectos ocurridos, que usualmente son deficientes e incompletos, particularmente en el caso de los desastres menores. En otras palabras, se intenta dar cuenta de los costos que al no ser cubiertos, en muchos casos, por los gobiernos, han tenido que ser asumidos o absorbidos por los afectados. Esta, aunque es una valoración económica hipotética, simplificada y conservadora, ilustra de alguna manera o en parte el impacto a las comunidades en su contexto y el no despreciable gasto que hubiesen tenido los gobiernos. De esta manera se revela, a través de las cifras de los eventos históricos y el uso de la curva empírica de excedencia de pérdidas, un problema especialmente relevante en los países en desarrollo donde los desastres, particularmente los menores, no han sido visualizados en su verdadera dimensión social y económica. De paso se da una idea de los recursos económicos que deberían tener los gobiernos para atender la reposición de activos y medios de sustento de los eventos más recurrentes.

A1.2. Enfoque Metodológico

Existen varias metodologías para estimar el costo de los desastres. Una de las más utilizadas es la descrita en el “Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres” (CEPAL, 2003). Esta técnica contiene una guía que orienta la manera como se puede hacer una estimación del costo económico de los desastres. En desastres usualmente mayores o relevantes para los gobiernos nacionales y los organismos internacionales esta técnica ha sido utilizada para dar cuenta de este tipo de eventos, por solicitud expresa de los gobiernos, sin embargo el detalle de la información requerida, la necesidad de contar con especialistas en diferentes sectores y el tiempo necesario para su correcta aplicación hacen inviable su uso cuando se trata de estimar el costo de cientos o, en ocasiones, de miles de desastres menores registrados en el nivel local.

A pesar que no siempre una metodología detallada como la mencionada puede aplicarse en su totalidad, para el caso de desastres mayores se reconoce que es la mejor opción, si se hace un esfuerzo para determinar no sólo el costo sino el impacto del desastre de acuerdo con los diferentes contextos. Esto se traduce en la necesidad

de llevar a cabo la reflexión de para quién es el desastre y sus implicaciones. Ahora bien, para el caso de los muchos desastres menores que se presentan en la mayoría de los países, dadas las limitaciones prácticas del uso de métodos detallados de valoración de efectos directos e indirectos y por la ausencia obvia de información, se ha desarrollado una técnica simplificada de valoración, basada en la reposición de activos, para efectos de dar cuenta de las implicaciones que tienen los desastres en lo local y al mismo tiempo en forma acumulada y recurrente para un país o una región. Su enfoque no es la valoración de lo que se ha destruido (e.g. una vivienda precaria) sino la valoración de la reposición o el reemplazo del activo como resultado de la responsabilidad fiscal del estado (e.g. una vivienda básica o de interés social).

Esta metodología permite valorar los principales efectos de los desastres, de los cuales se disponga una información básica, de manera que al utilizar las bases de datos de desastres se pueda contar con información indicativa para caracterizar tanto la recurrencia como el costo de los desastres en una región o en un país. Es basada en los informes técnicos del GAR11 y GAR13 (UNISDR) que fueron preparados por ERN-AL y CIMNE et al, respectivamente. La base de datos seleccionada, DesInventar (<http://www.desinventar.org/>), provee información de los efectos en la población y de los daños que se han presentado por diferentes tipos de evento; e.g. sismos, inundaciones, deslizamientos, volcanes, huracanes y otros. Dicha información puede considerarse razonablemente creíble y consistente después de cierta depuración y útil por las siguientes razones:

- a) Una vez los efectos han sido valorados con criterios coherentes con el propósito del análisis, permite estimar las consecuencias económicas de los eventos y facilita la estimación en forma confiable de cuáles de dichos eventos dominan o controlan las mayores pérdidas en un país o región.
- b) Complementa los resultados de la evaluación analítica o prospectiva del riesgo, ya que permite definir en forma empírica la curva de excedencia de pérdidas para los eventos de menor intensidad. En este segmento de la curva de excedencia de pérdidas, usualmente, las evaluaciones analíticas son poco confiables.
- c) Sirve como referente para contrastar el costo de desastres ocurridos con estimaciones de pérdidas realizadas con modelos analíticos de evaluación del riesgo físico, utilizando para el efecto escenarios específicos deterministas.

A1.2.1. La Base de Datos de Desastres

Existen diferentes bases de datos de desastres, pero no todas están disponibles. En el contexto internacional se conocen la base de datos EM-DAT (CRED) y DesInventar (UNISDR, OSSO) por estar disponibles por su libre acceso. Si bien, ambas bases de datos llevan un registro de los desastres que se han presentado, existen diferencias significativas entre las dos, principalmente relacionadas con el umbral de daños y la afectación generada por el desastre a partir de la cual se lleva a cabo el registro del suceso. También se diferencian por el tipo de registro que realizan en función de la

unidad administrativa territorial en la cual se presentan los efectos y por el tipo y número campos (efectos) que se pueden registrar. Para el desarrollo de este estudio a nivel de país se ha seleccionado la base de datos DesInventar debido a su cubrimiento exhaustivo a nivel local, al tipo de eventos que incluye y por su facilidad de utilización. En [La Red – OSSO, 2003] se presenta una descripción más detallada acerca de las diferencias entre estas dos bases de datos.

La plataforma DesInventar constituye simultáneamente un sistema de bases de datos para elaborar inventarios históricos de desastres y una metodología para su análisis. Está constituida por una parte, por un sistema que permite organizar y consultar la información incorporada en la base de datos, tanto desde un punto de vista espacial como temporal, y por otra parte, por un sistema de captura y procesamiento de la información. En el DesInventar se hace especial énfasis en los siguientes aspectos:

- a. Los desastres se entienden como un conjunto de efectos adversos sobre las vidas, los bienes, la infraestructura y las relaciones sociales de una comunidad. Se incluyen eventos con muy pocos efectos como también desastres en los cuales se han tenido amplias consecuencias.
- b. En general, el nivel de resolución del inventario de los registros corresponde a la unidad municipal o unidad administrativa territorial equivalente. Sin embargo, se pueden realizar inventarios locales o regionales con niveles de resolución más detallados si estas unidades se definen y utilizan.

La información recopilada en el DesInventar, al igual como ocurre con cualquier tipo de base de datos existente sobre desastres, no pretende conformar el universo completo de desastres ocurridos históricamente. En el mejor de los casos es una amplia muestra de los mismos, limitada por las características mismas de la información y de sus fuentes, sujeta permanentemente a depuraciones y complementaciones y por lo tanto no exenta de errores. En el DesInventar existen variables que se consideran robustas, como el tipo de evento causante del desastre, la fecha de ocurrencia del mismo y la ubicación geográfica. Otras variables, aunque son menos robustas, son creíbles o confiables si se realizan algunas verificaciones y son especialmente útiles para los análisis, como el número de fallecidos y de heridos, el número de viviendas destruidas y afectadas. Igualmente, si se tienen ciertos cuidados en la revisión y uso de la información en situaciones de desastre se pueden utilizar variables menos confiables pero representativas como la suma de damnificados o afectados, o el número de hectáreas de cultivos afectadas.

En términos cuantitativos, el conjunto de variables menos robustas puede presentar problemas de diverso tipo (adicionales al “prejuicio” genérico sobre la información de prensa) que hacen necesario su control permanente y la consiguiente necesidad de depuración previa a cualquier análisis. Se han detectado en sucesivas depuraciones datos que provienen de periodistas con sesgos, de fuentes específicas no comprobables (que en general se han tratado de contrastar con otras fuentes consideradas “oficiales”), de fuentes oficiales que “inflan” las cifras dependiendo de coyunturas políticas y errores de digitación. Estos datos pueden ser difíciles de corregir

pero pueden ser contrastables con otras fuentes incluso no oficiales o detectables utilizando técnicas estadísticas, e.g. outliers (Marulanda et al 2008). Por otra parte, no todos los registros contienen la misma información, ya sea debido al tipo de daños (e.g. no hay daños en vivienda pero si en puentes, por ejemplo), ya sea porque no hay cuantificación de los mismos (e.g. afirmaciones como: muchas viviendas dañadas) ya sea porque la información original sólo incluye ciertas variables y no otras (e.g. en sana lógica cuando hay viviendas destruidas debe haber un número correspondiente de afectados y no siempre dichos afectados se registran). En lo referente al número de afectados, se encuentran no pocos registros en los que aparece un número muy alto de ellos, porque el evaluador considera como afectados a conjuntos no despreciables de población que por ejemplo se han quedado horas o días sin el suministro de un servicio básico (e.g. dos millones de afectados por carencia de fluido eléctrico). La Tabla A1-1 presenta para cada país con DesInventar el número de registros y el período cubierto.

Tabla A1-1. Países con DesInventar, Número de Registros y Período Cubierto

ASIA		
País	Registros	Período
East Timor	680	1992 - 2012
India - Orissa	12,042	1970 - 2012
India - Tamil Nadu	31,184	1968 - 2011
Indonesia	13,369	1815 - 2012
Irán	17,194	1895 - 2011
Jordán	453	1981 - 2009
Laos	4,216	1990 - 2018
Lebanon	2,521	1980 - 2011
Nepal	21,651	1971 - 2011
Sri Lanka	121,740	1965 - 2012
Siria	7,326	1980 - 2009
Vietnam	1,469	1989 - 2010
Yemen	8,945	1971 - 2011
ÁFRICA		
País	Registros	Periodo
Djibouti	1,308	1944 - 2012

Etiopia	23,724	1957 - 2009
Kenia	1,356	1997 - 2012
Mali	1,866	1994 - 2012
Mozambique	4,919	1979 - 2009
Uganda	2,259	1933 - 2012
CENTRO Y SUR AMERICA		
País	Registros	Periodo
Argentina	16,211	1970 - 2009
Bolivia	3,993	1970 - 2011
Chile	13,237	1970 - 2011
Colombia	33,813	1914 - 2012
Costa Rica	14,116	1968 - 2011
Ecuador	-	-
El Salvador	8,528	1900 - 2012
Guatemala	5,467	1988 - 2011
Guyana	899	1972 - 2012
Honduras	13,112	1915 - 2012
Jamaica	1,247	1973 - 2011
México	37,600	1911 - 2011
Nicaragua	842	1994 - 2012
Panamá	5,711	1929 - 2012
Perú	22,009	1900 - 2011
Venezuela	6,590	1530 - 2012

La Tabla A1-2 presenta la descripción de los principales campos de los registros de las bases de datos DesInventar. Esta información ha sido tomada de la documentación disponible en Internet.

Tabla A1-2. Principales Campos en la Base de Datos DesInventar

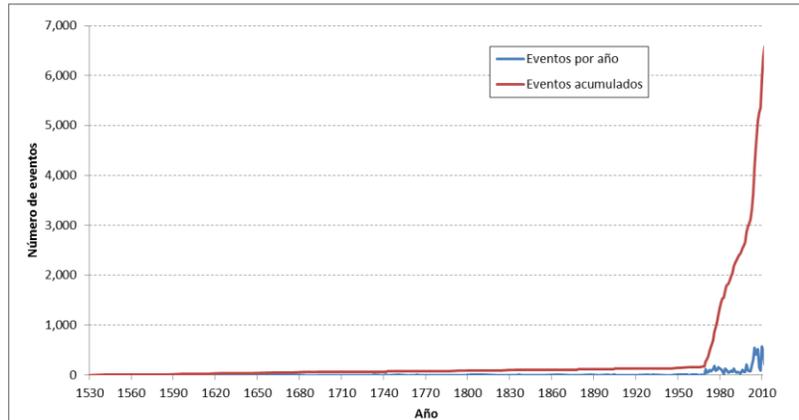
Campo	Descripción
Fecha inicio	Fecha del evento
Nombre geografía	Localización
Tipo evento	Tipo de Evento
Muertos	Número de personas fallecidas por causas directas. Cuando se dispone de datos oficiales finales se incluye este valor con las observaciones correspondientes, por ejemplo cuando haya diferencias entre las cifras oficialmente aceptadas y las de otras fuentes. Las presunciones sobre muertos, no verificados oficialmente, se registran en el campo -Observaciones de efectos- consignando la fuente de información.
Desaparecidos	Número de personas cuyo paradero a partir del desastre es desconocido. Incluye personas presumiblemente muertas sin evidencias físicas. Los datos de muertos y de desaparecidos son mutuamente excluyentes, por lo tanto no los mezcle.
Heridos, enfermos	Número de personas que resultaron afectadas en su salud o integridad física, sin ser víctimas mortales, por causa directa del desastre. Se deben incluir las personas que sufrieron lesiones y las que quedaron enfermas si se trata de una plaga o epidemia.
Damnificados	Número de personas que han sufrido grave daño directamente asociado al evento en sus bienes y/o servicios individuales o colectivos. Por ejemplo destrucción parcial o total de su vivienda y sus bienes; pérdidas en cultivos y/o en bodegas, etc. Se deben incluir también personas reubicadas.
Afectados	Número de personas que sufren efectos indirectos o secundarios asociados a un desastre. Corresponde al número de personas, diferentes a damnificados, que sufren el impacto de los efectos secundarios de los desastres por razones como deficiencias en la prestación de servicios públicos, en el comercio, o en el trabajo, o por aislamiento. Si la información aparece por familias, calcular el número de personas según indicadores disponibles.
Evacuados	Número de personas evacuadas temporalmente de sus viviendas, lugares de trabajo, colegios, hospitales, etc.
Reubicados	Número de personas que han sido trasladadas desde sus sitios de vivienda a nuevos emplazamientos permanentes.
Viv. Destruídas	Número de viviendas arrasadas, sepultadas, colapsadas o deterioradas de tal manera que no son habitables.
Viv. Afectadas	Número de viviendas con daños menores, no estructurales o arquitectónicos, que pueden seguir siendo habitadas, aun cuando requieran de acciones de reparación o de limpieza.

Valor pérdidas \$	Monto de las pérdidas directas causadas por el desastre en moneda local
Valor pérdidas US\$	Equivalente en dólares (US\$) de las pérdidas en moneda local, según la tasa de cambio de moneda nacional en la fecha de ocurrencia del desastre.
Centros hospitalarios	Número de centros de salud, clínicas, hospitales locales y regionales destruidos y afectados directa o indirectamente por el desastre.
Centros de educación	Número de guarderías, escuelas, colegios, universidades, centros de capacitación, etc. destruidas y afectadas directa o indirectamente por el desastre. Incluye aquellos que han sido utilizados como albergues temporales.
Cultivos y bosques (Ha)	Número de áreas de cultivo, pastizales o bosques destruidas y afectadas. Si la información está en otra medida se deberá convertir a hectáreas.
Ganado	Número de unidades perdidas (bovinos, porcinos, caprinos, avícolas) cualquiera sea el evento (inundación, sequía, epidemia, etc.).
Vías afectadas (m)	Longitud de redes viales destruidas y/o inhabilitadas en metros.

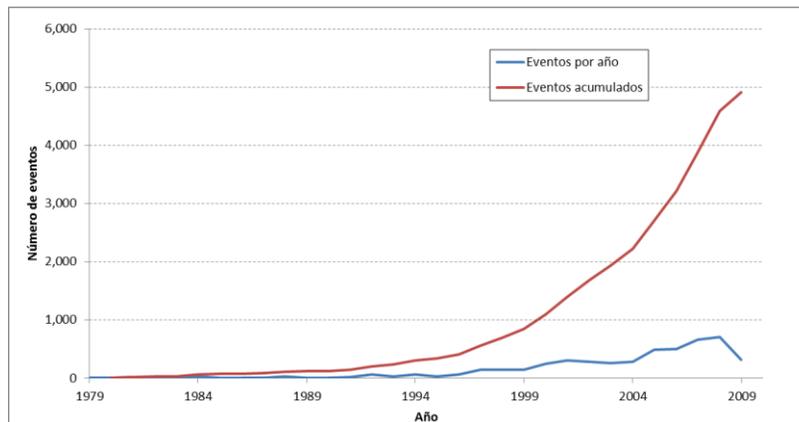
A1.2.2. Período de Análisis

Las bases de datos generalmente intentan cubrir periodos de tiempo lo más amplios posibles. En algunos casos se cuenta con eventos desde principios del siglo XX o incluso anteriores, como se evidencia en la Tabla A1-1, en la sección anterior. Esto genera períodos con discontinuidades en los registros, principalmente debido a la falta de información disponible o al costo de recopilarla; efecto que es evidente en los registros comprendidos entre 1950 y 1980. Otros registros aún más antiguos dan cuenta de desastres históricos que han quedado en la memoria de los pueblos. Debido a lo anterior, para efectos de realizar una curva empírica de excedencia de pérdidas, es necesario definir el período a procesar, el cual en la mayoría de los casos empieza desde 1980, ya que es a partir de esta fecha que los catálogos comienzan a evidenciar algún grado de completitud. La Figura A1-1, presenta tres ejemplos de países en los cuales se puede ver la evolución del número de registros por año.

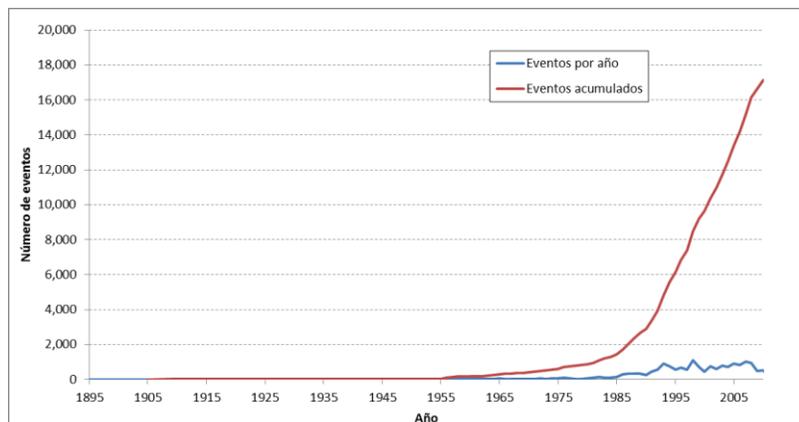
Figura A1-1. Número de Registros por Año en Varios Países



a. Número de Registros por Año en Venezuela. *Fuente:* DesInventar.net



b. Número de Registros por Año en Mozambique. *Fuente:* DesInventar.net



c. Número de Registros por Año en Irán. *Fuente:* DesInventar.net

Las figuras anteriores indican que cada país cuenta con registros en la base de datos a partir de un año determinado, sin embargo para efectos del análisis es necesario identificar en cada caso a partir de qué año debe realizarse la evaluación sin que esto

afecte de manera significativa la frecuencia media de eventos por año, que es uno de los parámetros que se desea obtener del análisis de la información.

A1.2.3. Agrupación por Categoría

La Tabla A1-3 resume las categorías de eventos definidas y su descripción, las cuales se han empleado para los procesos de agrupamiento, valoración, clasificación y filtrado de la base de datos.

Tabla A1-3. Categorías de Eventos Definidas

Evento	Descripción
Tectónicos	Relaciona eventos producidos por la tectónica terrestre, básicamente sismos y tsunamis.
Deslizamientos	Eventos geotécnicos de inestabilidad de laderas, de remoción de masas, etc.
Volcánicos	Eventos debidos a actividad volcánica, como erupciones, flujos de lava, flujos piro-clásticos, cenizas.
Hidrometeorológicos	Eventos hidrometeorológicos de lluvias, tormentas, granizadas, heladas y otros fenómenos en los que la afectación es debida a la condensación del aire.
Huracanes	Son eventos hidrometeorológicos extremos, y como tales merecen un análisis detallado.
Sequía	Eventos climáticos en los que la afectación es debida a la ausencia extrema de humedad en la atmosfera.

Aunque en la base de datos aparecen eventos de origen antrópico estos no se han incluido en el análisis y por lo tanto no se hace referencia a ellos. La base de datos DesInventar no reporta directamente las categorías de eventos, sino que reporta las causas del mismo, por lo que es necesario establecer una relación única entre las causas reportadas en la base de datos y las categorías previamente definidas. La Tabla A1-4 ilustra el grupo de causas reportado que se han asociado a alguna de las diferentes categorías de eventos definidos anteriormente. No se ha incluido el incendio forestal dado que en un importante número de estos son causados por el hombre, bien sea por falta de cuidado o provocados directamente, por lo que su empleo queda a la consideración particular de cada caso.

Tabla A1-4. Categorías de Eventos y Causas Asociadas

Categoría	Eventos Incluidos		
Tectónicos	Sismo	Tsunami	-
Volcánicos	Actividad Volcánica	-	-
Deslizamientos	Alud	Deslizamiento	-
Huracanes	Huracán	Ciclón	-
Hidrometeorológicos	Aluvión	Avenida torrencial	Cambio línea de costa
	Granizada	Helada	Inundación
	Lluvias	Marejada	Neblina
	Nevada	Onda fría	Tempestad
	Tormenta eléctrica	Tornado	Vendaval
Sequia	Ola de calor	Sequía	-

A1.2.4. Agrupación Temporal y Espacial

Debido a que los registros no están agrupados ni espacial ni temporalmente, se hace necesario establecer unos criterios para agrupar diferentes registros que puedan considerarse como consecuencias de un mismo evento.

Los criterios de agrupación temporal y espacial toman en cuenta que un evento puede ser reportado en diferentes registros separados en el tiempo y el espacio, debido a que se reportan daños en diferentes escalas espaciales (poblaciones, regiones, etc.) y en diferentes fechas. También se debe considerar que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría (e.g. un evento sísmico puede ser el detonador de un deslizamiento). Los parámetros espaciales además toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con registros similares ocurridos en el mismo lugar o dentro de un radio de acción razonable.

La Tabla A1-5 presenta unos criterios de agrupación temporal, que pueden servir de guía, ya que los criterios a emplear en cada caso, deben provenir de un análisis riguroso de la base de datos y de las amenazas presentes en cada región. La agrupación espacial se debe establecer en cada caso particular, ya que no hay una

metodología única de recopilación de datos. Estos pueden ser obtenidos y almacenados en diversos niveles de las unidades administrativas territoriales. Como criterio general se intentan agrupar los registros en el nivel inmediatamente superior al nivel correspondiente a poblaciones.

La agrupación espacial se da dentro de un nivel de división político-administrativa, en el cual se puedan considerar como consecuencias de un mismo evento diferentes registros. Aunque esta aproximación tiene sus desventajas, es la forma más sencilla y explícita de realizar la agrupación. Empleando simultáneamente los parámetros de agrupación espacial y temporal se pretende consolidar la información recolectada en diferentes poblaciones, en un único registro.

