

VULNERABILIDAD GENERAL Y RIESGO SÍSMICO

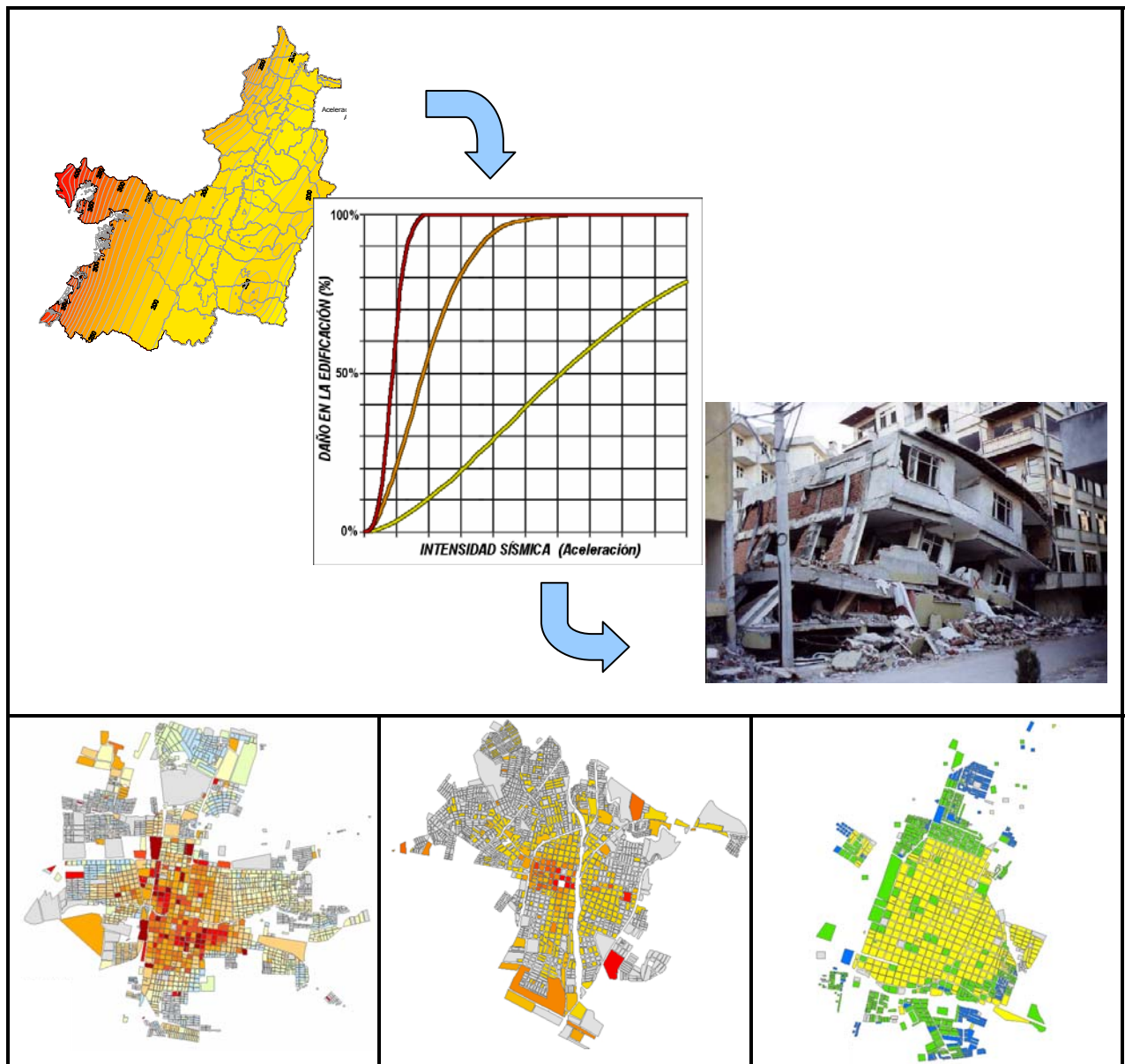


TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|----------|--|------------|
| 7 | VULNERABILIDAD GENERAL Y RIESGO SÍSMICO | 7-1 |
| 7.1 | INTRODUCCIÓN | 7-1 |
| 7.2 | ENFOQUE METODOLÓGICO | 7-4 |
| 7.2.1 | Generalidades | 7-4 |
| 7.2.2 | Vulnerabilidad sísmica estructural | 7-6 |
| 7.2.3 | Evaluación de pérdidas | 7-10 |
| 7.2.4 | Efecto de coaseguro, límite y deducible | 7-10 |
| 7.2.5 | Cálculo de la Prima Pura | 7-11 |
| 7.2.6 | Cálculo de la Pérdida Máxima Probable (PML) | 7-12 |
| 7.2.7 | Sistema de Cálculo | 7-12 |
| 7.2.8 | Estimación de número de afectados, heridos y muertos | 7-13 |
| 7.3 | LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS | 7-23 |
| 7.3.1 | Recolección de Información | 7-23 |
| 7.3.2 | Información catastral por municipio | 7-23 |
| 7.3.3 | Información de inspecciones de campo | 7-24 |
| 7.3.4 | Fotografías aéreas | 7-26 |
| 7.3.5 | Información de población y de áreas | 7-26 |
| 7.3.6 | Conformación de la base de datos | 7-27 |
| 7.4 | CARACTERIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN | 7-34 |
| 7.4.1 | Municipio de Palmira | 7-34 |
| 7.4.2 | Municipio de Tuluá | 7-54 |