Tabla A1-5. Criterios de Agrupación Temporal

Causa	Consecuencia	Tiempo Transcurrido [días]
Sequia	Sequia	15
Huracanes	Huracanes	5
	Hidrometeorológicos	5
	Deslizamientos	5
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	2
	Deslizamientos	2
Deslizamientos	Deslizamientos	1
Tectónicos	Tectónicos	2
	Deslizamientos	3
Volcánicos	Volcánicos	5

A1.3. Técnica de Valoración

Para efectos de este estudio, la estimación de los costos de los eventos registrados en la base de datos DesInventar incluye únicamente una valoración económica que puede considerarse equiparable a la estimación de las consecuencias o pérdidas directas causadas por los eventos. Esta valoración se refiere al costo mínimo en términos de restitución de activos que habría requerido o podría requerir el gobierno para cubrir su responsabilidad fiscal; e.g. reposición de vivienda con unidades básicas o de interés social y su urbanismo asociado, indemnizaciones por proyectos productivos o medios de sustento, reconstrucción de infraestructura y servicios esenciales y sociales. La técnica planteada no intenta estimar las pérdidas totales del acervo afectado por los diferentes desastres reportados en la base de datos, ni establecer cifras que puedan

incluso compararse con la estimación oficial de los desastres siguiendo, por ejemplo, la metodología de la CEPAL. Esta técnica permite valorar hipotéticamente lo que hubiese costado mínimamente la recuperación pos desastre en el pasado. Esto con el fin de poner en perspectiva el orden de magnitud de los recursos presupuestales que se requerirían en promedio, por parte del gobierno central, para las futuras recuperaciones de mantenerse el mismo patrón o tendencia (tasa de recurrencia) de desastres. El ejemplo más representativo es la valoración de las viviendas afectadas y destruidas. En estos casos no se valora la pérdida en función lo que había antes del desastre, pues incluso en la mayoría de los casos es algo que no se sabe con precisión. Las casas podrían ser de mayor o menor precio comercial que el valor nominal de una vivienda básica. Lo que se intenta reflejar es el costo para el gobierno según su responsabilidad legal frente a desastres, que normalmente no es reponer el mismo activo que existía antes sino proveer una solución de vivienda de interés social prioritaria.

Para plantear una valoración consistente e indicativa de los efectos de los eventos contenidos en la base de datos se hacen una serie de supuestos que no deben perderse de vista cuando se realiza la interpretación de los resultados.

Se parte de que el interés del estudio es establecer lo que el gobierno debería restituir después del desastre y de esta manera valorar el costo que tendría el evento en función de su responsabilidad fiscal, suponiendo que la tiene desde el punto de vista constitucional o legal. Normalmente, los gobiernos deben reconstruir los inmuebles públicos (lo que incluye edificios gubernamentales, de educación y salud pública y la infraestructura) y apoyar a las personas de menores ingresos, usualmente reemplazando de las viviendas afectadas con una vivienda básica, cuyo tamaño y costo varía de país en país y a lo largo del tiempo.

Por otro lado, considerando que la base de datos DesInventar tiene un predominante y extenso registro de eventos menores que en su mayoría afectan zonas subnormales o marginales de zonas periféricas de las ciudades, pequeñas poblaciones y áreas rurales, se asume, en general, que todos los eventos afectan a la población vulnerable de la sociedad. Ahora bien, este supuesto se considera razonable, en el caso de desastres menores, debido a que otros estratos socioeconómicos, debido a su mayor capacidad y resiliencia, usualmente están ubicados en lugares menos propensos a sufrir daños por eventos naturales, emplean mejores técnicas, procesos y materiales, que cumplen los códigos de construcción, y por lo tanto no son afectados recurrentemente. Adicionalmente, en caso de que así sea, tienen acceso al mercado de seguros y no necesitarían, en principio, la ayuda del gobierno. Es decir, aunque puede haber casos en que los eventos afectan a otros estratos de la población con mayor capacidad económica, sobre todo en el caso de los esporádicos eventos mayores, se considera que todas las viviendas afectadas que aparecen en los registros son de los estratos más pobres de la sociedad. En otras palabras, aunque puede haber efectos al sector privado y con alguna capacidad económica se supone que los daños son todos de responsabilidad fiscal del gobierno. Este supuesto se considera razonable, además, porque en los desastres mayores, cuando el sector privado es afectado no es extraño que el gobierno también genere subsidios y apoyos a niveles socioeconómicos intermedios y altos de la población.

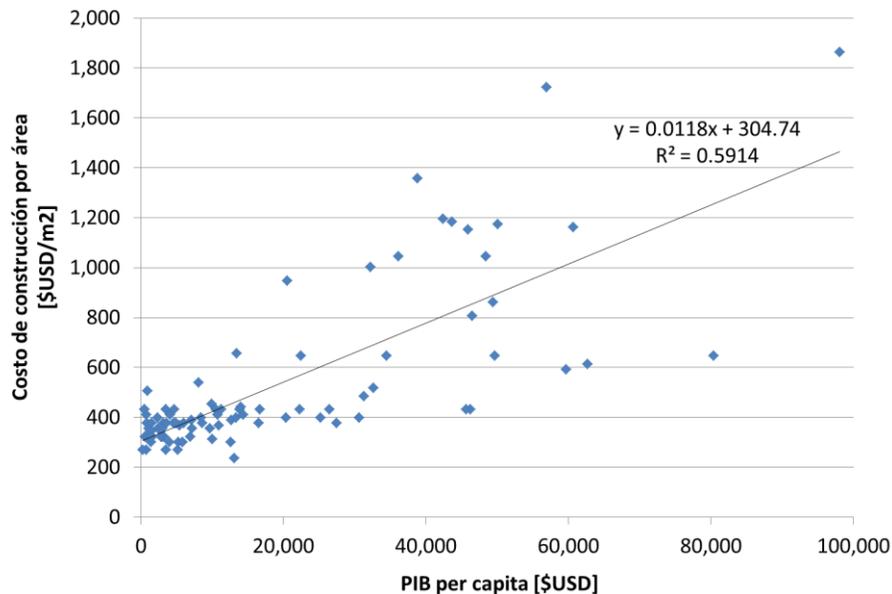
En el caso de otros activos como centros de salud, escuelas y vías, aunque usualmente no se tiene asociada una descripción explícita del activo afectado, que permita identificar su tamaño ni en detalle el grado de afectación, se emplea en la valoración una descripción genérica o básica, de modo que se pueda dar a estimar en algún grado un costo conservador que tendría que asumir el gobierno debido a su responsabilidad fiscal frente a este tipo de activos o inmuebles usualmente públicos.

En resumen las hipótesis o supuestos básicos para la valoración de los efectos son las siguientes:

- La valoración económica se basa en las variables disponibles en la base de datos, que permiten una estimación económica. Se consideran que estas variables son: viviendas afectadas, viviendas destruidas, centros de salud, escuelas y vías.
- Otras variables disponibles en la base de datos, que dan cuenta de una afectación física no se han utilizado debido a la dificultad para establecer un criterio consistente y sustentable de valoración económica, por ejemplo: cultivos, bosques y ganado. También se han descartado otras variables que sólo indican que se presentó una afectación, pero no indican su severidad, por ejemplo: acueducto, saneamiento y comunicaciones.
- Como valor base para determinar el costo por metro cuadrado de construcción se utiliza una fracción del PIB per cápita para el año 2011. Dicho valor se considera un estimativo adecuado para la valoración económica de la vivienda de interés social prioritaria.

En la Figura A1-2, se presenta una comparación entre el PIB per cápita y el costo por metro cuadrado de construcción de edificios (información reportada en el “Global Construction Cost and Reference Yearbook 2012” de Compass International). Este análisis permite establecer comparaciones para más de 90 países. Los resultados indican que el valor por metro cuadrado de construcción, excluyendo el terreno, presenta una correlación del 60% con el PIB per cápita. Otro análisis similar se realizó comparando el valor del metro cuadrado de construcción, con el salario mínimo legal mensual vigente para un empleado no calificado de la construcción, en el cual la correlación sólo fue del 40%.

Figura A1-2. Comportamiento del Costo del Metro Cuadrado de Construcción Frente al PIB per Cápita



- Cuando no se cuenta en la base de datos con información relacionada con el tamaño de las viviendas básicas de interés social, se asume un área de 45 metros cuadrados. Este valor corresponde al promedio de las áreas en este tipo de vivienda para varios países incluyendo Argentina (49m²), Colombia (39 m²), y Bolivia (52 m²).
- Para viviendas destruidas se considera que el daño es del 100%. Aunque una vivienda puede no presentar un daño total, usualmente por condiciones de seguridad y costos de reparación se asume que la destrucción es total cuando el daño es superior al 50%.
- Para viviendas afectadas se considera que el daño es del 25%. Esto es justamente el promedio de lo que se consideran son viviendas afectadas (por debajo del 50%). Esto significa que cuatro viviendas afectadas equivalen a una vivienda destruida.
- Los costos básicos estimados de reposición de vivienda no incluyen el valor del terreno. En ocasiones se puede reconstruir en el mismo sitio o el costo del terreno es muy bajo.
- Se excluyen de la valoración los costos de demolición, remoción y limpieza, alojamiento temporal y otros costos asociados a la rehabilitación y recuperación de las personas.

- Se excluye de la valoración el costo por daños en los contenidos de las viviendas. Este es un valor importante para las personas pero usualmente no se repone o indemniza.
- Para considerar el valor correspondiente al urbanismo, en el caso de las viviendas destruidas se considera un sobre costo del 40% en los valores unitarios de viviendas. Este valor está basado en información de proyectos de vivienda y mejoramiento de barrios e incluye servicios domiciliarios básicos (acueducto, alcantarillado, electricidad y comunicaciones) y las vías de acceso (peatonal y vehicular) de acuerdo con información recolectada. Este valor es un promedio ya que el valor final del urbanismo depende de factores como topografía, calidad de las obras, número de unidades de vivienda, entre otros.

De acuerdo con lo anterior, la Tabla A1-6 resume los principales supuestos para la valoración de los efectos registrados en la base de datos. La Tabla A1-7 presenta los valores unitarios de los diferentes elementos considerados para la valoración económica de los desastres, calculados mediante la metodología propuesta, para diferentes países, incluyendo la República Bolivariana de Venezuela.

Tabla A1-6. Valoración de los Efectos Registrados

	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruídas	Centros Educativos¹¹	Centros de Salud¹²	Vías¹³
Área [m ²]	45	45	75	48	
Valor/m ² [USD] ¹⁴	1.18% PIBPC + 304.74	1.18% PIBPC + 304.74	1.18% PIBPC + 304.74	1.18% PIBPC + 304.74	
Urbanismo [%] ¹⁵	0%	40%	40%	40%	
Afectación [%]	25%	100%	100%	100%	
Costo por unidad [USD/unidad]	USD/VA	USD/VD	USD/CE	USD/CS	USD/V

¹¹ Área estimada considerando dos aulas de 6m x 5m y una zona administrativa de 15 m².

¹² Área estimada considerando una sala de espera (3m x 4m), un consultorio (3m x 4m), una zona de atención primaria y primeros auxilios (5m x 4m) y área de depósito de insumos médicos y mantenimiento.

¹³ El costo por metro de vía es la ponderación de los valores de rehabilitación de vías asfaltadas y no asfaltadas (ROCKS, World Bank) multiplicado por la distribución de vías a nivel nacional. Este valor es actualizado a 2011 empleando un factor de 1.316.

¹⁴ Se estima que un metro cuadrado de construcción vale aproximadamente 1.18% PIBPC + 304.74.

¹⁵ Entre los costos que engloba este concepto están: servicios domiciliarios, vías internas, saneamiento y zonas verdes.

Figura A1-3. Valor en US\$ Dólares por Metro Cuadrado de Construcción para los Países Analizados

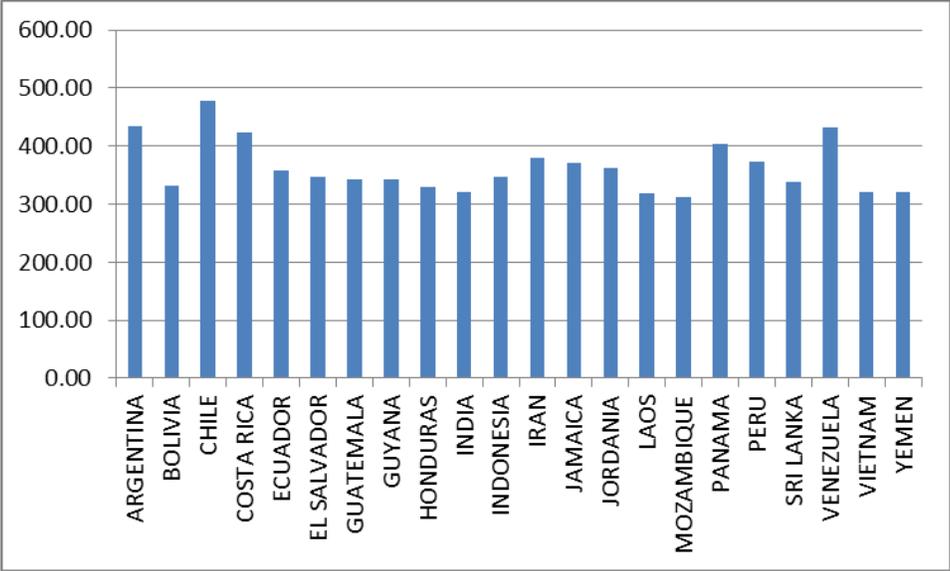


Tabla A1-7. Valoración de los Efectos Registrados

	Valor/ m² [USD]	Viviendas Afectadas [USD]	Viviendas Destruídas [USD]	Centros Educativos [USD]	Centros de Salud [USD]	Vías [USD]
		USD/VA	USD/VD	USD/CE	USD/CS	USD/V
Argentina	434	4,879	27,323	45,539	29,145	113
Bolivia	331	4,336	24,283	34,795	22,269	60
Chile	477	5,368	30,061	50,102	32,066	95
Costa Rica	423	4,756	26,633	44,388	28,408	103
Ecuador	357	4,016	22,488	37,481	23,988	76
El Salvador	346	3,892	21,795	36,324	23,248	88
Guatemala	344	3,865	21,641	36,069	23,084	124
Guyana	343	3,853	21,578	35,963	23,016	59
Honduras	330	3,717	20,814	34,690	22,201	90
India	321	3,613	20,232	33,720	21,581	160
Indonesia	346	3,894	21,807	36,345	23,261	178
Irán	381	4,281	23,976	39,960	25,575	217
Jamaica	370	4,167	23,333	38,889	24,889	217
Jordán	362	4,070	22,792	37,986	24,311	282
Laos	319	3,588	20,093	33,489	21,433	74
Mozambique	312	3,506	19,632	32,720	20,941	91
Panamá	403	4,538	25,411	42,351	27,105	142
Perú	373	4,194	23,484	39,140	25,050	74
Sri Lanka	339	3,810	21,334	35,556	22,756	236
Venezuela	433	4,870	27,273	45,456	29,092	122
Vietnam	321	3,610	20,218	33,696	21,566	155
Yemen	320	3,603	20,175	33,625	21,520	62

Anexo 2
Análisis Espacial con Curvas PADF

A2.1. Introducción

El objetivo del modelo es establecer las relaciones entre la profundidad máxima de precipitación promedio (P), el área (A) sobre la cual cae esta profundidad, la duración (D) durante la cual se produce esa precipitación y la frecuencia (F) con la cual se presenta ese evento con esas características de profundidad, cobertura espacial y duración. Esto corresponde a las curvas profundidad – área – duración – frecuencia (PADF). El análisis PAD determina las cantidades máximas de precipitación sobre áreas de diferentes tamaños y para varias duraciones de precipitación. Estas curvas deben ser características de las áreas homogéneas mencionadas anteriormente. Un aspecto adicional relacionado con esas curvas es el análisis y definición de patrones geométricos (p.e. de distribución espacial de la precipitación, los cuales se hacen a partir del estudio de mapas de curvas isoyetas de eventos de tormentas considerados, identificando centros de tormentas y zonas asociadas con hipocentros, es decir áreas consistentemente de menor precipitación). Otra consideración que debe tomarse en cuenta, es la distribución temporal de los eventos espacialmente distribuidos. Criterios para el análisis espacial de precipitaciones máximas se describen a continuación:

1. Definición de área mínima por debajo de la cual la precipitación se considera como puntual y definición adicional de área máxima (en razón a que el número de tormentas de gran extensión puede ser escaso dentro de tormentas históricas disponibles y por lo tanto las series anuales correspondientes pueden resultar no suficientemente largas para realizar análisis de frecuencia de igual confiabilidad que para el resto de eventos disponibles de menor extensión).
2. Definición del número mínimo de estaciones pluviométricas y/o pluviográficas que registren un determinado aguacero para la generación de los mapas de isoyetas correspondientes (este número podría estar alrededor de 10 pero depende indudablemente de la densidad de estaciones en cada caso de estudio), de tal manera que éstos sean confiables para la descripción espacial del evento.
3. Definición de un valor umbral para la selección de un evento para ser considerado como significativo, es decir que, además que este evento esté registrado en el número mínimo de estaciones definido en el punto 2, la precipitación registrada en cada una de estas estaciones supere ese valor umbral (p.e. mayor que 10 mm en 24 horas).
4. Por razones de consistencia, se debe utilizar la misma distribución de probabilidad y el mismo método de estimación de parámetros que el definido para los análisis puntuales de frecuencia.
5. El análisis de la distribución espacial de la precipitación para los eventos considerados debe permitir establecer el o los patrones geométricos más representativos para su caracterización genérica (p.e. patrón circular, patrón

elíptico, etc.) con localizaciones preferenciales de hiper e hipocentros, además de alineamientos del patrón, al igual que relaciones funcionales entre parámetros del patrón (p.e. relación entre eje mayor y eje menor en patrón elíptico entre 2 y 3).

6. La distribución temporal de los aguaceros con extensión espacial debe obtenerse del comportamiento temporal de las tormentas registradas en áreas extensas en conjunto con las estaciones pluviométricas y pluviográficas, y no exclusivamente de los registros de estas últimas de manera individual. Así se puede garantizar la consistencia de los patrones temporales y espaciales obtenidos del análisis de precipitaciones máximas en áreas extensas.

La metodología para la determinación de relaciones PAD y PADF debe basarse en procedimientos propuestos en la literatura, como por ejemplo el de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1969). El rango de variación de las áreas se debe establecer a partir de los mapas de isoyetas generados para cada uno de los eventos disponibles, desde el valor mínimo equivalente puntual, hasta la mayor de las extensiones cubiertas por estos eventos. Eventualmente, puede ser necesario extrapolar curvas PAD y PADF para valores mayores a este máximo histórico en el área. En relación con las duraciones, se considera que éstas pueden ir desde 1 hora hasta alrededor de 10 días, en razón a las precipitaciones asociadas a huracanes. Al igual que se considera adecuada la distribución Gumbel, con MPP para los análisis puntuales, ésta también se considera adecuada para los análisis espaciales.

Para la determinación de los datos de precipitación para los análisis de curvas PAD y PADF, se deben establecer las fechas para las cuales en alguna o algunas de las estaciones se registraron profundidades significativas, para luego completarlas con los registros de las demás estaciones. De esta manera se tiene, para cada fecha, el conjunto de valores de precipitación registrados en todas las estaciones de la zona homogénea, los cuales, graficados mediante isoyetas permiten establecer la distribución espacial de la precipitación en la fecha respectiva. Análisis adicionales similares permitirían desagregar la información diaria con duraciones menores, en la medida con que exista información pluviográfica, pudiéndose establecer distribuciones espaciales y temporales para cada uno de los sub-intervalos. De igual manera, la información diaria se puede agregar para duraciones mayores, pudiéndose identificar la distribución espacial y temporal en cada una de éstas. Como consecuencia de lo anterior, para todas las fechas históricas con eventos significativos se construyen las curvas PAD (una por cada evento y por cada duración) a partir de las cuales se realiza el análisis de frecuencia correspondiente para varios valores de área. El resultado de lo anterior es la curva PADF para la zona hidrológica homogénea.

Para construir una curva PAD en una zona hidrológicamente homogénea, se establece primero la duración considerada; a continuación se recopilan o generan los mapas de isoyetas de los eventos históricos para esta duración. En seguida, cada mapa se procesa para identificar el o los sitios de mayor pluviosidad, calculando la precipitación promedio correspondiente y midiendo el área cubierta respectiva. Esto se repite

sucesivamente, extendiendo las áreas de cubrimiento de las isoyetas (progresivamente con valores mayores a menores), calculando la precipitación promedio sobre las isoyetas consideradas y midiendo las áreas respectivas. Así, en la medida en que se amplía la cobertura de isoyetas, la profundidad promedio disminuye progresivamente y el área aumenta, definiéndose así una relación inversa entre área y precipitación máxima promedio. El algoritmo del procedimiento se describe a continuación:

1. Para cada año seleccionar los eventos intensos de precipitación con extensión espacial. Los pasos 2 a 16 corresponden al análisis de eventos de cada año con información disponible.
2. Para cada evento elaborar mapas de isoyetas para una duración D utilizando herramientas computacionales. Deben involucrarse estaciones periféricas que no hayan registrado precipitación.
3. Identificar las isoyetas de mayor valor. Sea este mayor valor de precipitación p_1 , y sea m_1 el número de isoyetas con valor p_1 .
4. Medir las áreas encerradas en las isoyetas con valor p_1 , y denotar estas áreas como a_1 , con i desde 1 hasta m_1 .
5. Estimar el valor promedio de precipitación en a_1 como $h_1 = p_1 + (p_{max} - p_1)/3$, donde p_{max} es el valor máximo puntual de precipitación dentro del área a_1 .
6. Sumar las áreas a_1 . Es decir $A_1 = \sum_{i=1}^{m_1} a_1$.