| 7.4.3 | Municipio de Buga | 7-73 |
| 7.4.4 | Índices generales por municipio | 7-92 |
| 7.5 | FUNCIONES DE VULNERABILIDAD | 7-93 |
| 7.5.1 | Tipos estructurales y funciones de vulnerabilidad | 7-93 |
| 7.5.2 | Funciones de vulnerabilidad basadas en la aceleración máxima del terreno (A_{max}) | 7-94 |
| 7.5.3 | Funciones de vulnerabilidad basadas en la deriva de entrepiso | 7-100 |
| 7.6 | RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGO PARA PALMIRA | 7-103 |
| 7.6.1 | Escenarios críticos de análisis | 7-103 |
| 7.6.2 | Daños en % y pérdidas económicas directas | 7-105 |
| 7.6.3 | Pérdida anual esperada y prima pura de riesgo | 7-113 |
| 7.6.4 | Pérdidas máximas probables, PML | 7-114 |
| 7.6.5 | Afectación sobre la población | 7-115 |
| 7.7 | RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGO PARA TULUÁ | 7-131 |
| 7.7.1 | Escenarios críticos de análisis | 7-131 |
| 7.7.2 | Daños en % y pérdidas económicas directas | 7-133 |
| 7.7.3 | Pérdida anual esperada y prima pura de riesgo | 7-141 |
| 7.7.4 | Pérdidas máximas probables, PML | 7-142 |
| 7.7.5 | Afectación sobre la población | 7-143 |
| 7.8 | RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGO PARA BUGA | 7-159 |
| 7.8.1 | Escenarios críticos de análisis | 7-159 |