7. Para el área agregada A_1 , calcular la profundidad de precipitación promedio como:

$$H_1 = \frac{\sum_{i=1}^{m_1} h_i a_{1i}}{A_1} \quad \text{(Ec. 3)}$$

8. Identificar la(s) isoyeta(s) con valor inmediatamente inferior a p_1 , y sea este valor p_2 . Sea m_2 el número de isoyetas con valor p_2 .
9. Medir cada una de las áreas internas a las isoyetas con valor p_2 . Sean estas áreas a_2 .
10. Estimar el valor promedio de precipitación en a_2 como:

$$h_{2i} = \frac{h_1 a_{1i} + 0.5[p_2 + p_1][a_{2i} - a_{1i}]}{a_{2i}} \quad \text{(Ec. 4)}$$

11. Sumar las áreas a_2 . Es decir $A_2 = \sum_{i=1}^{m_2} a_2$.

12. Para el área agregada A_2 , calcular la profundidad de precipitación promedio como:

$$H_2 = \frac{\sum_{i=1}^{m_2} h_{2i} a_{2i}}{A_2} \quad (\text{Ec. 5})$$

13. Continuar con las curvas isoyetas subsiguientes mediante un procedimiento similar. Para la isoyeta n con un valor de precipitación p_n y con áreas encerradas a_n , estimar h_n como:

$$h_{ni} = \frac{h_{1i} \cdot a_{1i} + \sum_{j=2}^n 0.5[p_j + p_{j-1}] [a_{ji} - a_{(j-1)i}]}{a_n} \quad (\text{Ec. 6})$$

14. Sumar las áreas a_n . Es decir $A_n = \sum_{i=1}^{m_n} a_n$

15. Para el área agregada A_n , calcular la profundidad promedio como:

$$H_n = \frac{\sum_{i=1}^{m_n} h_{ni} a_{ni}}{A_n} \quad (\text{Ec. 7})$$

16. Graficar A_j vs. H_j .

17. Repetir el procedimiento descrito entre los pasos 2 a 16 para todos los eventos de precipitación de duración D disponibles en ese año.

18. Superponer las gráficas A_j vs. H_j del paso 16 para todos los eventos de ese año de duración D .

19. Establecer la envolvente superior de precipitación para la superposición del paso anterior. Esta envolvente representa la relación entre la precipitación máxima y la extensión espacial para ese año y esa duración o curva PAD. En esta envolvente determinar los valores de precipitación máxima para valores predeterminados de área.

20. Repetir los pasos 2 a 19 para cada uno de los demás años disponibles.

21. Conformar las series anuales de precipitación máxima de duración D para cada una de las áreas predeterminadas del paso 19. Hacer análisis de frecuencia con esta serie usando la misma distribución de probabilidad y mismo método de estimación de parámetros aplicados en los análisis puntuales.

22. Repetir pasos 2 a 21 para otras duraciones D .

23. Con los resultados de los análisis de frecuencia de los pasos 21 y 22 conformar las curvas PADF.

Como resultado de los análisis anteriores se disponen de curvas PADF representativas de las zonas homogéneas correspondientes. Además, los análisis de curvas isoyetas históricas permiten establecer patrones típicos de distribución espacial de eventos de precipitación, que pueden ser diferenciados según su origen sea por huracanes o por lluvias intensas. De manera complementaria a lo anterior, se pueden determinar ubicaciones preferenciales de estos patrones dentro del área. Los tres componentes anteriores (i.e., curvas PADF, patrones típicos y ubicación preferencial), permiten establecer procedimientos para la generación sintética de eventos de precipitación. Para esto y de manera aleatoria controlada, se puede generar la ubicación de los eventos espaciales de precipitación con características, también aleatorias, controladas de tamaño y forma que cumplan con las relaciones contenidas en las curvas PADF. Así, el procedimiento es:

1. Seleccionar un determinado período de retorno T
2. Determinar aleatoriamente una duración D
3. Seleccionar valores de área, A_i , dentro del rango cubierto por la curva PADF correspondiente a la duración D y frecuencia T anteriores
4. Con base en la curva PADF determinar los respectivos valores de profundidad máxima promedio P_i
5. Generar aleatoriamente la ubicación, forma y tamaño del patrón de precipitación;
6. Generar con el patrón típico las correspondientes curvas isoyetas que preserven para las anteriores áreas A_i las respectivas profundidades de precipitación P_i

En la Tabla A2-1 se presentan las ecuaciones para confeccionar un patrón espacial circular o elíptico, pues una elipse está definida por los semiejes menor y mayor, a y b respectivamente, y se puede expresar el uno en función del otro como $b = Ka$. En la Tabla A2-1 las dos primeras columnas corresponden a los valores de áreas y precipitaciones máximas promedio adoptados de la curva PADF (pasos 3 y 4), con las áreas ordenadas de menor a mayor. La tercera columna muestra las ecuaciones para determinar el valor correspondiente de la isoyeta del patrón elíptico. Las columnas 4 y 5 permiten calcular los valores para cada isoyeta de los semiejes mayor y menor.

Para la generación sintética de eventos de precipitación máxima, es necesario definir tres elementos complementarios a lo anteriormente descrito: (1) la ubicación espacial del centro de la tormenta; (2) el valor de K , y (3) la dirección del eje mayor. En relación con la ubicación espacial del centro de tormenta, con base en los mapas históricos de isoyetas se debe identificar la o las zonas de mayor frecuencia de ubicación, las cuales se pueden representar mediante polígonos. Por lo tanto, es dentro de estos polígonos donde se deben generar centros aleatorios de tormentas. Con respecto al valor K , nuevamente del análisis de mapas históricos de isoyetas se pueden determinar rangos de valores de K más representativos, ajustando una distribución uniforme o triangular simétrica, por ejemplo. Para la dirección del eje mayor, los mapas históricos de isoyetas permiten establecer alineamientos preferenciales de los patrones de tormentas, a partir de los cuales se pueden definir rangos de valores de azimut del eje mayor, dentro de

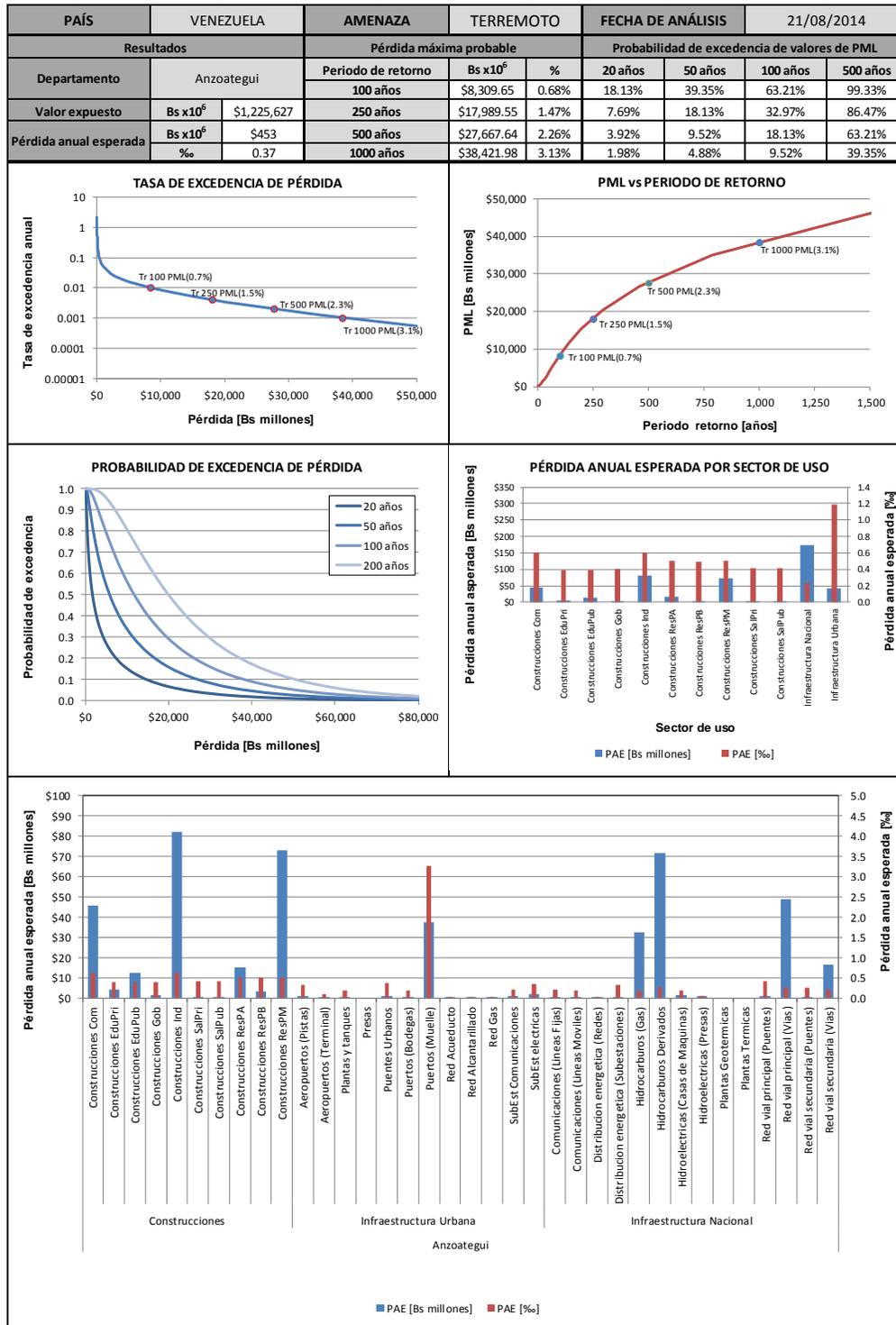
los cuales se deben generar valores aleatorios.

Tabla A2-1. Determinación de Patrones Sintéticos Espaciales

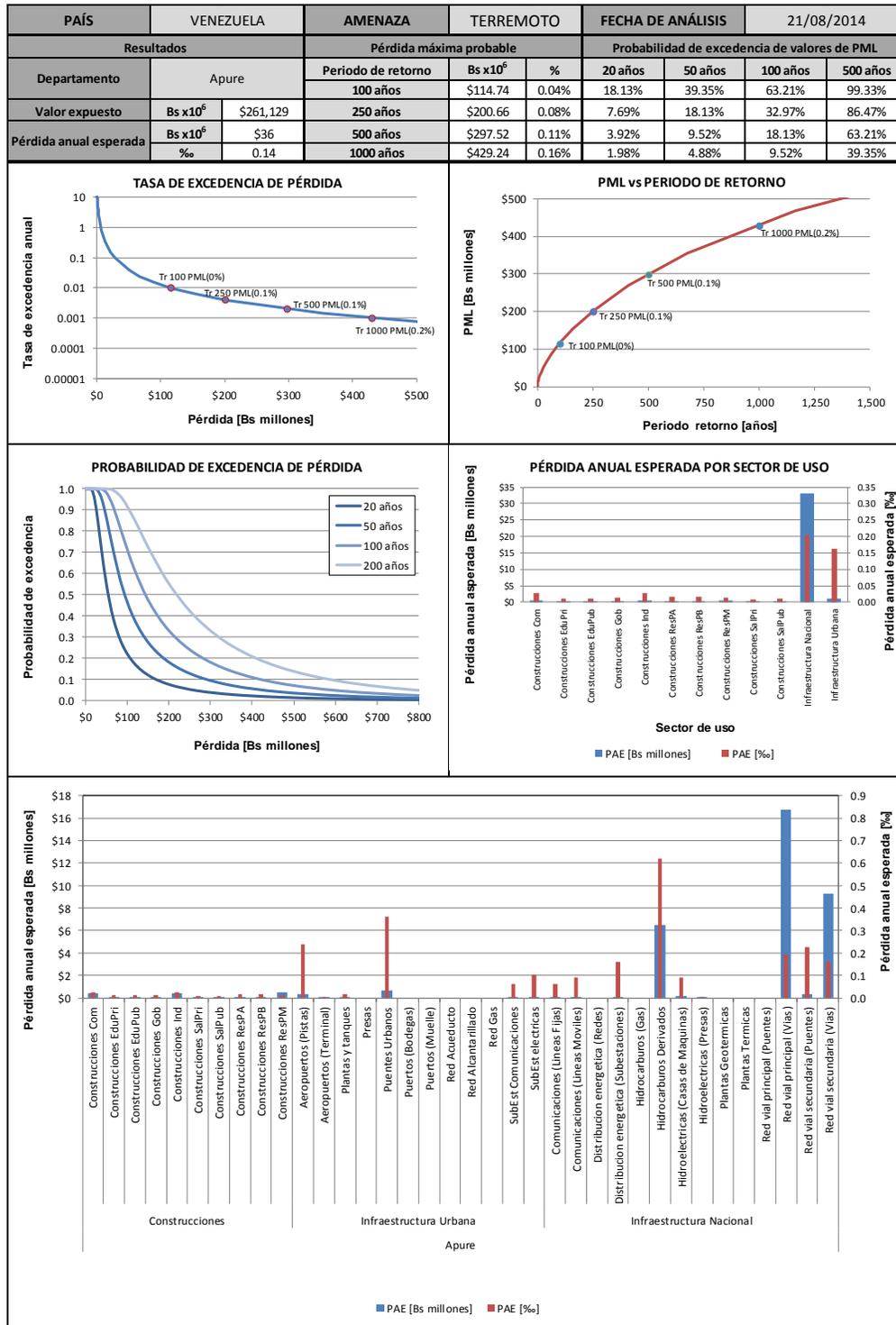
A_i	P_i	Valor Isoyeta, h_i	Semieje Menor a_i	Semieje Mayor b_i
A_1	P_1	$h_1 = P_1$	$a_1 = \left(\frac{A_1}{\pi K}\right)^{0.5}$	$b_1 = Ka_1$
A_2	P_2	$h_2 = \frac{2(P_2A_2 - P_1A_1)}{A_2 - A_1} - h_1$	$a_2 = \left(\frac{A_2}{\pi K}\right)^{0.5}$	$b_2 = Ka_2$
A_3	P_3	$h_3 = \frac{2(P_3A_3 - P_2A_2)}{A_3 - A_2} - h_2$	$a_3 = \left(\frac{A_3}{\pi K}\right)^{0.5}$	$b_3 = Ka_3$
...
A_n	P_n	$h_n = \frac{2(P_nA_n - P_{n-1}A_{n-1})}{A_n - A_{n-1}} - h_{n-1}$	$a_n = \left(\frac{A_n}{\pi K}\right)^{0.5}$	$b_n = Ka_n$

Anexo 3
Resultados por Entidades Subnacionales

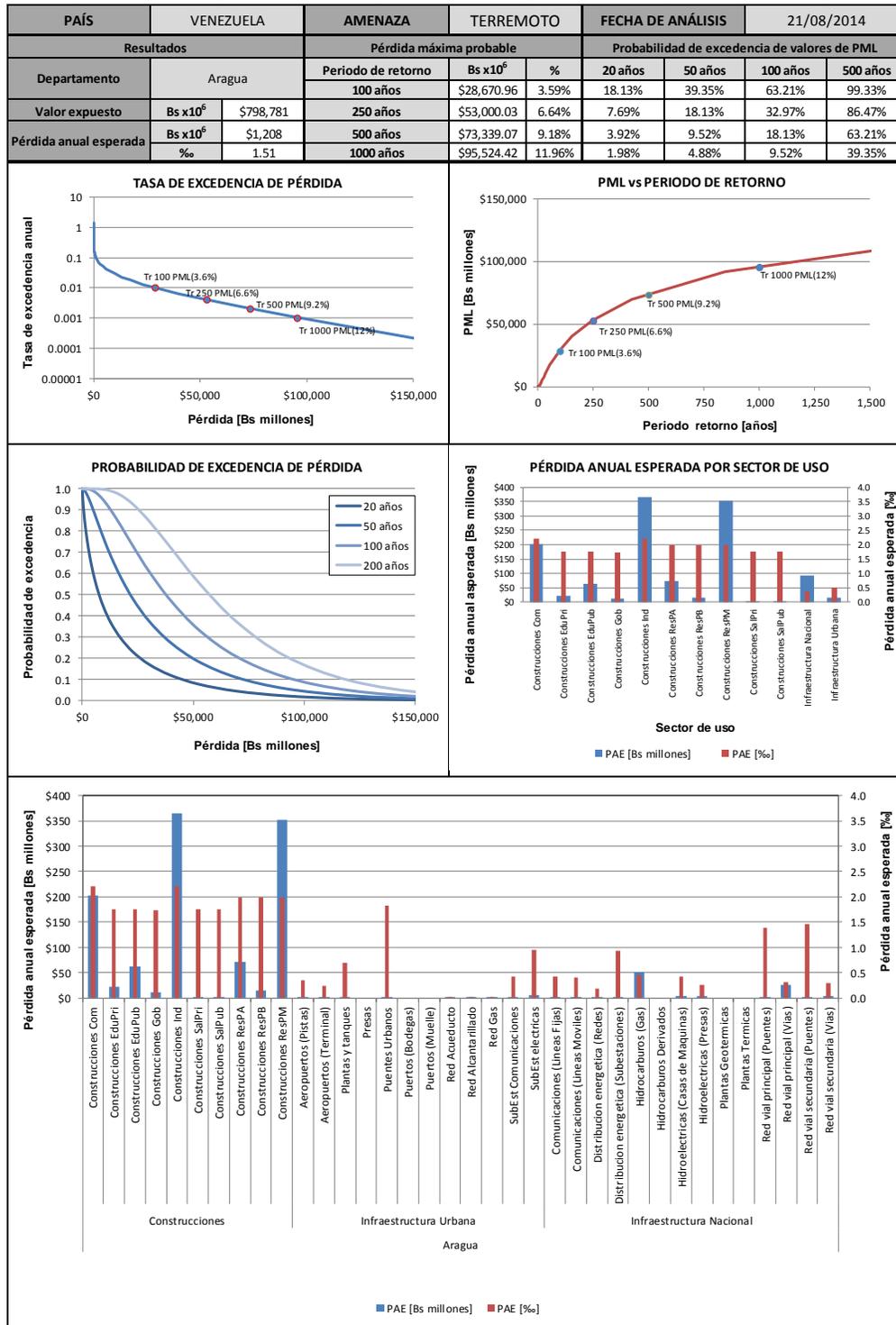
A3- 1. Resultados de Terremoto para Anzoátegui



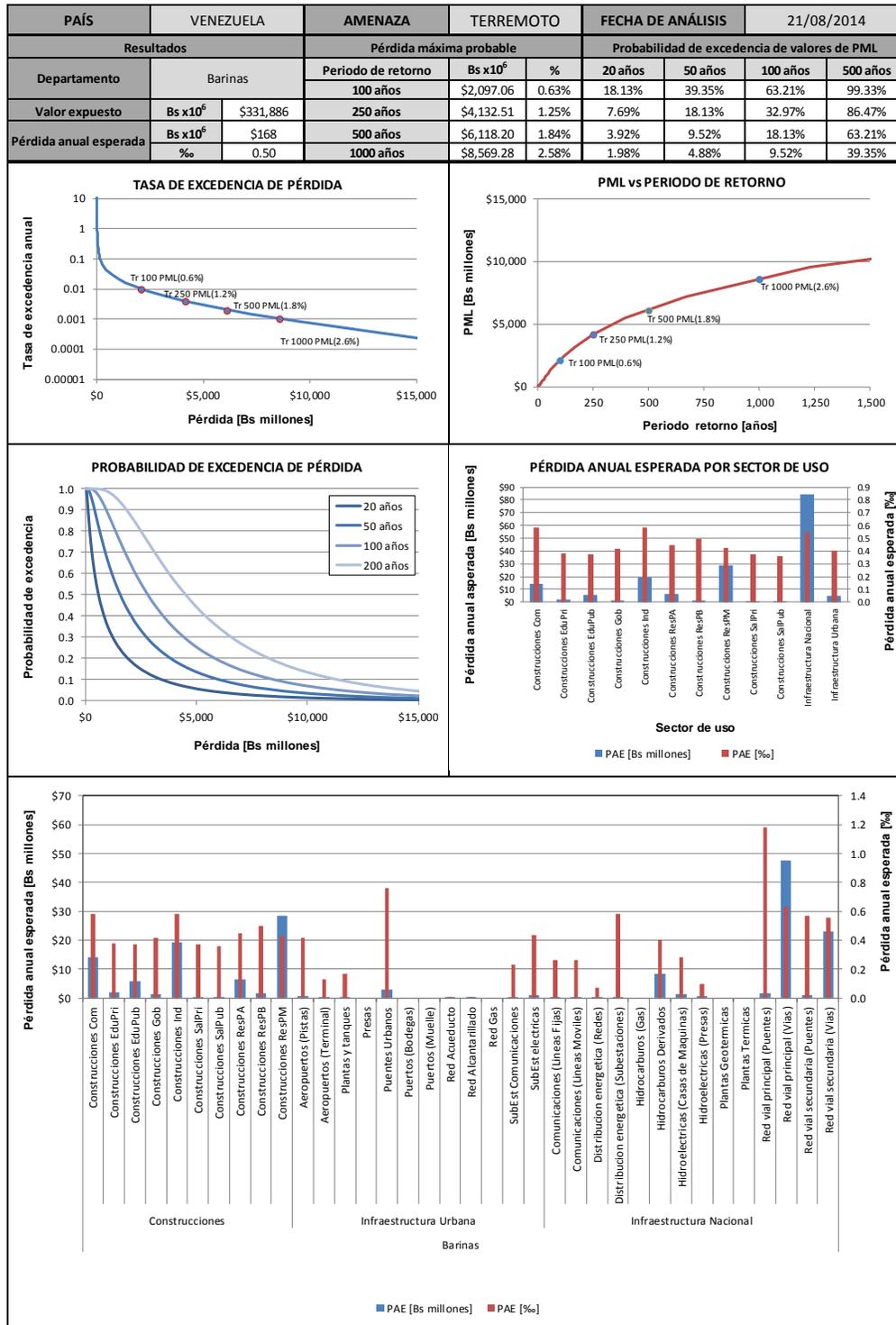
A3- 2. Resultados de Terremoto para Apure