| | | |
|--|---|--------------|
| 7.8.2 | Daños en % y pérdidas económicas directas | 7-161 |
| 7.8.3 | Pérdida anual esperada y prima pura de riesgo | 7-169 |
| 7.8.4 | Pérdidas máximas probables, PML | 7-170 |
| 7.8.5 | Afectación sobre la población | 7-171 |
| 7.9 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 7-187 |
| 7.10 | BIBLIOGRAFÍA | 7-188 |
| ANEXO 7.1 DATOS DE ENTRADA SISTEMA DE CÁLCULO DE RIESGO SÍSMICO | | |
| ANEXO 7.2 BASES DE DATOS CATASTRALES | | |
| ANEXO 7.3 INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LOS MUNICIPIOS | | |
| ANEXO 7.4 MANUAL DE RECONOCIMIENTO PREDIAL | | |
| ANEXO 7.5 BASES DE DATOS CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL (VISITAS DE CAMPO) | | |
| ANEXO 7.6 FOTOGRAFÍAS AÉREAS MUNICIPIOS | | |
| ANEXO 7.7 BASES DE DATOS DEFINITIVAS PARA CADA MUNICIPIO | | |
| ANEXO 7.8 ARCHIVOS DIGITALES DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES DESARROLLADOS | | |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|------|
| Figura 7.1 Procedimiento de cálculo de las curvas de vulnerabilidad..... | 7-9 |
| Figura 7.2 Cálculo del Factor de Colapso (FC), dada la pérdida obtenida del estudio de riesgo sísmico. | 7-17 |
| Figura 7.3 Formulario de inspección de edificaciones..... | 7-25 |
| Figura 7.4 Distribución de número de predios según número de pisos..... | 7-35 |
| Figura 7.5 Distribución de número de predios según estado de las construcciones..... | 7-35 |
| Figura 7.6 Distribución de número de predios según estrato socioeconómico..... | 7-35 |
| Figura 7.7 Distribución de número de predios según uso..... | 7-36 |
| Figura 7.8 Distribución de número de predios según destino..... | 7-36 |
| Figura 7.9 Distribución de número de predios según tipo estructural..... | 7-36 |
| Figura 7.10 Distribución de número de predios según fecha de construcción..... | 7-37 |
| Figura 7.11 Distribución de número de predios según área construida..... | 7-37 |
| Figura 7.12 Distribución de número de predios según avalúo catastral..... | 7-37 |
| Figura 7.13 Distribución de número de predios según valor del m ² construido..... | 7-38 |
| Figura 7.14 Distribución de número de predios según densidad de construcción..... | 7-38 |
| Figura 7.15 Distribución de número de manzanas según número de pisos..... | 7-39 |
| Figura 7.16 Distribución de número de manzanas según estado de la construcción..... | 7-39 |
| Figura 7.17 Distribución de número de manzanas según estrato socioeconómico..... | 7-39 |
| Figura 7.18 Distribución de número de manzanas según uso..... | 7-40 |
| Figura 7.19 Distribución de número de manzanas según destino..... | 7-40 |
| Figura 7.20 Distribución de número de manzanas según tipo estructural..... | 7-40 |
| Figura 7.21 Distribución de número de manzanas según fecha de construcción..... | 7-41 |
| Figura 7.22 Distribución de número de manzanas según área construida..... | 7-41 |
| Figura 7.23 Distribución de número de manzanas según avalúo catastral..... | 7-41 |
| Figura 7.24 Distribución de número de manzanas según valor del m ² construido..... | 7-42 |
| Figura 7.25 Distribución de número de manzanas según densidad de construcción por manzanas..... | 7-42 |
| Figura 7.26 Mapa de distribución geográfica de manzanas según número de pisos..... | 7-43 |
| Figura 7.27 Mapa de distribución geográfica de manzanas según estado de la construcción..... | 7-44 |
| Figura 7.28 Mapa de distribución geográfica de manzanas según estrato socioeconómico..... | 7-45 |
| Figura 7.29 Mapa de distribución geográfica de manzanas según uso..... | 7-46 |
| Figura 7.30 Mapa de distribución geográfica de manzanas según destino..... | 7-47 |
| Figura 7.31 Mapa de distribución geográfica de manzanas según tipo estructural..... | 7-48 |
| Figura 7.32 Mapa de distribución geográfica de manzanas según fecha de construcción..... | 7-49 |
| Figura 7.33 Mapa de distribución geográfica de manzanas según área construida..... | 7-50 |
| Figura 7.34 Mapa de distribución geográfica de manzanas según avalúo catastral..... | 7-51 |

| | |
|---|------|
| Figura 7.35 Mapa de distribución geográfica de manzanas según valor catastral del m ² construido | 7-52 |
| Figura 7.36 Mapa de distribución geográfica de manzanas según densidad de construcción por manzanas | 7-53 |
| Figura 7.37 Distribución de número de predios según número de pisos..... | 7-54 |
| Figura 7.38 Distribución de número de predios según estado de las construcciones..... | 7-55 |
| Figura 7.39 Distribución de número de predios según estrato socioeconómico | 7-55 |
| Figura 7.40 Distribución de número de predios según su uso..... | 7-55 |
| Figura 7.41 Distribución de número de predios según su destino | 7-56 |
| Figura 7.42 Distribución de número de predios según el tipo estructural..... | 7-56 |
| Figura 7.43 Distribución de número de predios según el año de construcción | 7-56 |
| Figura 7.44 Distribución de número de predios por área construida | 7-57 |
| Figura 7.45 Distribución de número de predios por valor predial | 7-57 |
| Figura 7.46 Distribución de número de predios por valor del m ² construido | 7-57 |
| Figura 7.47 Distribución de número de predios por densidad de construcción | 7-58 |
| Figura 7.48 Distribución de número de manzanas según número de pisos..... | 7-58 |
| Figura 7.49 Distribución de número de manzanas según estado de la construcción | 7-58 |
| Figura 7.50 Distribución de número de manzanas según estrato socioeconómico..... | 7-59 |
| Figura 7.51 Distribución de número de manzanas según uso..... | 7-59 |
| Figura 7.52 Distribución de número de manzanas según destino | 7-59 |
| Figura 7.53 Distribución de número de manzanas según tipo estructural..... | 7-60 |
| Figura 7.54 Distribución de número de manzanas según fecha de construcción | 7-60 |
| Figura 7.55 Distribución de número de manzanas según área construida..... | 7-60 |
| Figura 7.56 Distribución de número de manzanas según avalúo catastral | 7-61 |
| Figura 7.57 Distribución de número de manzanas según valor del m ² construido | 7-61 |
| Figura 7.58 Distribución de número de manzanas según densidad de construcción por manzanas..... | 7-61 |
| Figura 7.59 Mapa de distribución geográfica de manzanas según número de pisos..... | 7-62 |
| Figura 7.60 Mapa de distribución geográfica de manzanas según estado de la construcción | 7-63 |
| Figura 7.61 Mapa de distribución geográfica de manzanas según estrato socioeconómico | 7-64 |
| Figura 7.62 Mapa de distribución geográfica de manzanas según uso..... | 7-65 |
| Figura 7.63 Mapa de distribución geográfica de manzanas según destino..... | 7-66 |
| Figura 7.64 Mapa de distribución geográfica de manzanas según tipo estructural..... | 7-67 |
| Figura 7.65 Mapa de distribución geográfica de manzanas según fecha de construcción | 7-68 |
| Figura 7.66 Mapa de distribución geográfica de manzanas según área construida..... | 7-69 |
| Figura 7.67 Mapa de distribución geográfica de manzanas según avalúo catastral | 7-70 |
| Figura 7.68 Mapa de distribución geográfica de manzanas según valor del m ² construido..... | 7-71 |
| Figura 7.69 Mapa de distribución geográfica de manzanas según densidad de construcción por manzanas | 7-72 |
| Figura 7.70 Distribución de número de predios según número de pisos..... | 7-73 |