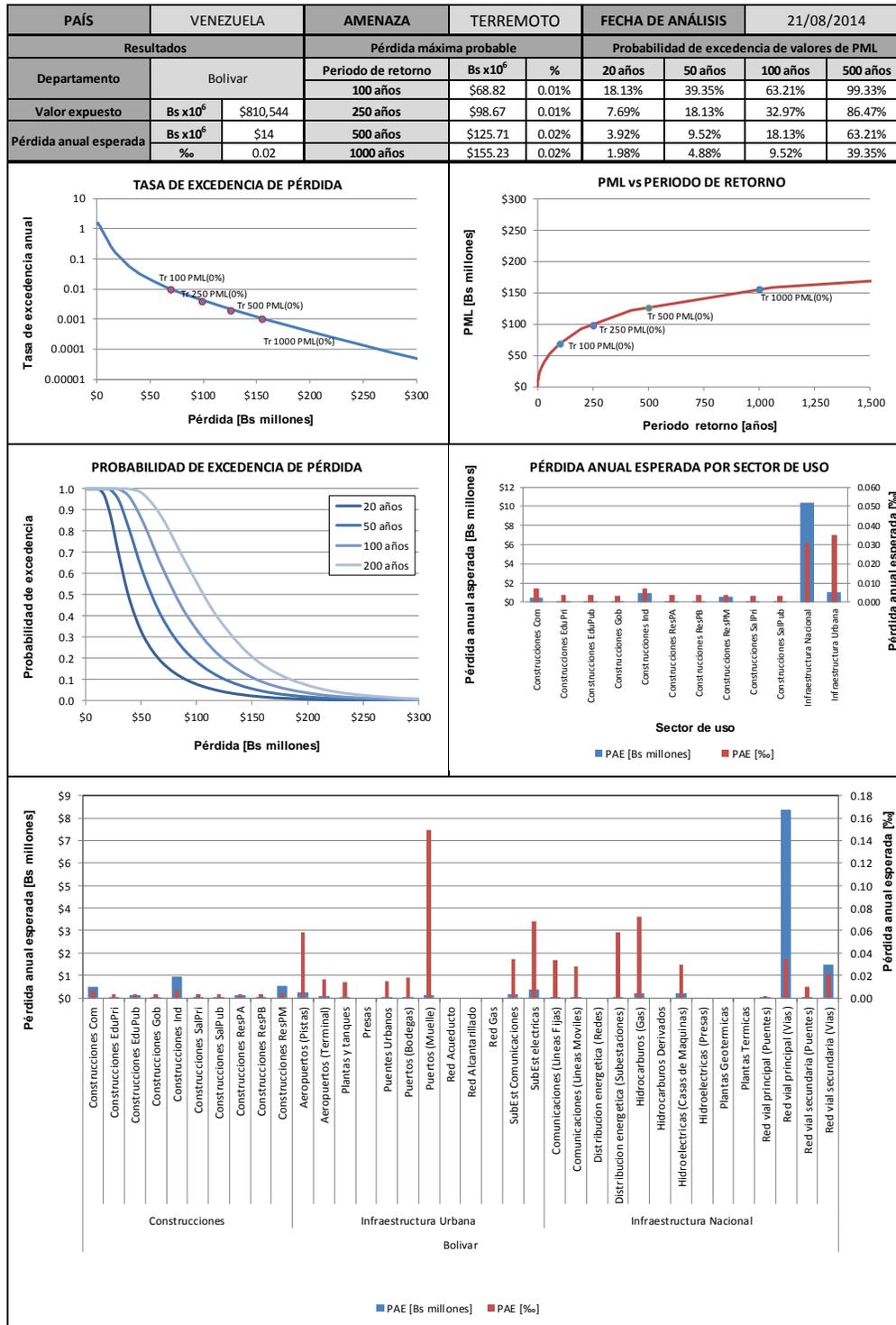
A3-3. Resultados de Terremoto para Aragua



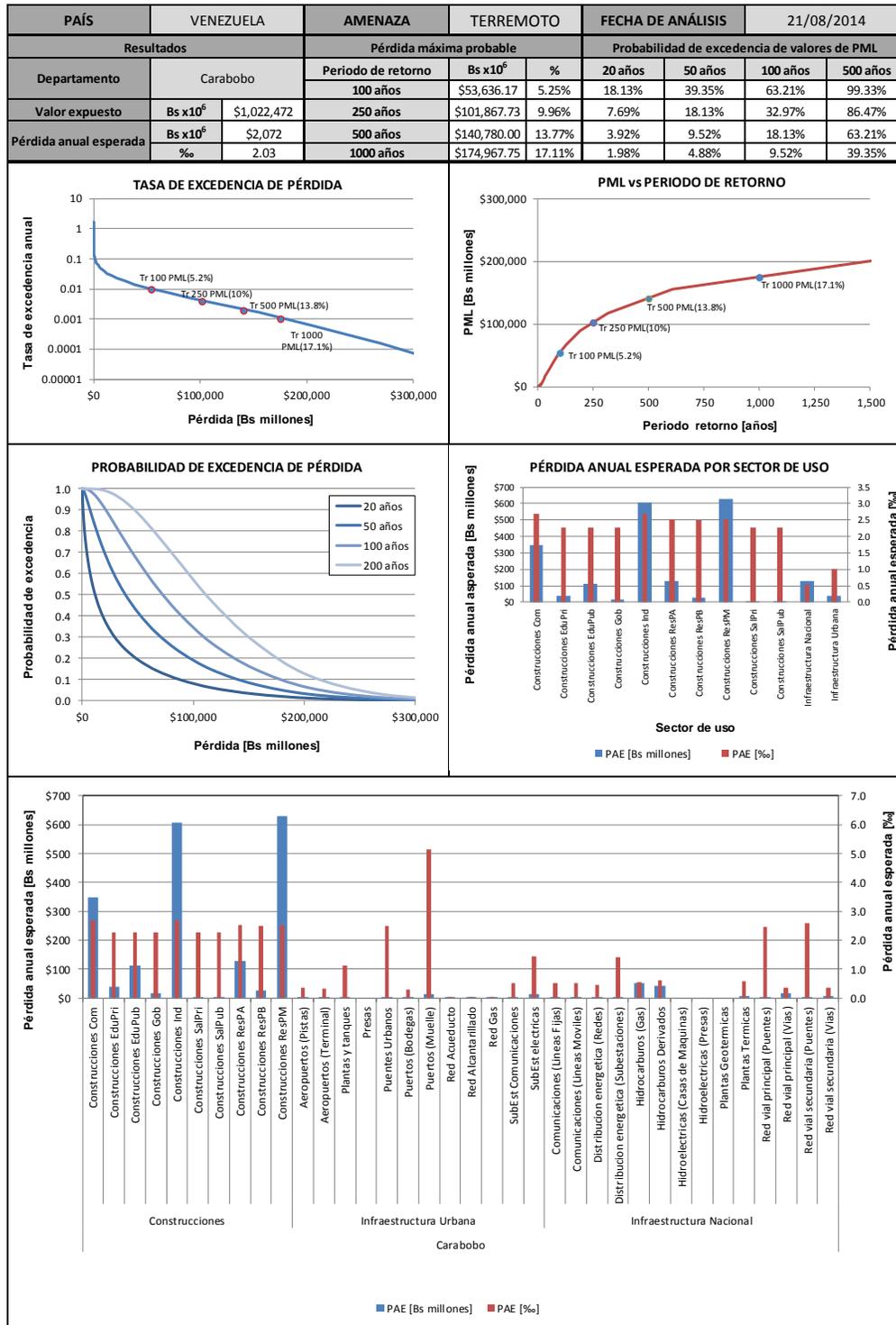
A3-4. Resultados de Terremoto para Barinas



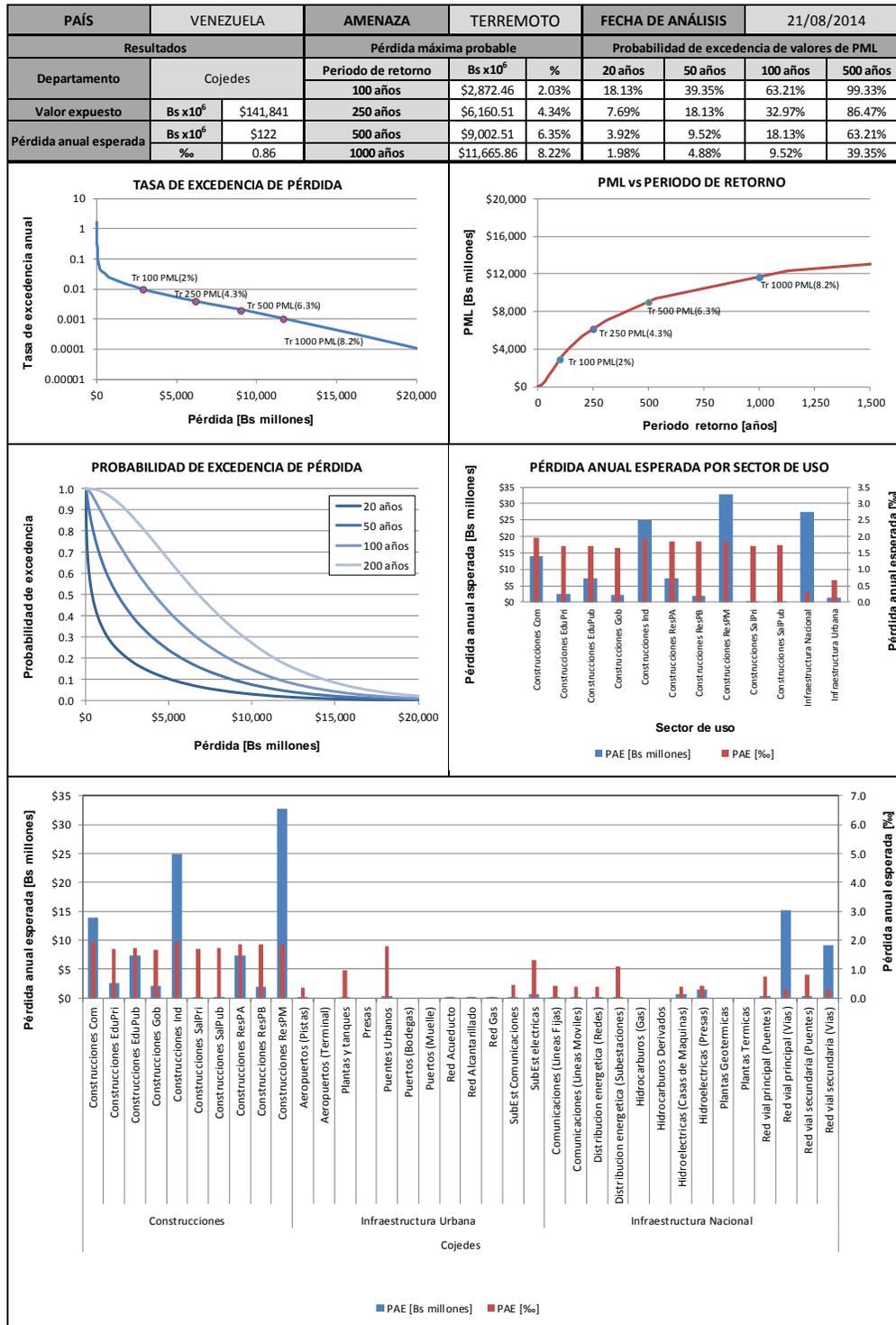
A3-5. Resultados de Terremoto para Bolívar



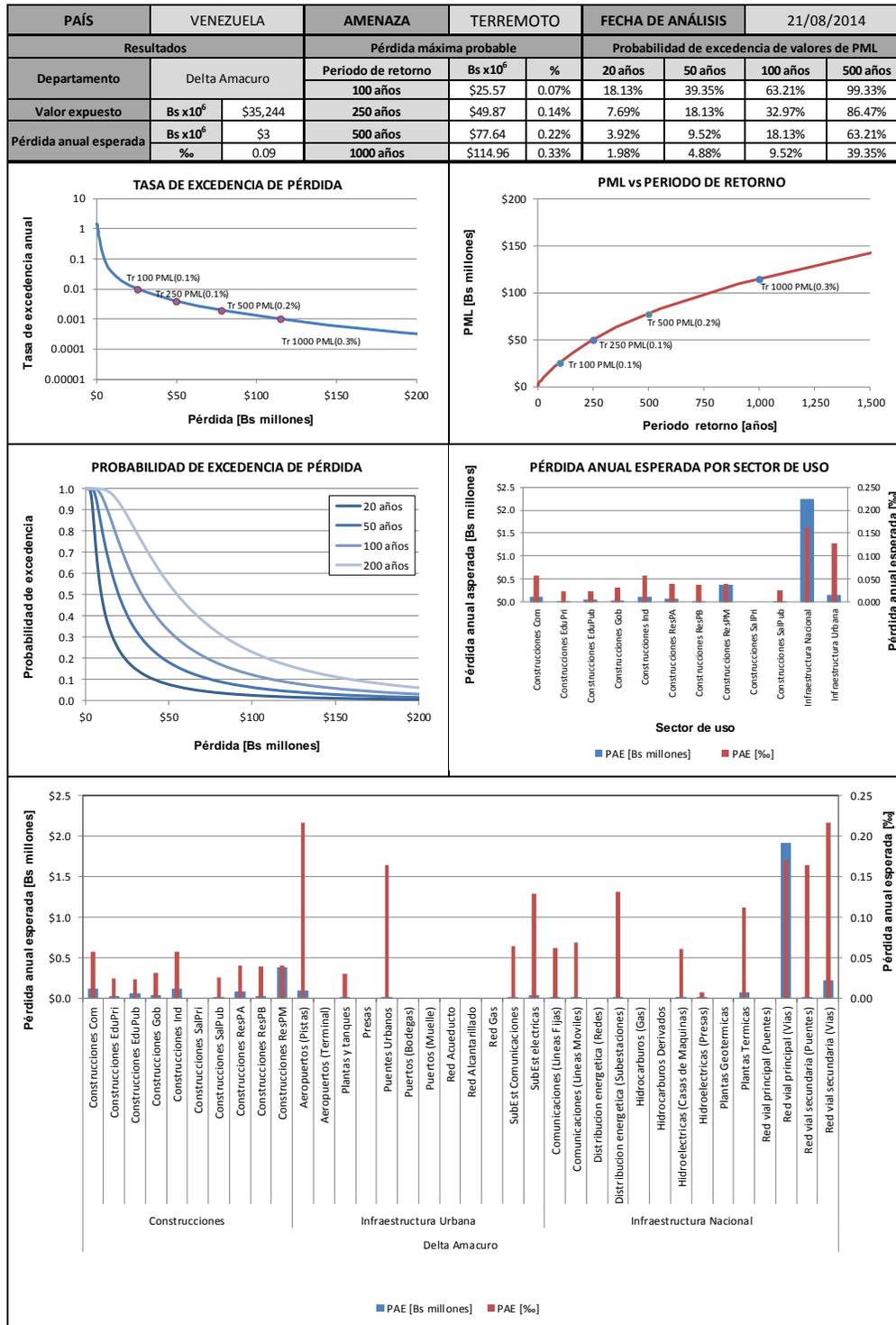
A3-6. Resultados de Terremoto para Carabobo



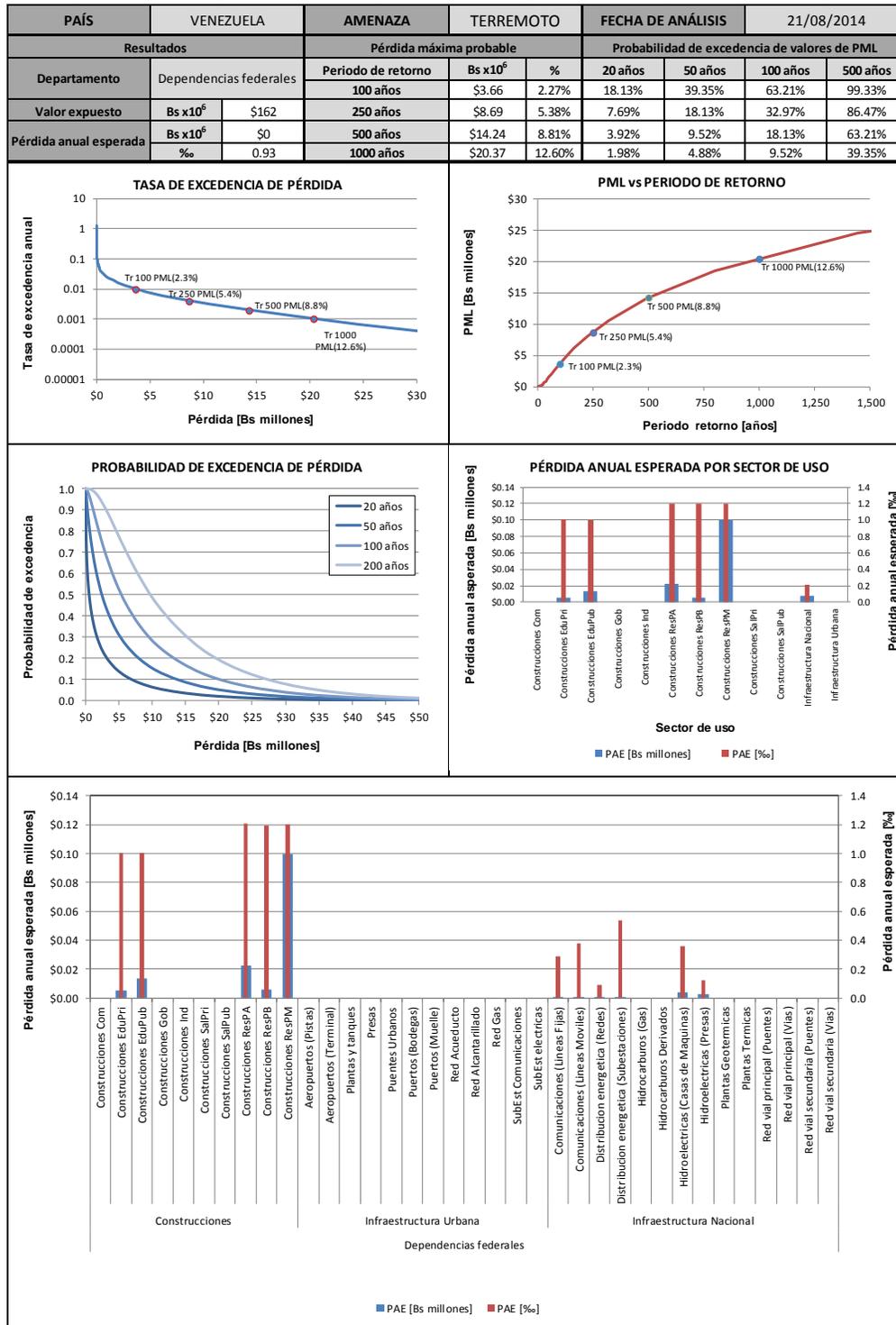
A3-7. Resultados de Terremoto para Cojedes



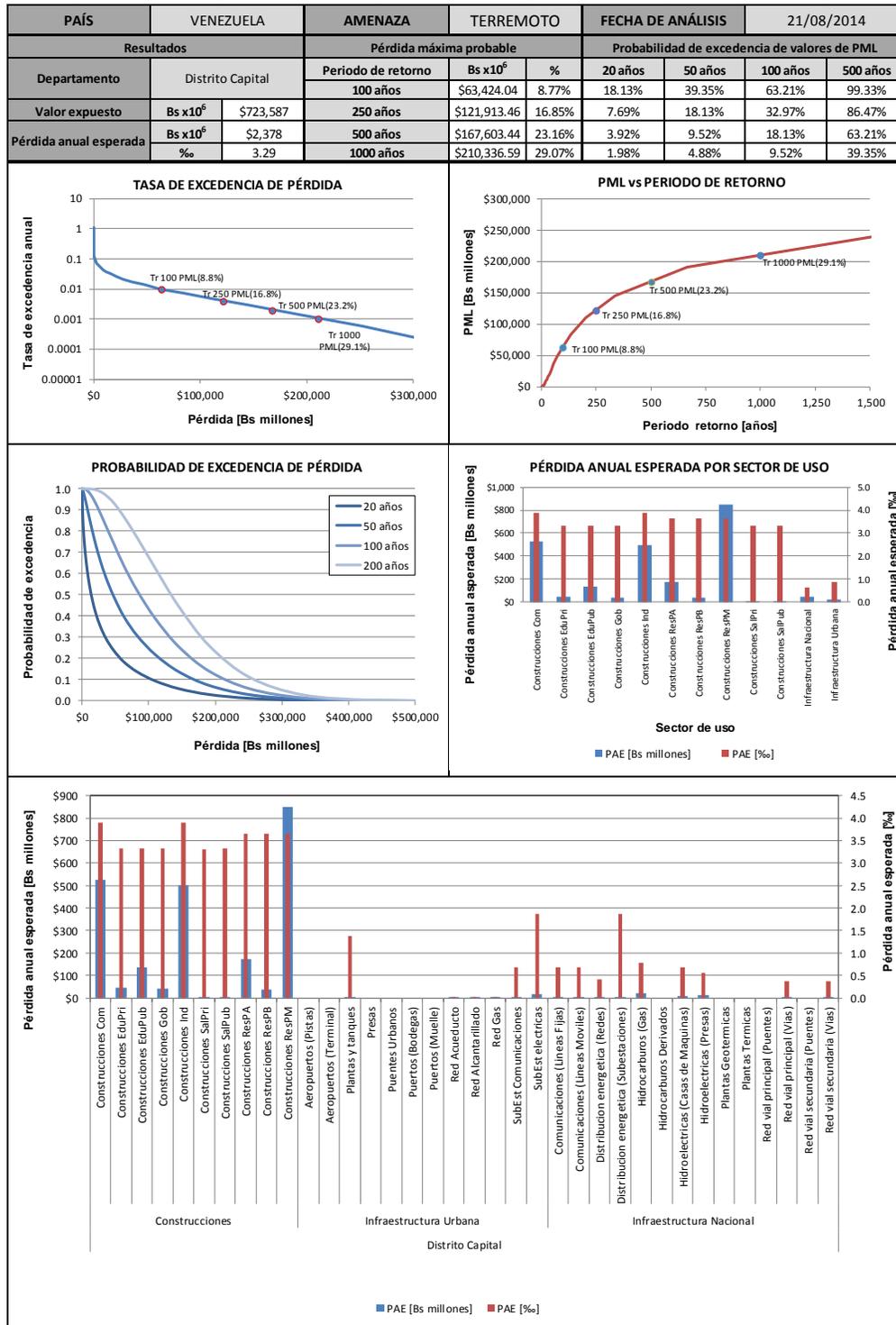
A3-8. Resultados de Terremoto para Delta Amacuro



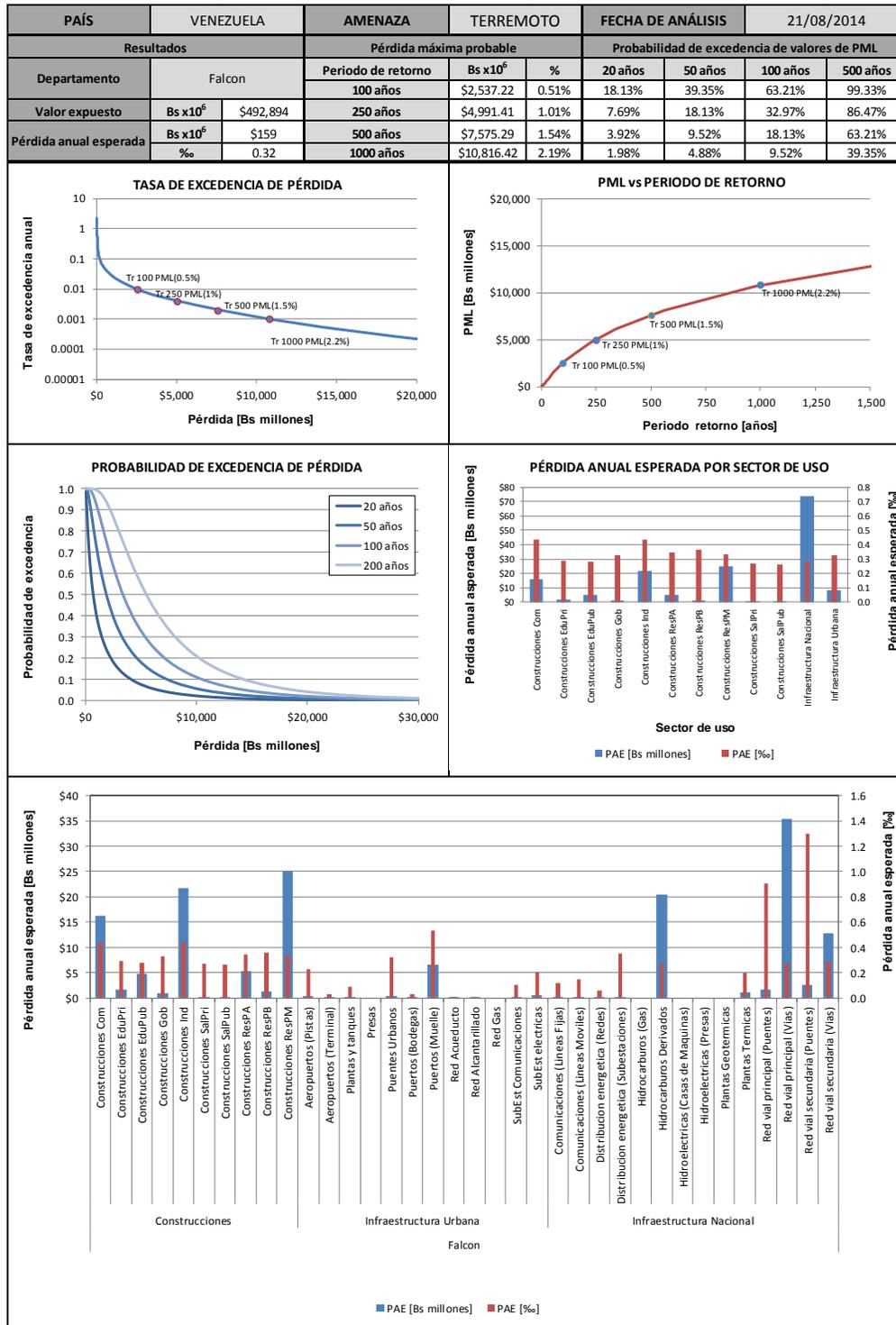
A3-9. Resultados de Terremoto para Dependencias Federales



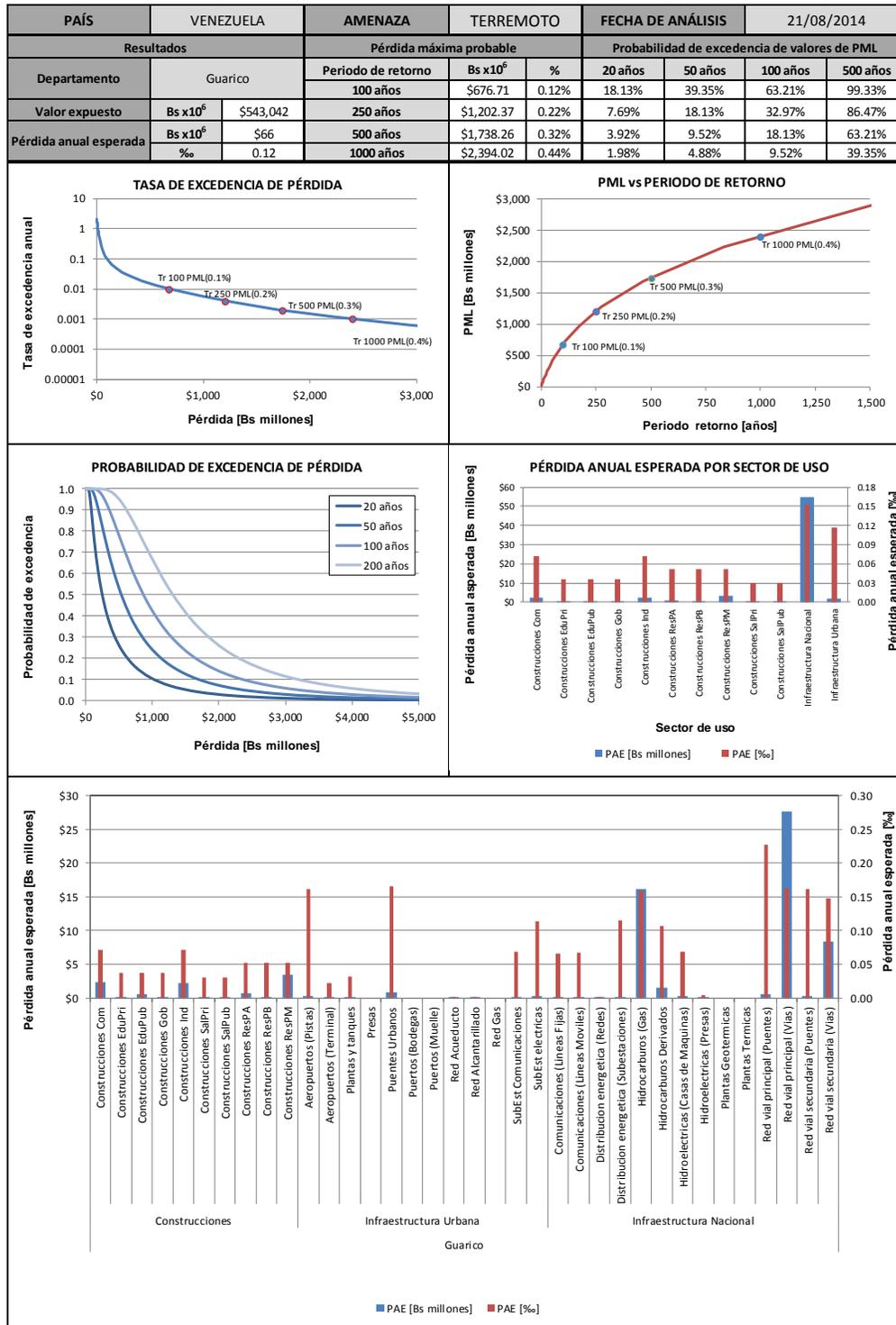
A3- 10. Resultados de Terremoto para Distrito Capital



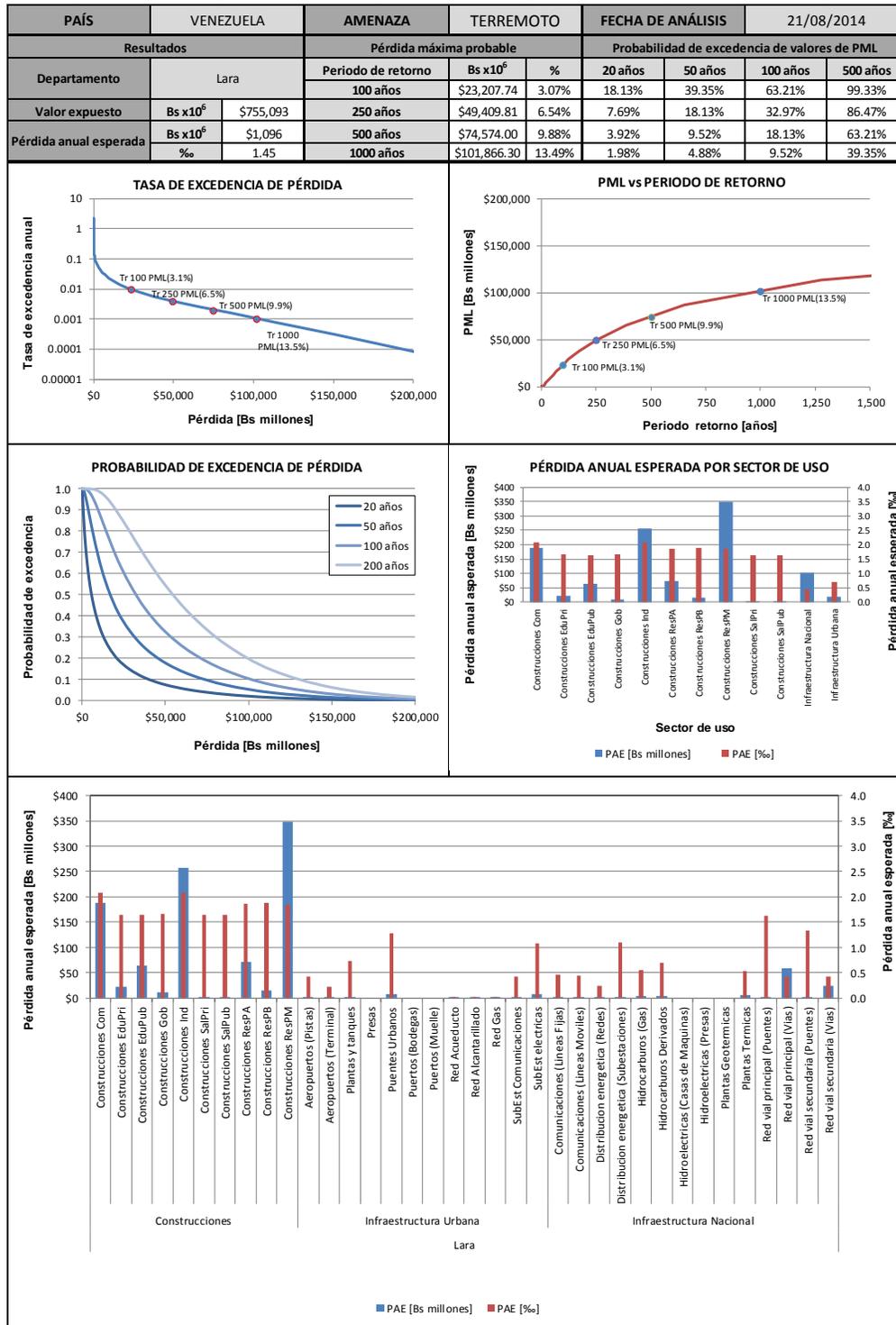
A3- 11. Resultados de Terremoto para Falcón



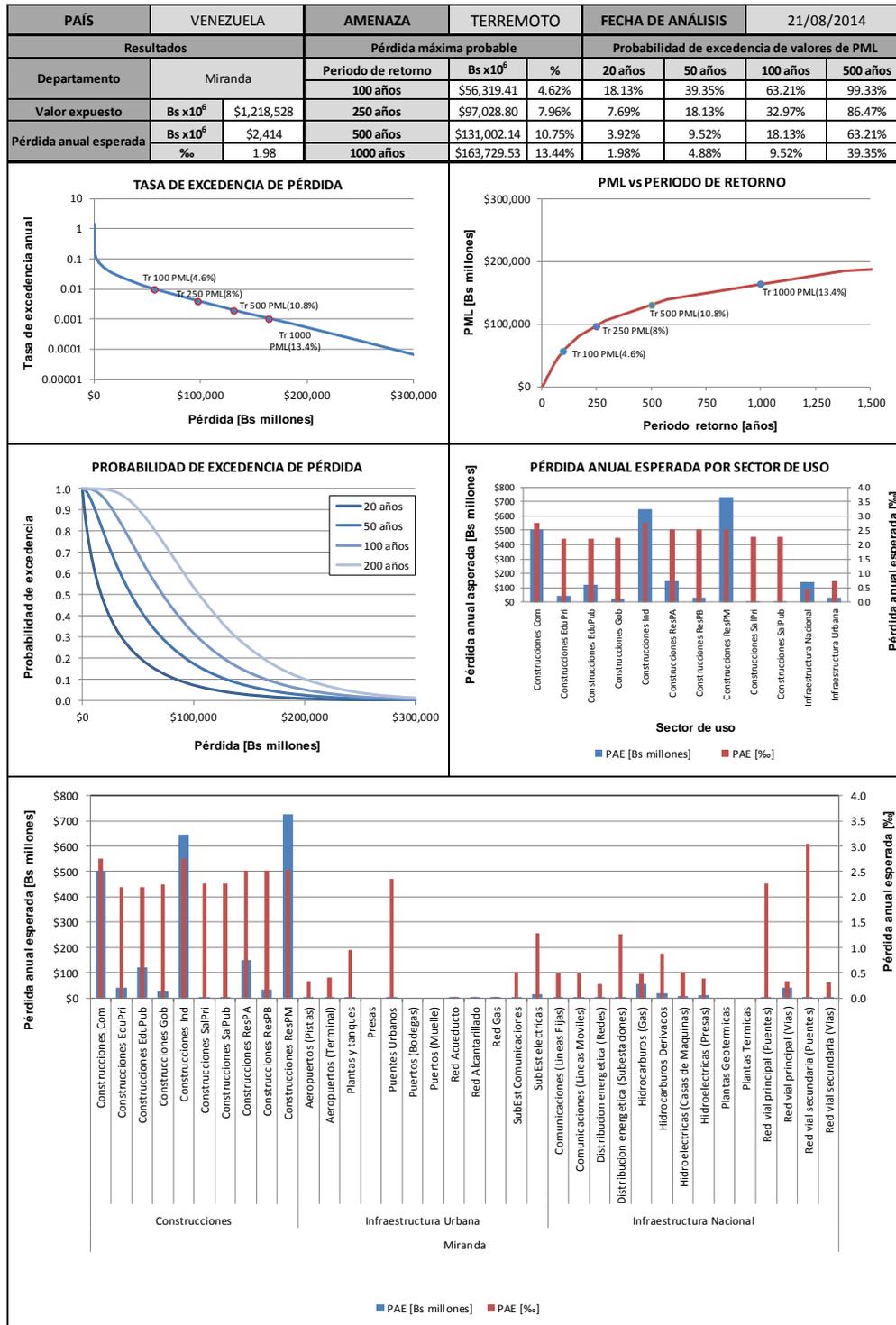
A3-12. Resultados de Terremoto para Guárico



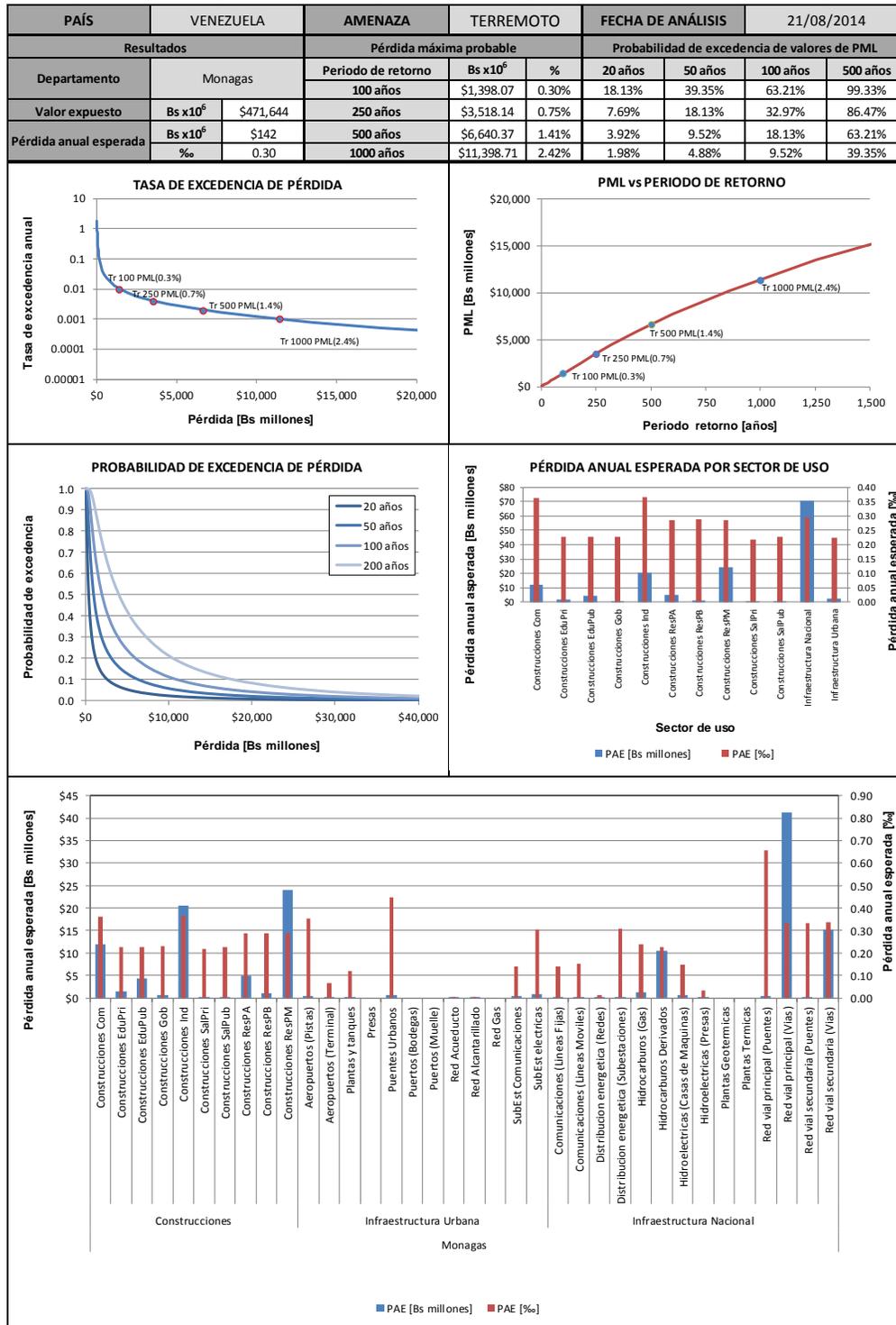
A3-13. Resultados de Terremoto para Lara



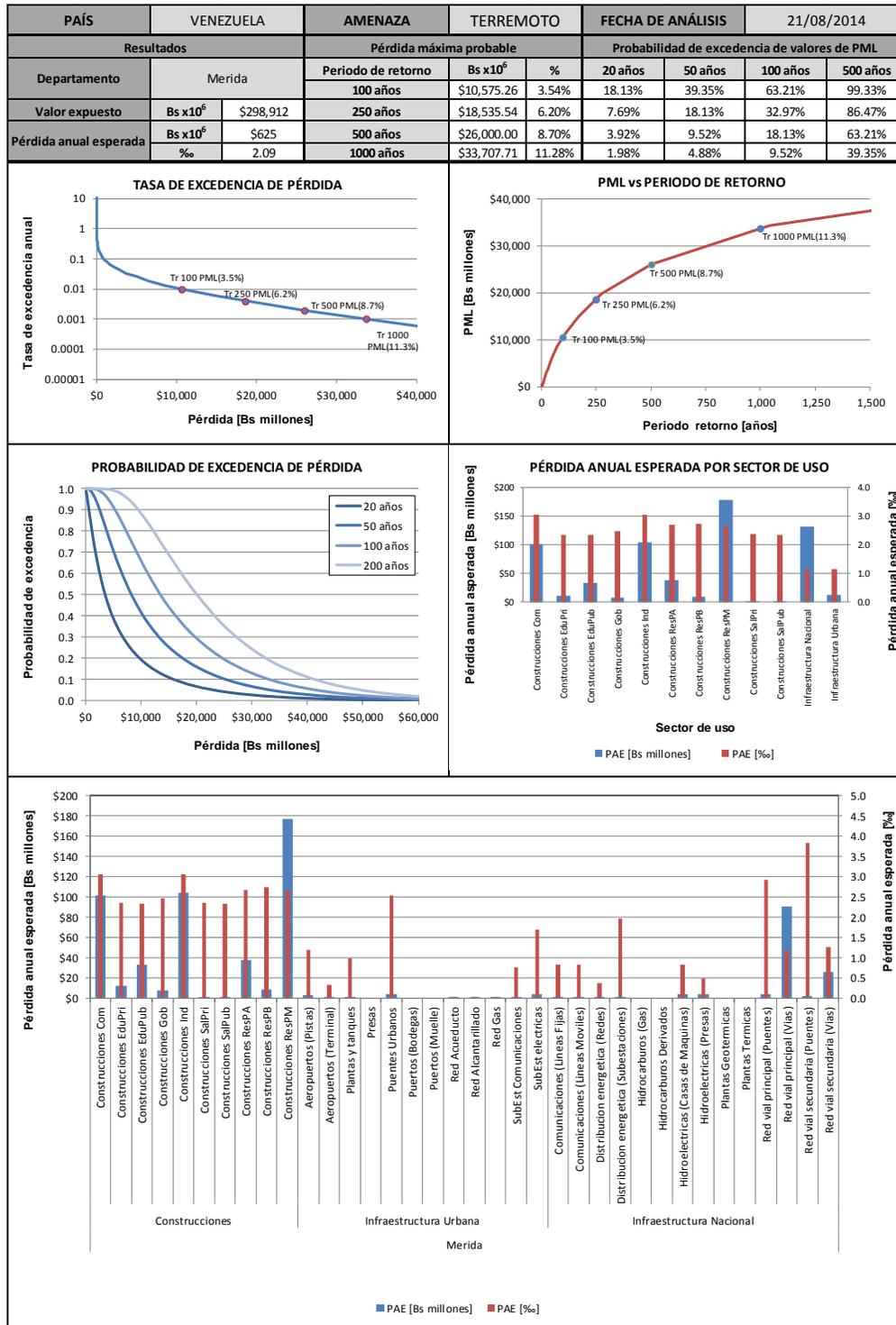
A3-14. Resultado de Terremoto para Miranda