| | |
|--|------|
| Figura 7.71 Distribución de número de predios según estado de las construcciones..... | 7-74 |
| Figura 7.72 Distribución de número de predios según estrato socioeconómico | 7-74 |
| Figura 7.73 Distribución de número de predios según su uso..... | 7-74 |
| Figura 7.74 Distribución de número de predios según su destino | 7-75 |
| Figura 7.75 Distribución de número de predios según el tipo estructural..... | 7-75 |
| Figura 7.76 Distribución de número de predios según el año de construcción | 7-75 |
| Figura 7.77 Distribución de número de predios por área construida | 7-76 |
| Figura 7.78 Distribución de número de predios por valor predial | 7-76 |
| Figura 7.79 Distribución de número de predios por valor del m ² construido | 7-76 |
| Figura 7.80 Distribución de número de predios por densidad de construcción | 7-77 |
| Figura 7.81 Distribución de número de manzanas según número de pisos..... | 7-77 |
| Figura 7.82 Distribución de número de manzanas según estado de la construcción | 7-77 |
| Figura 7.83 Distribución de número de manzanas según estrato socioeconómico..... | 7-78 |
| Figura 7.84 Distribución de número de manzanas según uso..... | 7-78 |
| Figura 7.85 Distribución de número de manzanas según destino | 7-78 |
| Figura 7.86 Distribución de número de manzanas según tipo estructural..... | 7-79 |
| Figura 7.87 Distribución de número de manzanas según fecha de construcción | 7-79 |
| Figura 7.88 Distribución de número de manzanas según área construida..... | 7-79 |
| Figura 7.89 Distribución de número de manzanas según avalúo catastral | 7-80 |
| Figura 7.90 Distribución de número de manzanas según valor del m ² construido | 7-80 |
| Figura 7.91 Distribución de número de manzanas según densidad de construcción por manzanas..... | 7-80 |
| Figura 7.92 Mapa de distribución geográfica de manzanas según número de pisos..... | 7-81 |
| Figura 7.93 Mapa de distribución geográfica de manzanas según estado de la construcción | 7-82 |
| Figura 7.94 Mapa de distribución geográfica de manzanas según estrato socioeconómico | 7-83 |
| Figura 7.95 Mapa de distribución geográfica de manzanas según uso..... | 7-84 |
| Figura 7.96 Mapa de distribución geográfica de manzanas según destino..... | 7-85 |
| Figura 7.97 Mapa de distribución geográfica de manzanas según tipo estructural..... | 7-86 |
| Figura 7.98 Mapa de distribución geográfica de manzanas según fecha de construcción | 7-87 |
| Figura 7.99 Mapa de distribución geográfica de manzanas según área construida..... | 7-88 |
| Figura 7.100 Mapa de distribución geográfica de manzanas según avalúo catastral | 7-89 |
| Figura 7.101 Mapa de distribución geográfica de manzanas según valor del m ² construido..... | 7-90 |
| Figura 7.102 Mapa de distribución geográfica de manzanas según densidad de construcción por manzanas | 7-91 |
| Figura 7.103 Algunos modelos característicos utilizados | 7-95 |
| Figura 7.104 Modelos estructurales en SAP2000..... | 7-96 |
| Figura 7.105 Distribuciones de esfuerzos críticos para daño 0% y 100%..... | 7-98 |
| Figura 7.106 Funciones de vulnerabilidad para edificaciones en adobe (Sistema 1) | 7-99 |
| Figura 7.107 Funciones de vulnerabilidad para el Sistema 3C..... | 7-99 |