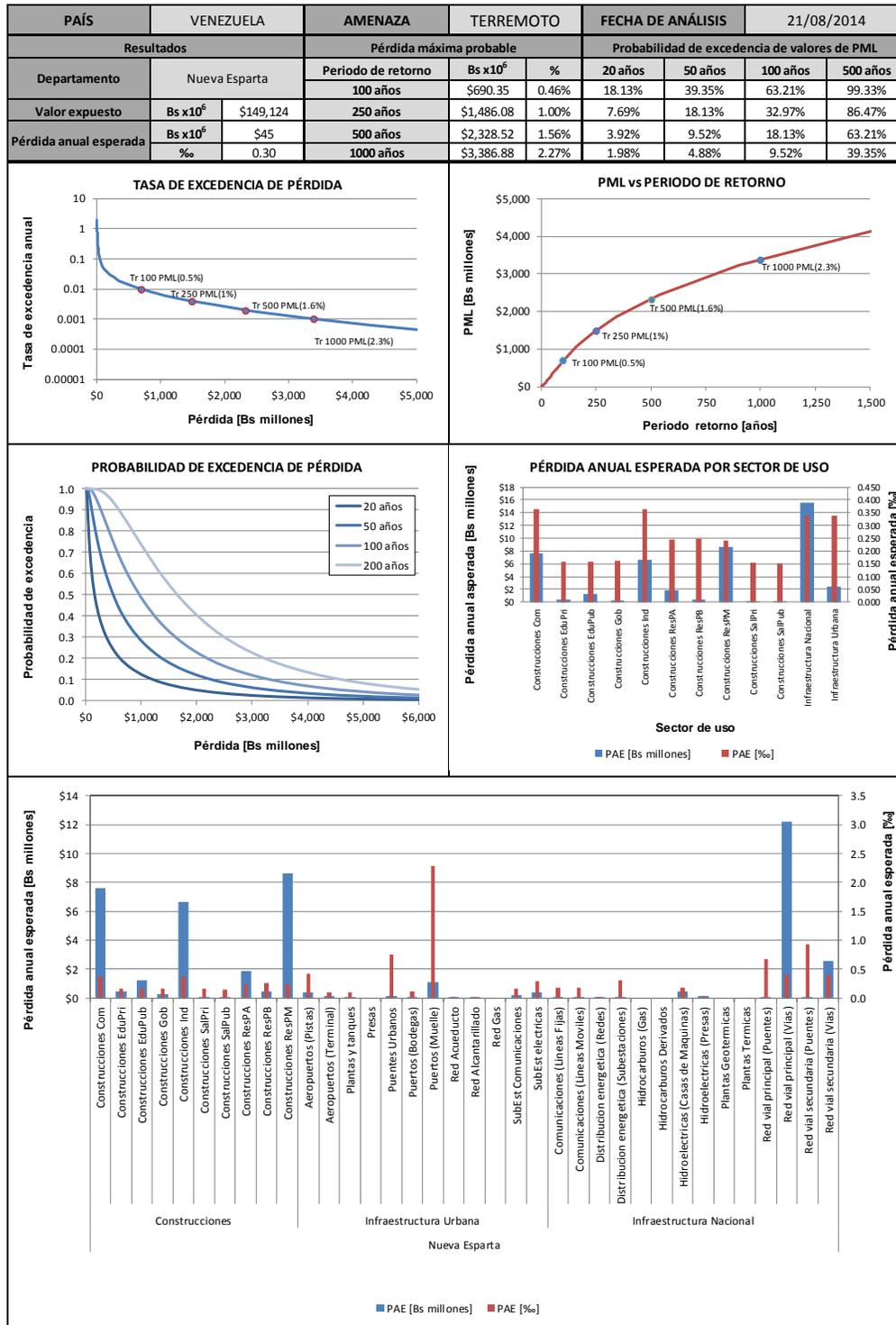
A3- 15. Resultados de Terremoto para Monagas



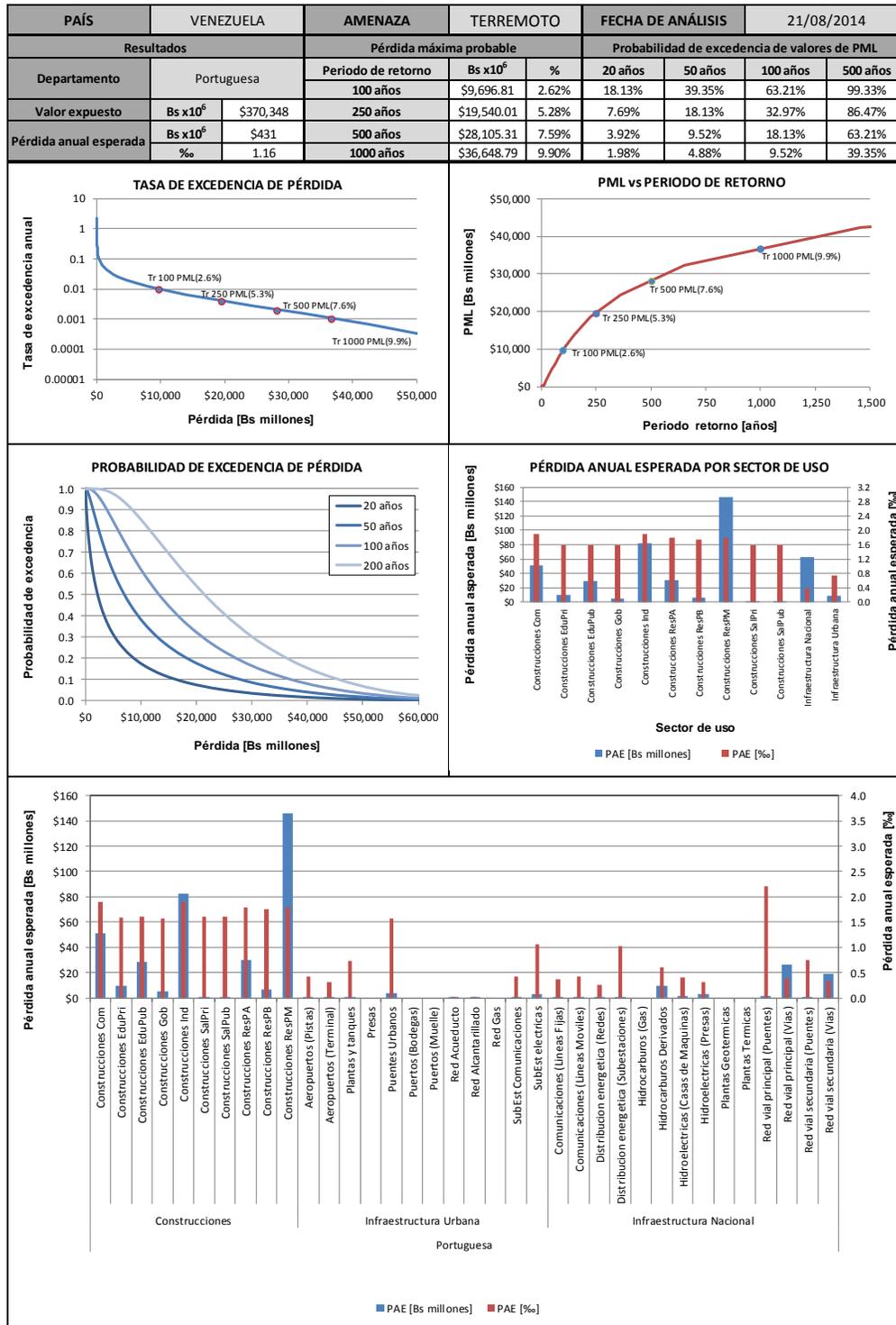
A3- 16. Resultados de Terremoto para Mérida



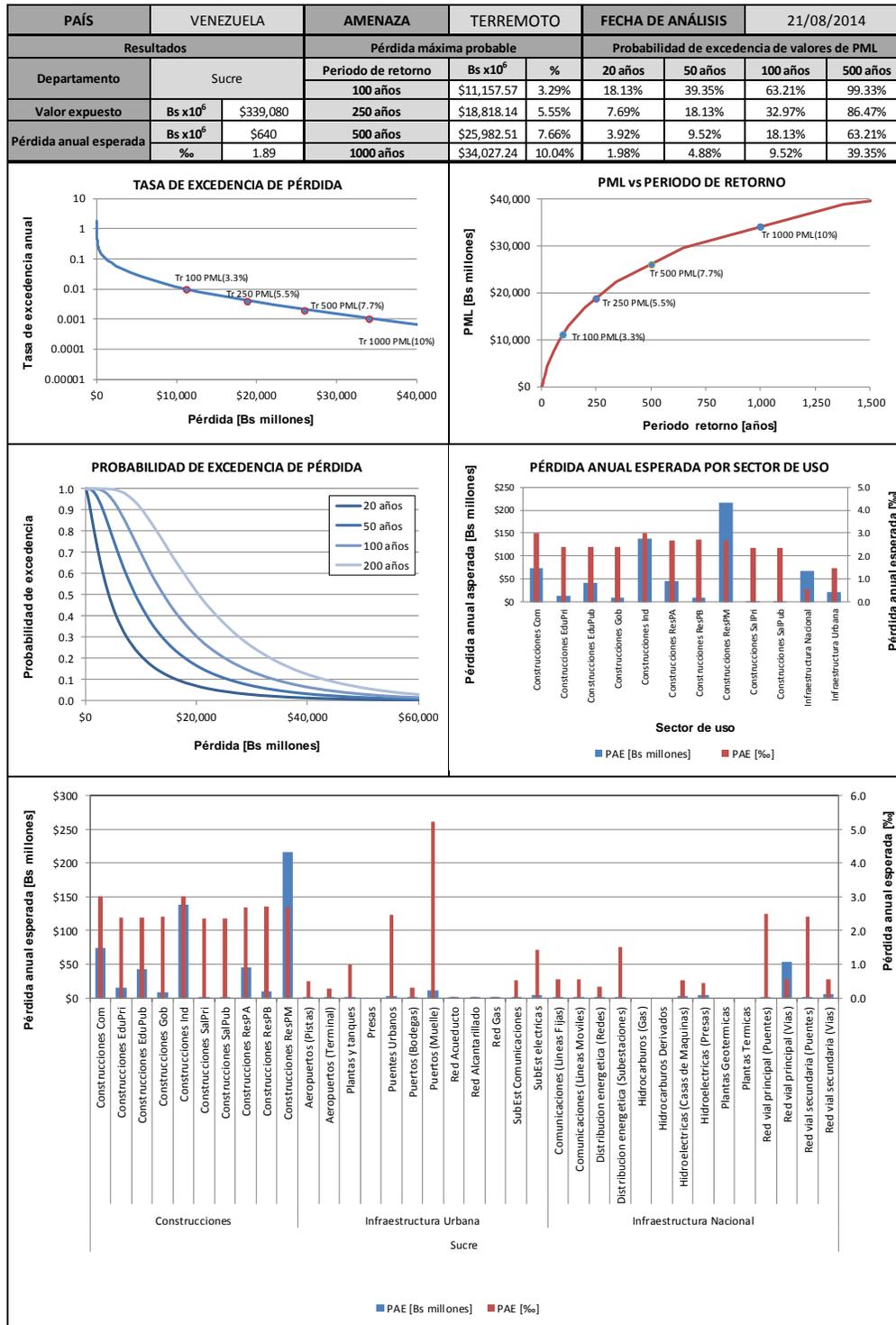
A3- 17. Resultados de Terremoto para Nueva Esparta



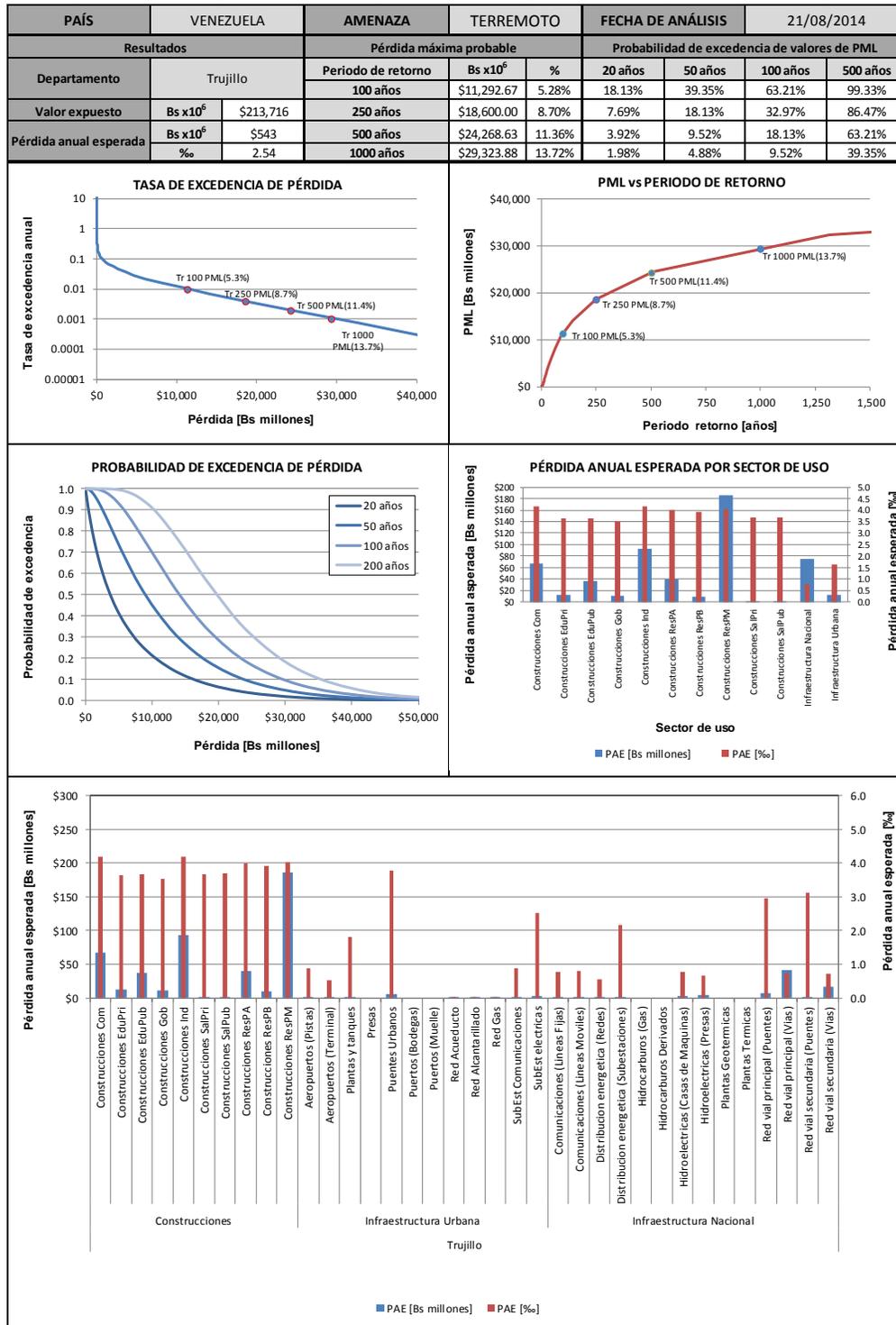
A3- 18. Resultados de Terremoto para Portuguesa



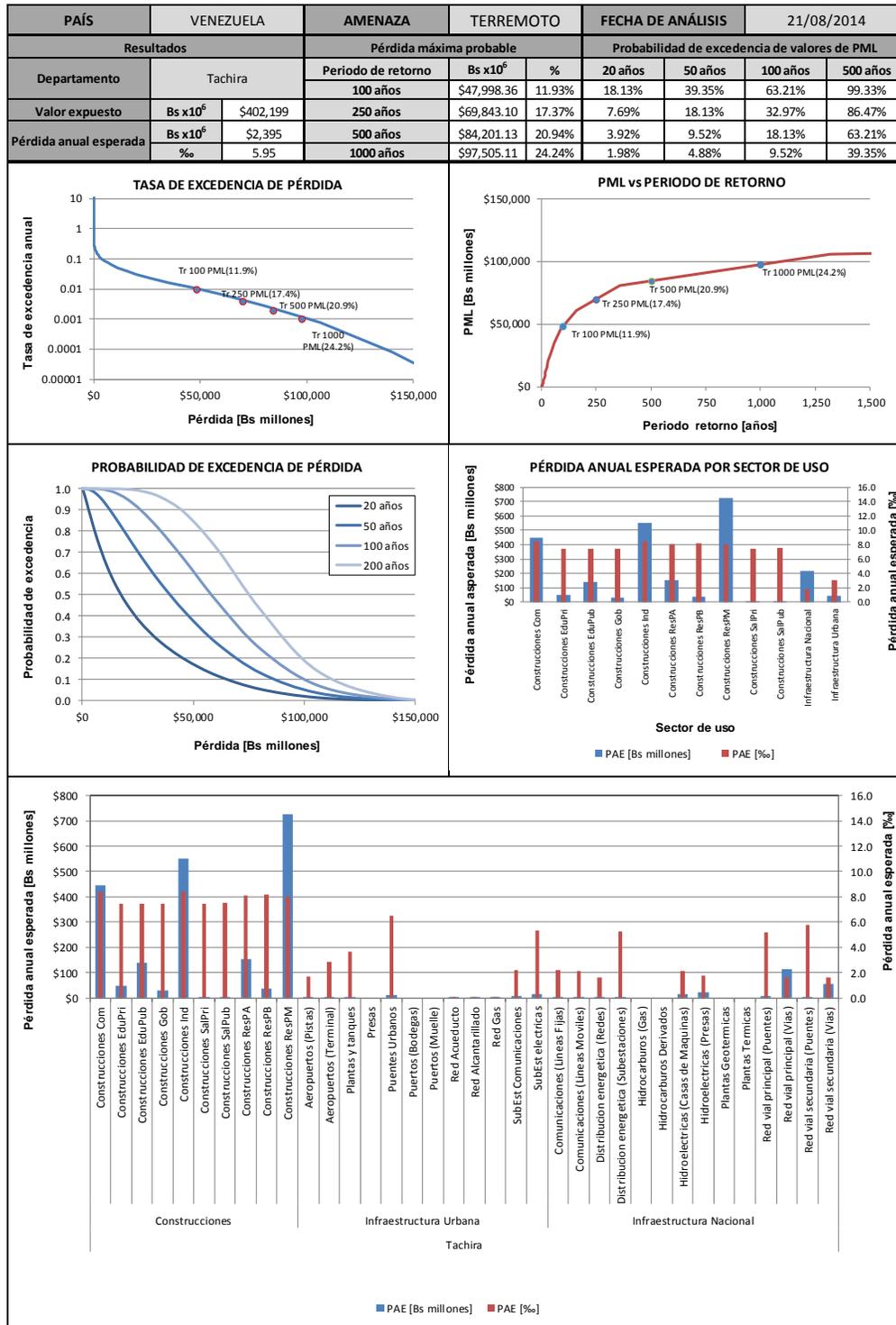
A3- 19. Resultados de Terremoto para Sucre



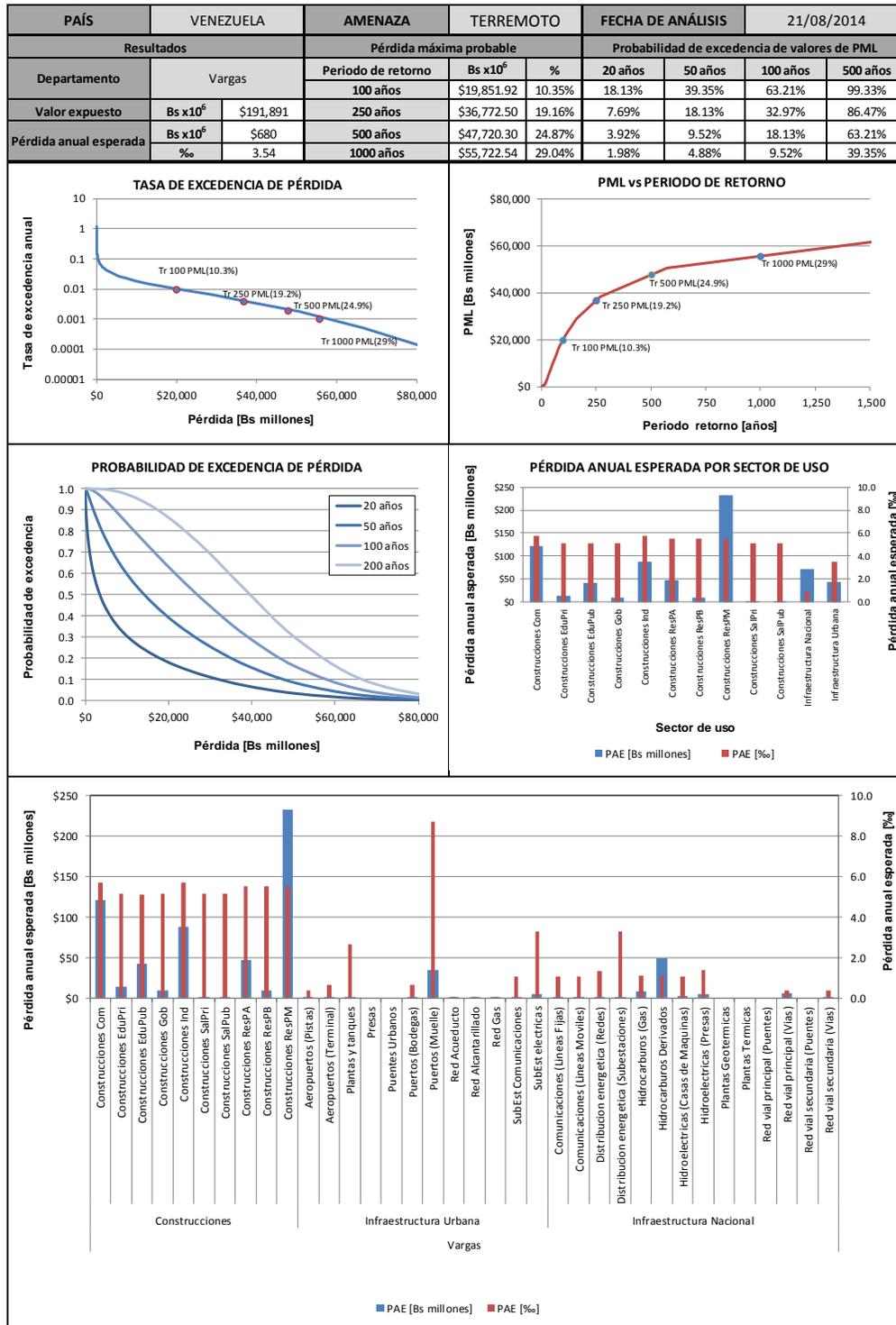
A3- 20. Resultados de Terremoto para Trujillo