| | |
|---|-------|
| Figura 7.108 Funciones de vulnerabilidad dependientes de aceleración | 7-100 |
| Figura 7.109 Algunos tipos estructurales | 7-101 |
| Figura 7.110 Funciones de vulnerabilidad para los tipos estructurales dependientes de la deriva de entepiso | 7-102 |
| Figura 7.111 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo superficial cercano – Ms = 5.8. 7-103 | |
| Figura 7.112 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo de la zona de Benioff– Ms = 7.3 | 7-104 |
| Figura 7.113 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo de la zona de subducción– Ms = 8.1 | 7-104 |
| Figura 7.114 Distribución de daños en % y en pérdida económica directa por estrato socio-económicos para el escenario Cauca-500 | 7-106 |
| Figura 7.115 Distribución de daños en % y en pérdidas económicas directas por destinos de uso para el escenario Cauca-500 | 7-106 |
| Figura 7.116 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para Palmira | 7-107 |
| Figura 7.117 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Palmira..... | 7-108 |
| Figura 7.118 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para Palmira | 7-109 |
| Figura 7.119 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Palmira..... | 7-110 |
| Figura 7.120 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para Palmira | 7-111 |
| Figura 7.121 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Palmira..... | 7-112 |
| Figura 7.122 PML para el municipio de Palmira | 7-114 |
| Figura 7.123 Probabilidades de excedencia de valores de PML para el portafolio analizado | 7-115 |
| Figura 7.124 Distribución del número de habitantes bajo techo a nivel de manzana para Palmira | 7-117 |
| Figura 7.125 Distribución del número de habitantes bajo techo a nivel de manzana para Palmira | 7-118 |
| Figura 7.126 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira ... | 7-119 |
| Figura 7.127 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira ... | 7-120 |
| Figura 7.128 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira ... | 7-121 |
| Figura 7.129 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira ... | 7-122 |
| Figura 7.130 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira ... | 7-123 |
| Figura 7.131 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira ... | 7-124 |
| Figura 7.132 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira .. | 7-125 |
| Figura 7.133 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira .. | 7-126 |
| Figura 7.134 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira .. | 7-127 |
| Figura 7.135 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira .. | 7-128 |
| Figura 7.136 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira .. | 7-129 |
| Figura 7.137 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira .. | 7-130 |
| Figura 7.138 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo superficial cercano – Ms = 5.3. 7-131 | |
| Figura 7.139 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo de la zona de Benioff– Ms = 6.9 | 7-132 |
| Figura 7.140 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo de la zona de subducción– Ms = 8.2 | 7-132 |

| | |
|---|-------|
| Figura 7.141 Distribución de daños en % y en pérdida económica directa por estrato socio-económicos para el escenario Cali-Patía -500 | 7-134 |
| Figura 7.142 Distribución de daños en % y en pérdidas económicas directas por destinos de uso para el escenario Cali-Patía -500 | 7-134 |
| Figura 7.143 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para..... | 7-135 |
| Figura 7.144 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Tuluá..... | 7-136 |
| Figura 7.145 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para Tuluá..... | 7-137 |
| Figura 7.146 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Tuluá..... | 7-138 |
| Figura 7.147 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para Tuluá..... | 7-139 |
| Figura 7.148 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Tuluá..... | 7-140 |
| Figura 7.149 PML para el municipio de Tuluá..... | 7-142 |
| Figura 7.150 Probabilidades de excedencia de valores de PML para el portafolio analizado | 7-143 |
| Figura 7.151 Distribución del número de habitantes bajo techo a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-145 |
| Figura 7.152 Distribución del número de habitantes bajo techo a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-146 |
| Figura 7.153 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-147 |
| Figura 7.154 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-148 |
| Figura 7.155 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-149 |
| Figura 7.156 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-150 |
| Figura 7.157 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-151 |
| Figura 7.158 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-152 |
| Figura 7.159 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá | 7-153 |
| Figura 7.160 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá | 7-154 |
| Figura 7.161 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá | 7-155 |
| Figura 7.162 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá | 7-156 |
| Figura 7.163 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá | 7-157 |
| Figura 7.164 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá | 7-158 |
| Figura 7.165 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo superficial cercano – Ms = 5.3. | 7-159 |
| Figura 7.166 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo de la zona de Benioff– Ms = 6.9 | 7-160 |
| Figura 7.167 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo de la zona de subducción– Ms = 8.2 | 7-160 |
| Figura 7.168 Distribución de daños en % y en pérdida económica directa por estrato socio-económicos para el escenario Cali-Patía -500 | 7-162 |
| Figura 7.169 Distribución de daños en % y en pérdidas económicas directas por destinos de uso para el escenario Cali-Patía -500 | 7-162 |
| Figura 7.170 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para..... | 7-163 |
| Figura 7.171 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Buga | 7-164 |
| Figura 7.172 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para Buga | 7-165 |