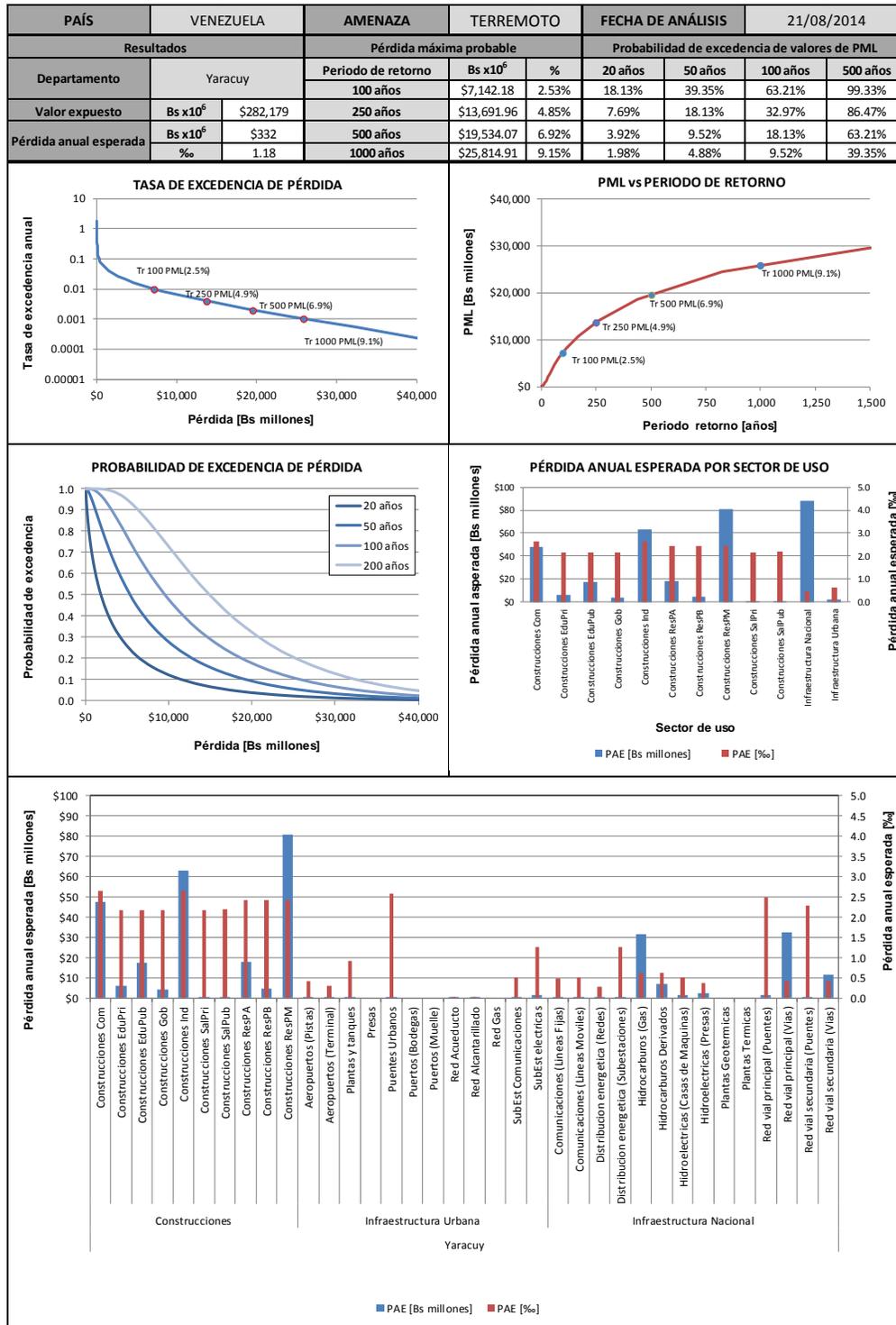
A3-21. Resultados de Terremoto para Táchira



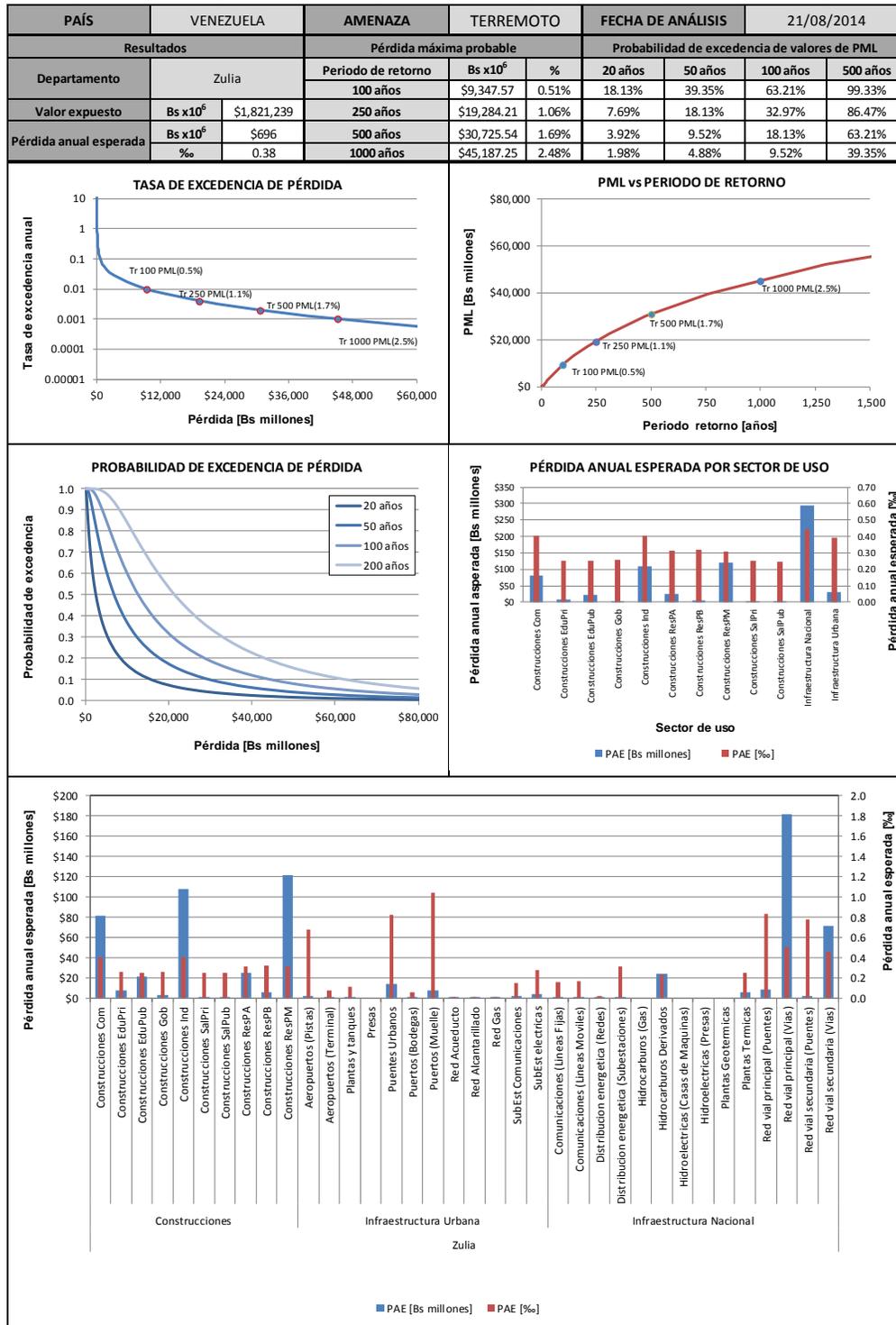
A3-22. Resultados de Terremoto para Vargas



A3-23. Resultados de Terremoto para Yaracuy



A3-24. Resultados de Terremoto para Zulia

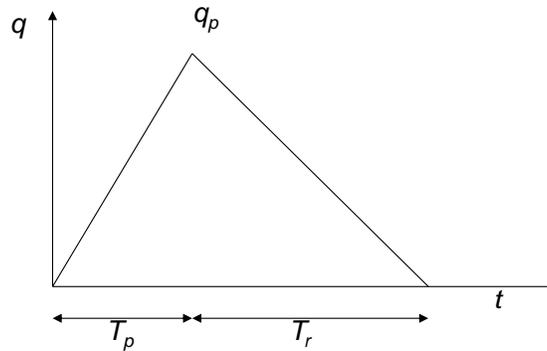


Anexo 4
Hidrograma Unitario Triangular

A4.1 Introducción

Para determinar el hidrograma a la salida de la cuenca tributaria, se emplea el método del hidrograma unitario triangular. Se selecciona un punto a partir del cual se llevará a cabo el análisis hidráulico de la inundación.

Figura A4-1. Modelo de Hidrograma Unitario Triangular



El caudal pico se estima como:

$$Q_p = 0.566 \frac{hpeA}{nT_p} \quad \text{(Ec. 8)}$$

donde,

$$T_p = \frac{T_c}{2} + 0.6T_c \quad \text{para cuencas pequeñas} \quad \text{(Ec. 9)}$$

$$T_p = \sqrt{T_c} + 0.6T_c \quad \text{para cuencas grandes} \quad \text{(Ec. 10)}$$

$$n = 2 + \frac{A - 250}{1583.3} \quad \text{para cuencas donde } A \leq 250 \text{ km}^2 \text{ entonces } n = 2.0 \quad \text{(Ec. 11)}$$

$$T_b = n T_p \quad ; \quad T_b = T_p + T_r \quad \text{(Ec. 12)}$$

en donde hpe es la lámina de lluvia efectiva en mm, A el área de la cuenca en km^2 , T_c el tiempo de concentración en horas, T_p el tiempo pico en horas, T_r el tiempo de retraso en horas, T_b el tiempo base en horas y n el factor de corrección por área.

El hidrograma de escurrimiento directo se calcula al multiplicar cada una de las ordenadas del hidrograma unitario triangular por la lluvia efectiva, hpe , expresada en mm.

El tiempo de concentración puede calcularse aplicando la ecuación de Kirpich, la cual se expresa como:

$$t_c = 0.0003245 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.77} \quad \text{(Ec. 13)}$$

en donde t_c es el tiempo de concentración en horas, L es la longitud del cauce principal en m y S es la pendiente media del cauce principal.

Con la información del cauce y la topografía general se obtiene la pendiente media del cauce empleado el método de Taylor-Schwarz:

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad \text{(Ec. 14)}$$

En donde la longitud del cauce principal L se divide en n número de segmentos de longitud l y para cada uno de ellos se calcula su pendiente S .

La quebrada Chacaito, aplicando las ecuaciones presentadas anteriormente, tiene una pendiente media de 0.037, y un tiempo de concentración de 27 minutos.

A4.2 Amenaza por Inundación

La inundación se calcula para el tramo más aguas debajo de la quebrada Chacaito, comprendido entre la cota 1000 msnm y su desembocadura en el río Guaire. La modelación hidráulica de este tramo se realizó con el programa HEC-RAS, el cual implementa un modelo de análisis hidráulico unidimensional. A partir de la topografía de la zona de análisis, se determinaron las secciones transversales a lo largo del cauce.

A4.3 Modelación Hidráulica Unidimensional

El objetivo del análisis unidimensional es la solución de los perfiles de profundidad de agua en secciones transversales a lo largo del cauce de un río. Se asume flujo permanente, gradualmente variado y unidimensional.

La ecuación de energía, para dos secciones transversales adyacentes, ST1 y ST2, es

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (\text{Ec. 15})$$

en donde Y_1 y Y_2 son la profundidad del agua en las secciones ST1 y ST2 respectivamente, Z_1 y Z_2 son las elevaciones del canal en ST1 y ST2, V_1 y V_2 son las velocidades promedio del flujo (la descarga total dividida por el área total), α_1 y α_2 son coeficientes de ponderación, g es la aceleración de la gravedad y h_e es la cabeza de pérdida de energía. El término de la cabeza de pérdida de energía se define como,

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (\text{Ec. 16})$$

en donde L es la distancia ponderada entre secciones transversales, S_f es la pendiente representativa de fricción entre las secciones transversales y C es un coeficiente de expansión o contracción. La distancia ponderada y la pendiente representativa de fricción se determinan como,

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (\text{Ec. 17})$$

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (\text{Ec. 18})$$

en donde L_{lob} , L_{ch} y L_{rob} son las distancias en la orilla izquierda, canal principal y orilla derecha, disponibles para el flujo entre las secciones, respectivamente. Q_{lob} , Q_{ch} y Q_{rob} son los caudales promedio entre secciones para la a orilla izquierda, canal principal y

orilla derecha, respectivamente, K_1 y K_2 son las conducciones de las secciones transversales.

El cálculo de la conducción y el caudal de una sección transversal, se realiza para cada subdivisión dentro de la sección (orilla izquierda, canal principal, orilla derecha), como,

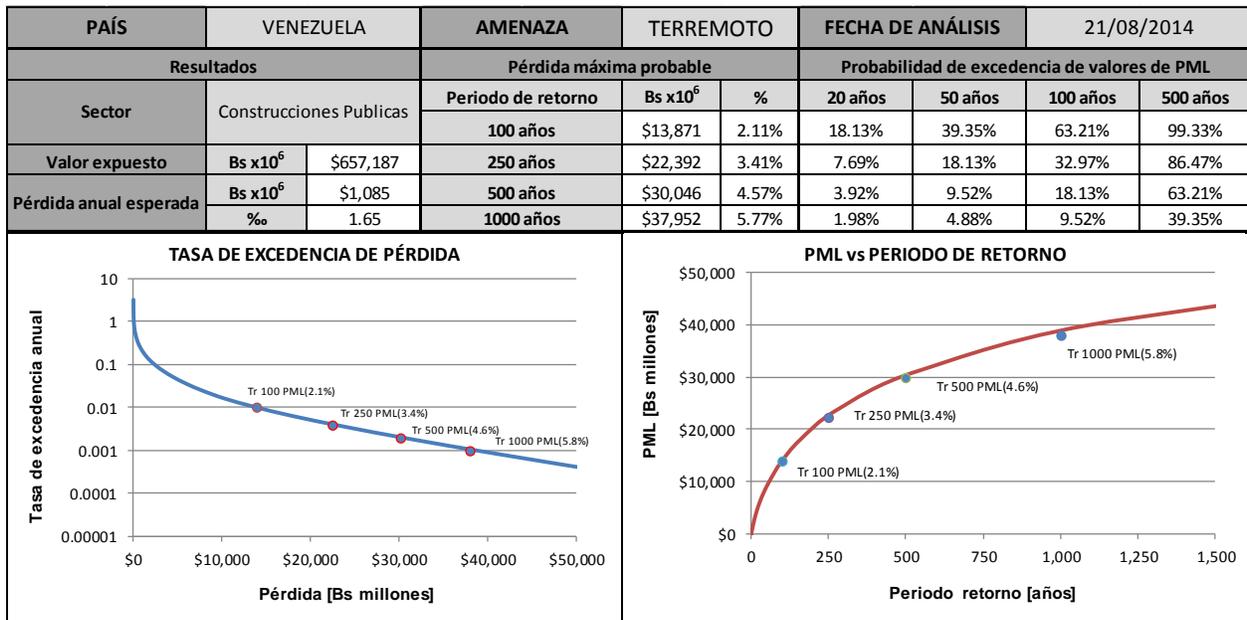
$$Q = K \sqrt{S_f} \quad \text{(Ec. 19)}$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad \text{(Ec. 20)}$$

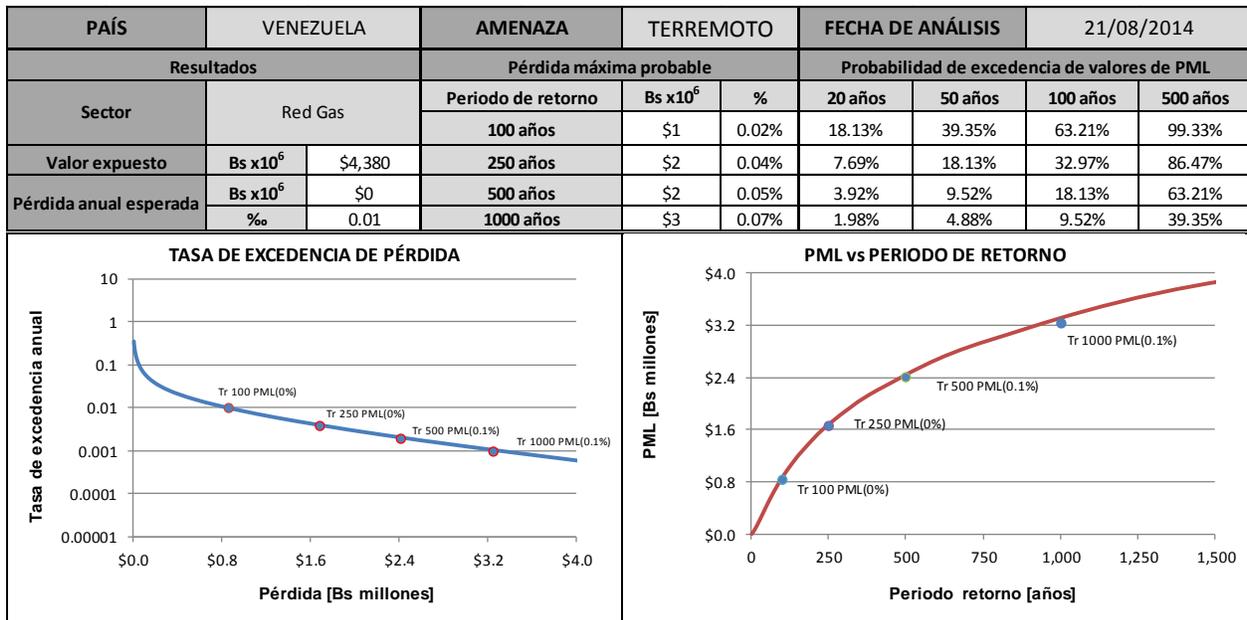
en donde K es la conducción para la subdivisión, n es el coeficiente de rugosidad de Manning, A es el área de flujo, y R el radio hidráulico.

Anexo 5
Resultados por Sectores

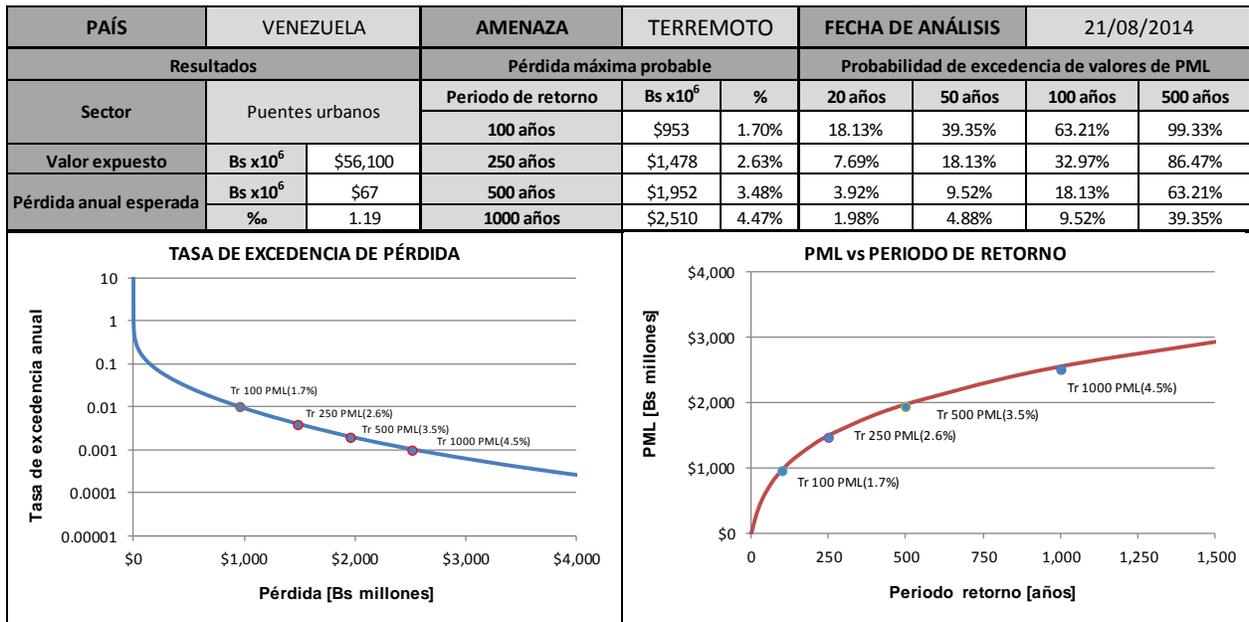
A5-1. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Construcciones Públicas