| | |
|--|-------|
| Figura 7.173 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Buga | 7-166 |
| Figura 7.174 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para Buga | 7-167 |
| Figura 7.175 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Buga | 7-168 |
| Figura 7.176 PML para el municipio de Buga | 7-170 |
| Figura 7.177 Probabilidades de excedencia de valores de PML para el portafolio analizado | 7-171 |
| Figura 7.178 Distribución del número de habitantes bajo techo a nivel de manzana para el municipio de Buga | 7-173 |
| Figura 7.179 Distribución del número de habitantes bajo techo a nivel de manzana para el municipio de Buga | 7-174 |
| Figura 7.180 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-175 |
| Figura 7.181 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-176 |
| Figura 7.182 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-177 |
| Figura 7.183 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-178 |
| Figura 7.184 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-179 |
| Figura 7.185 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Tuluá..... | 7-180 |
| Figura 7.186 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Buga | 7-181 |
| Figura 7.187 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Buga | 7-182 |
| Figura 7.188 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Buga | 7-183 |
| Figura 7.189 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Buga | 7-184 |
| Figura 7.190 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Buga | 7-185 |
| Figura 7.191 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Buga | 7-186 |
| Figura 7.192 Relación entre el número de muertos y el número de edificaciones severamente dañadas | 7-187 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-------|
| Tabla 7.1 Diagrama de la clasificación de muertos y heridos después de la ocurrencia de un sismo.... | 7-15 |
| Tabla 7.2 Porcentajes de ocupación según la hora del día Relación de Fotografías Aéreas | 7-18 |
| Tabla 7.3 Sismos ocurridos de 1977 a 1995 y los muertos causados por el colapso de estructuras de concreto reforzado..... | 7-20 |
| Tabla 7.4 Algunas estructuras colapsadas de concreto reforzado y su factor de letalidad..... | 7-21 |
| Tabla 7.5 Factores de atrapados y fatalidad para los tipos estructurales encontrados en los municipios del Valle del Cauca. | 7-22 |
| Tabla 7.6 Población oficial, información de áreas y densidad de población por municipio. | 7-26 |
| Tabla 7.7 Hipótesis para estimativos de ocupación máxima | 7-26 |
| Tabla 7.8 Estadísticas de las bases de datos | 7-27 |
| Tabla 7.9 Valores catastrales promedio por m ² de construcción por sectores y estratos socio-económicos. | 7-31 |
| Tabla 7.10 Tablas para la interpretación de los valores índices de la base de datos. | 7-31 |
| Tabla 7.11 Caracterización de la base de datos por sectores..... | 7-34 |
| Tabla 7.12 Caracterización de la base de datos por sectores | 7-54 |
| Tabla 7.13 Caracterización de la base de datos por sectores | 7-73 |
| Tabla 7.14 Índices generales para municipios | 7-92 |
| Tabla 7.15 Resumen de los parámetros de las funciones de vulnerabilidad..... | 7-93 |
| Tabla 7.16 Propiedades típicas de materiales para el análisis..... | 7-97 |
| Tabla 7.17 Esfuerzos de fisuración y de falla empleados para el análisis..... | 7-97 |
| Tabla 7.18 Escenarios sísmicos críticos de análisis para Palmira..... | 7-105 |
| Tabla 7.19 Clasificación cualitativa de los escenarios sísmicos críticos de análisis para Palmira..... | 7-105 |
| Tabla 7.20 Daños esperados en porcentaje y pérdidas económicas directas para escenarios críticos | 7-106 |
| Tabla 7.21 Condiciones de análisis para las situaciones planteadas..... | 7-113 |
| Tabla 7.22 Primas puras de riesgo – Municipio de Palmira..... | 7-113 |
| Tabla 7.23 PML para el municipio de Palmira..... | 7-114 |
| Tabla 7.24 Afectaciones a las edificaciones y a la población para escenarios seleccionados | 7-116 |
| Tabla 7.25 Afectaciones directas a la población para escenarios seleccionados | 7-116 |
| Tabla 7.26 Escenarios sísmicos críticos de análisis para Tuluá..... | 7-133 |
| Tabla 7.27 Clasificación cualitativa de los escenarios sísmicos críticos de análisis para Tuluá | 7-133 |
| Tabla 7.28 Daños esperados en porcentaje y pérdidas económicas directas para escenarios críticos | 7-134 |
| Tabla 7.29 Condiciones de análisis para las situaciones planteadas..... | 7-141 |
| Tabla 7.30 Primas puras de riesgo – Municipio de Tuluá | 7-141 |
| Tabla 7.31 PML para el municipio de Tuluá..... | 7-142 |
| Tabla 7.32 Afectaciones a las edificaciones y a la población para escenarios seleccionados | 7-144 |
| Tabla 7.33 Afectaciones directas a la población para escenarios seleccionados | 7-144 |