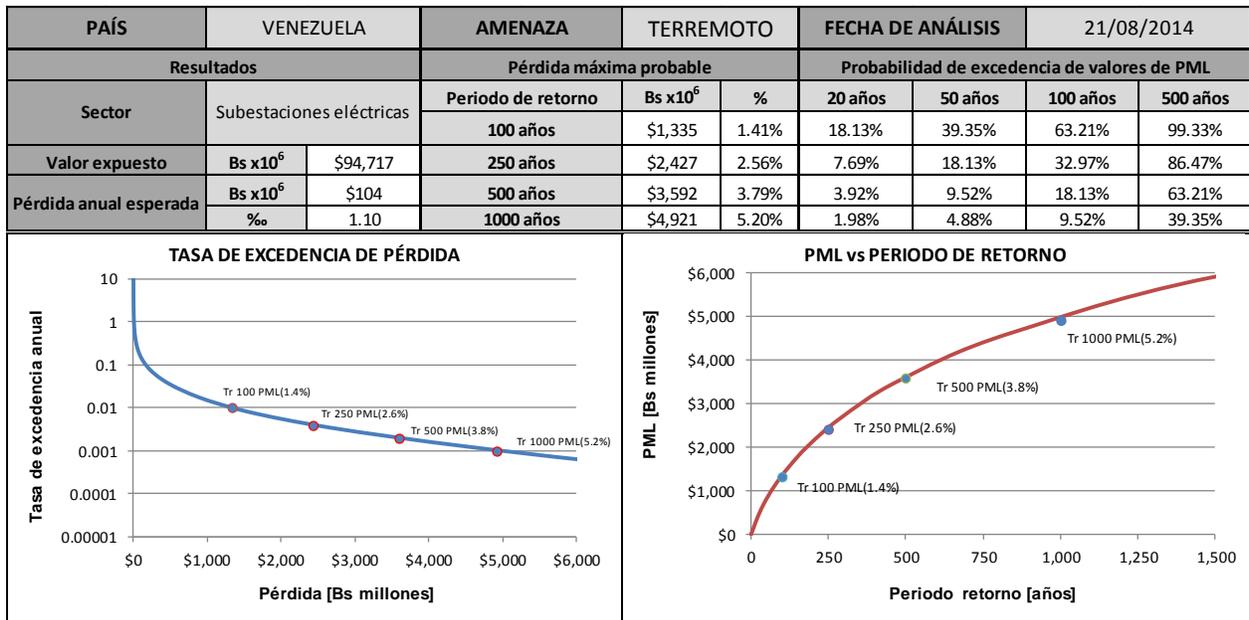
A5-2. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Gas



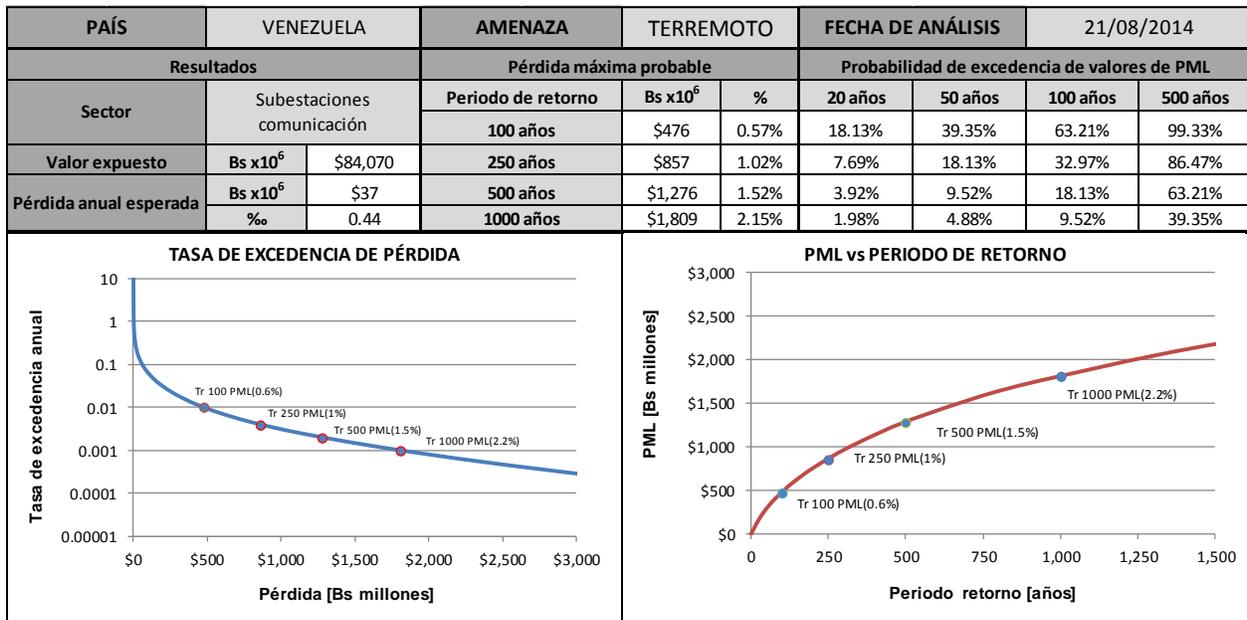
A5-3. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Puentes Urbanos



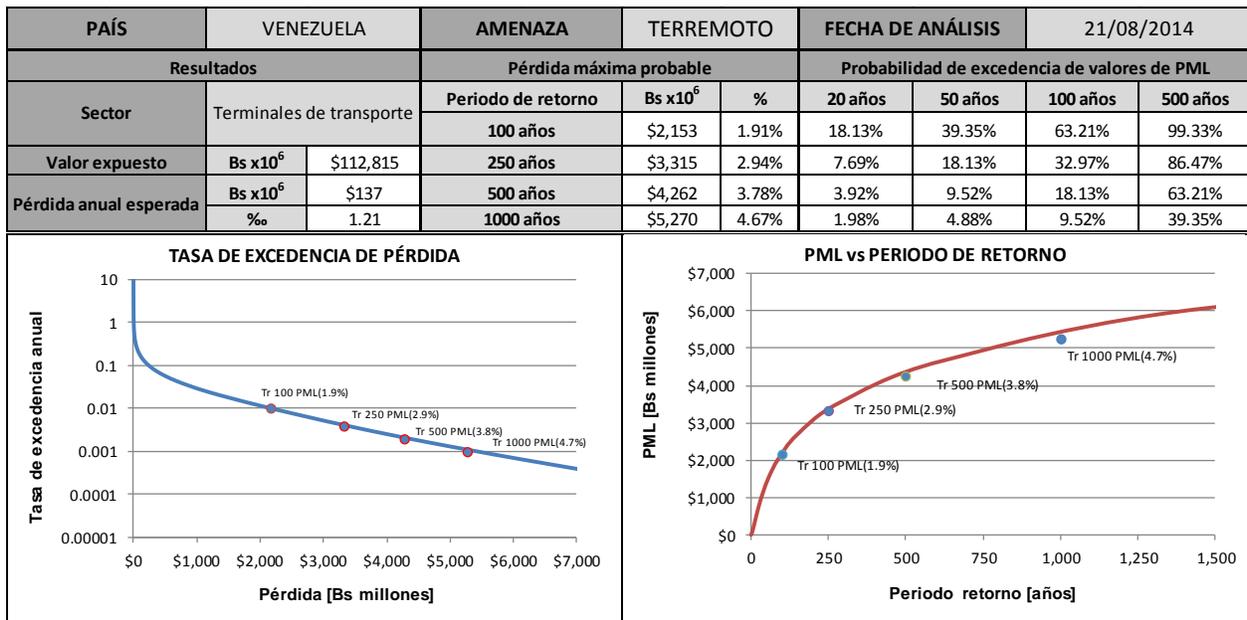
A5-4. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Subestaciones Eléctricas



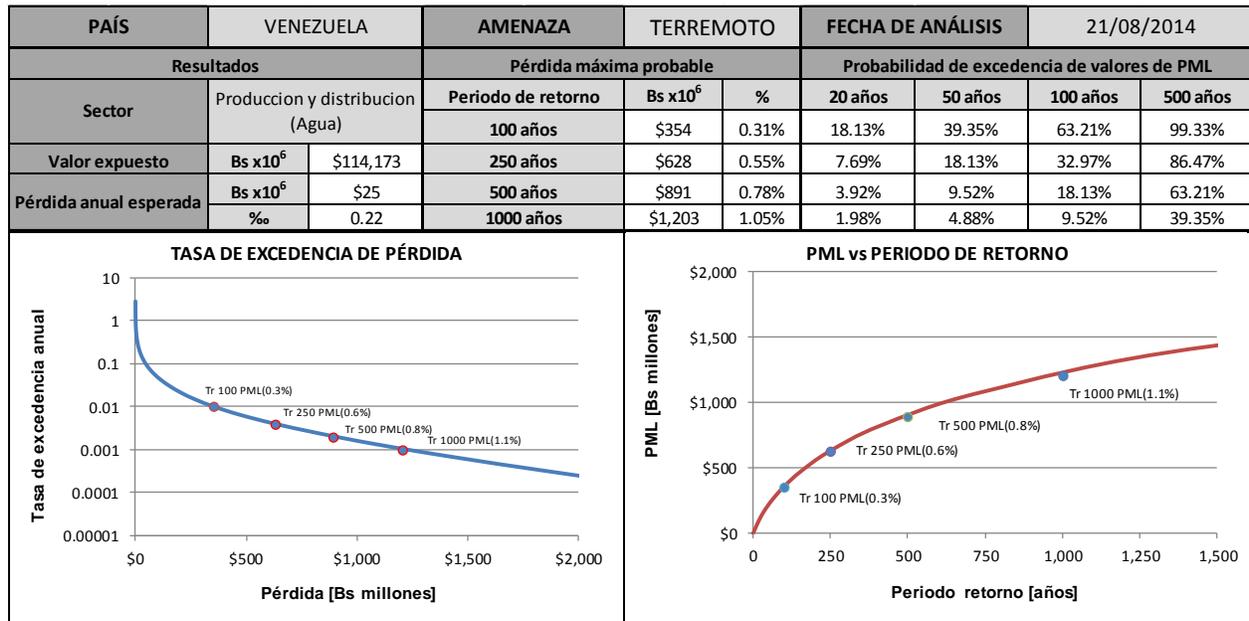
A5-5. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Subestaciones Comunicación



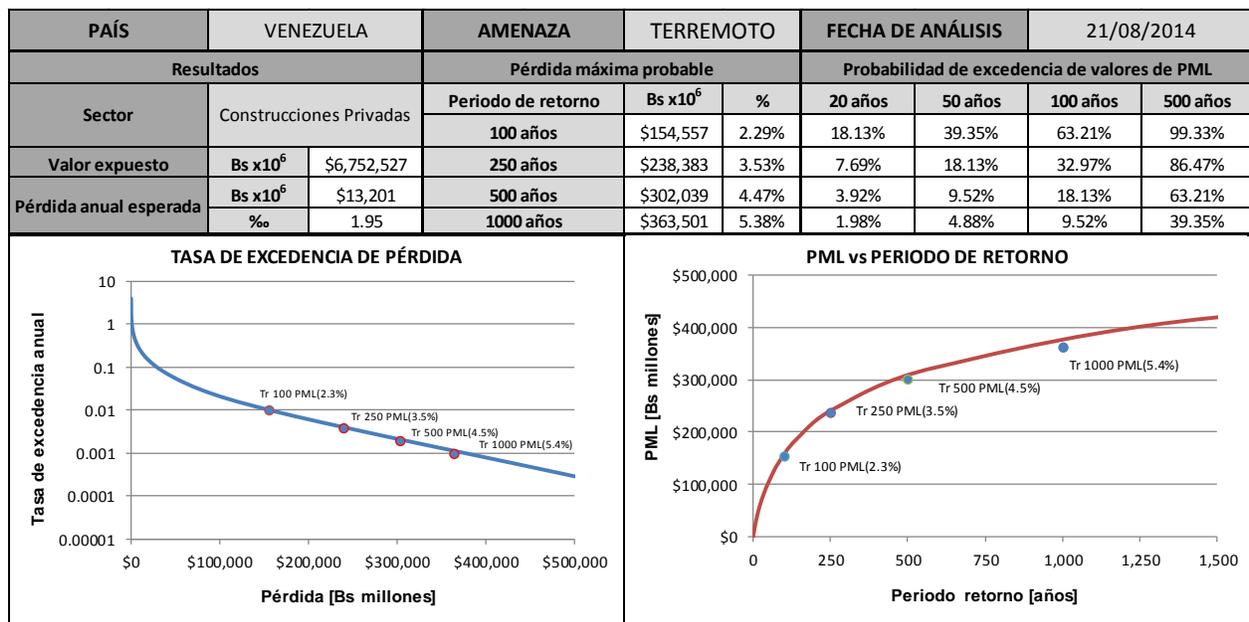
A5-6. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Terminales de Transporte



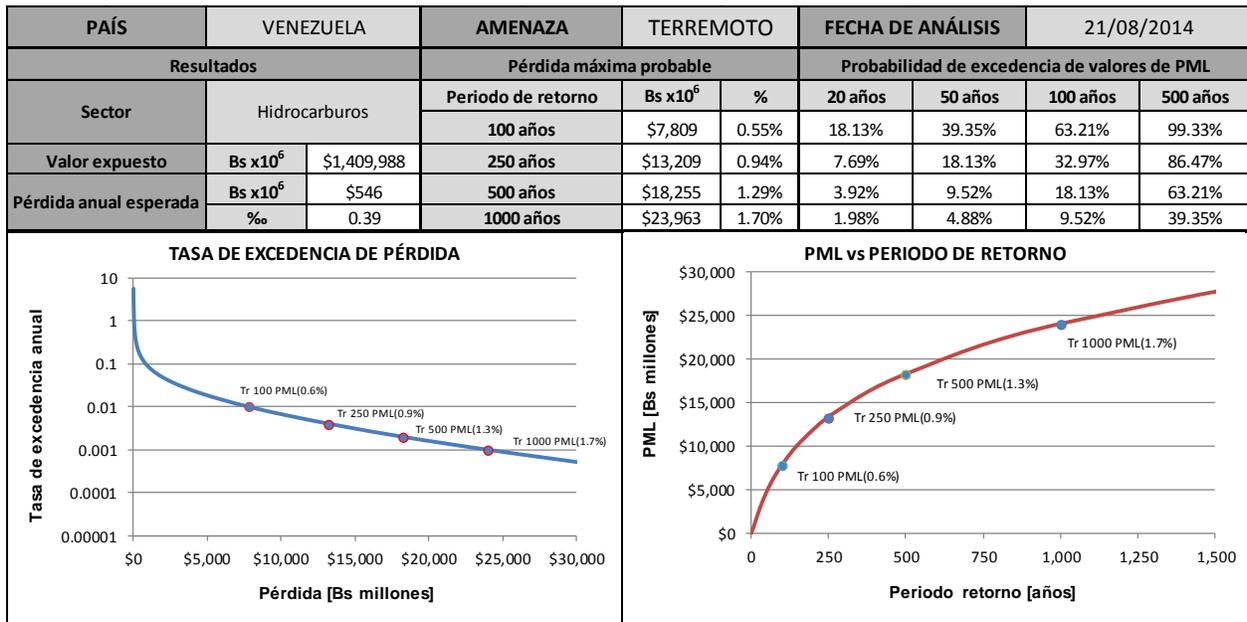
A5-7. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Producción y Distribución (Agua)



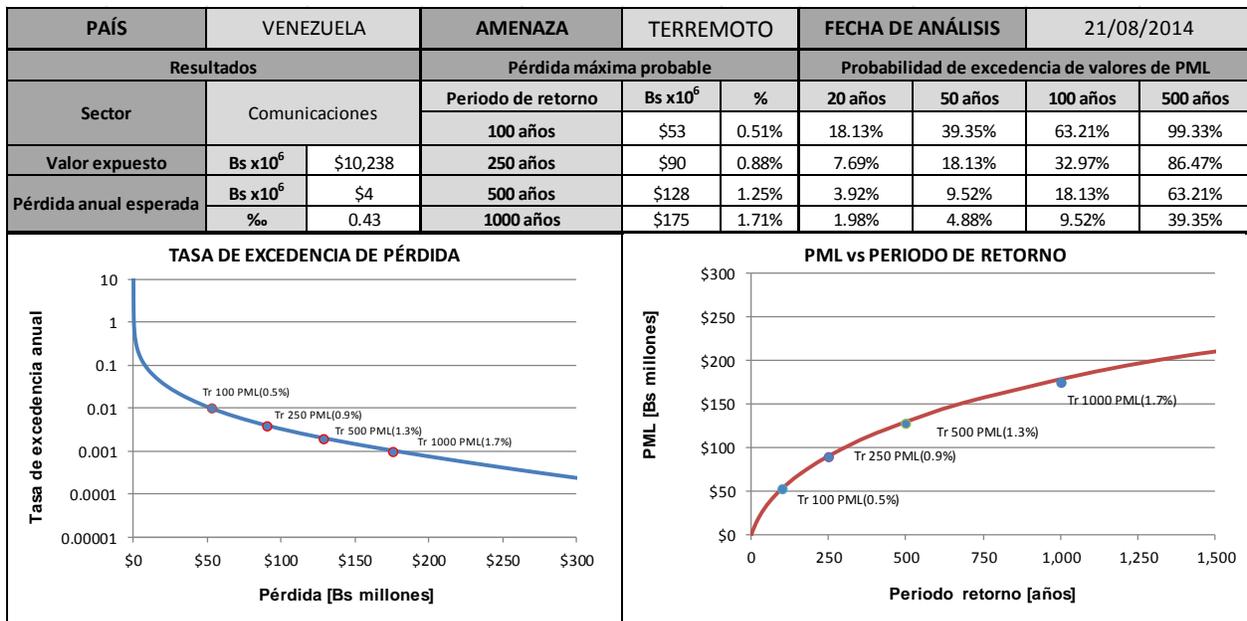
A5-8. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Construcciones Privadas



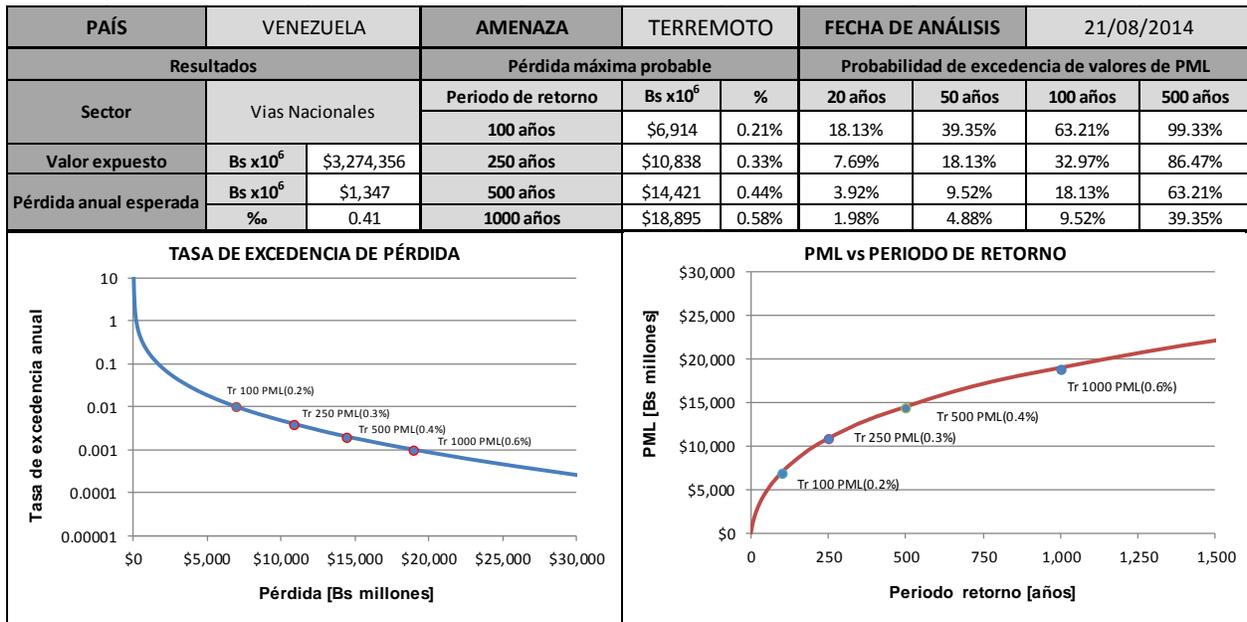
A5-9. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Hidrocarburos



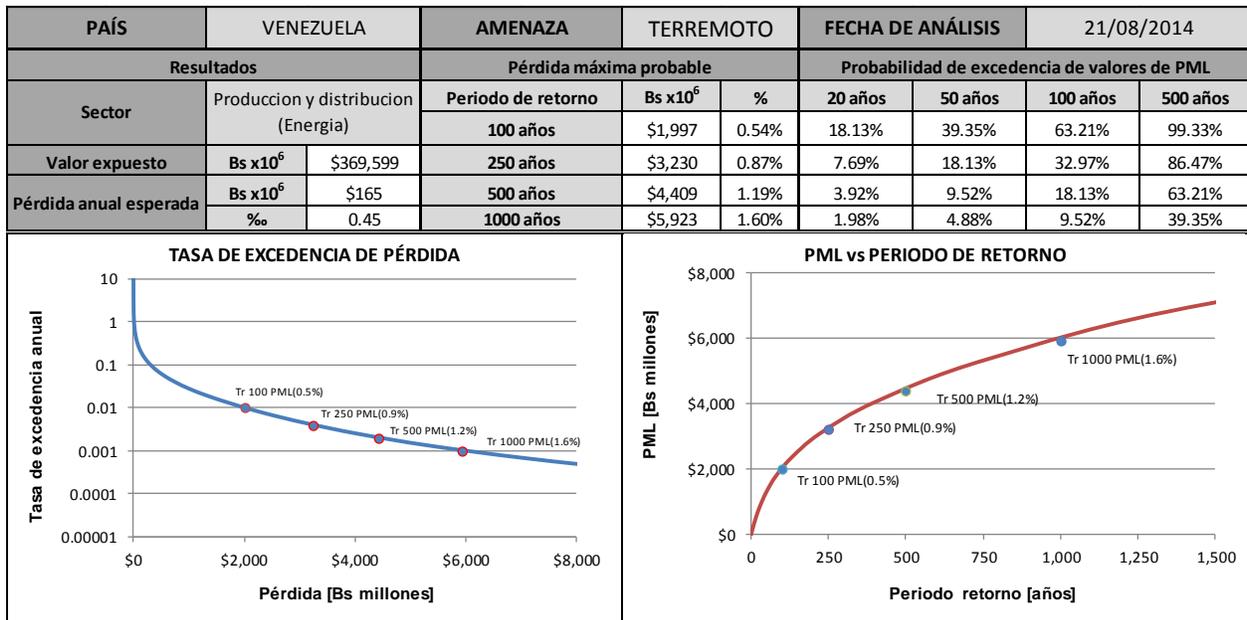
A5-10. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Comunicaciones



A5-11. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Vías Nacionales



A5-12. Tasa de Excedencia y PML de Terremoto para el Sector Producción y Distribución (Energía)



Anexo 6

Modelo De Exposición “Proxy”

Se anexa a este informe una hoja de cálculo electrónico en Microsoft Excel, en donde se encuentra el proxy utilizado para la estimación del riesgo.