| | |
|--|-------|
| Tabla 7.34 Escenarios sísmicos críticos de análisis para Buga | 7-161 |
| Tabla 7.35 Clasificación cualitativa de los escenarios sísmicos críticos de análisis para Buga..... | 7-161 |
| Tabla 7.36 Daños esperados en porcentaje y pérdidas económicas directas para escenarios críticos | 7-162 |
| Tabla 7.37 Condiciones de análisis para las situaciones planteadas..... | 7-169 |
| Tabla 7.38 Primas puras de riesgo – Municipio de Buga..... | 7-169 |
| Tabla 7.39 PML para el municipio de Buga | 7-170 |
| Tabla 7.40 Afectaciones a las edificaciones y a la población para escenarios seleccionados | 7-172 |
| Tabla 7.41 Afectaciones directas a la población para escenarios seleccionados | 7-172 |
| Tabla 7.42 Resumen de resultados para escenarios de riesgo con periodo de retorno de 500 años .. | 7-187 |

7 VULNERABILIDAD GENERAL Y RIESGO SÍSMICO

7.1 INTRODUCCIÓN

El Valle del Cauca es conocido como una de las zonas de Colombia de mayor amenaza sísmica tanto históricamente como por eventos recientes. Terremotos como los de los años 1967, 1979, 1999 y el más recientemente ocurrido terremoto de Pizarro del año 2004 son ejemplos claros de la amenaza sísmica a la que está sometida tanto la infraestructura de las ciudades como la población misma. La amenaza sísmica de toda la zona ya ha sido caracterizada y estudiada en el Capítulo 3.

Por otro lado el desarrollo de la infraestructura de las diferentes poblaciones de la zona se ha llevado a cabo en términos generales de una manera poco controlada. Solo hasta hace muy poco tiempo se han venido aplicando normativas de diseño y construcción sismorresistente tanto para las edificaciones de cierta importancia como para obras de mayor relevancia como son puentes, plantas de tratamiento, tanques y otros tipo de obras. Igualmente se hace notoria la mejora en las técnicas constructivas típicas de viviendas de uno y dos pisos mediante la implantación de nuevos sistemas constructivos como son la mampostería confinada y la mampostería estructural en general. Estos nuevos desarrollos generan un cambio importante en la calificación general de la vulnerabilidad de las construcciones a pesar de que la gran mayoría de los desarrollos de los diferentes municipios de la zona no han sido sometidos a ningún tipo de actualización o rehabilitación sísmica.

Lo anterior permite concluir sin mayor análisis que la mayor parte de la infraestructura del Departamento en general y de los municipios o poblaciones en particular se clasifican como de alta vulnerabilidad sísmica. Esto sumado a la alta amenaza demostrada crean un panorama general de alto riesgo sísmico el cual debe ser estudiado y evaluado con el fin de plantear estrategias para su mitigación y manejo.

Se requiere entonces adelantar el estudio del riesgo sísmico de los municipios estudiados en el presente proyecto, entendido como el potencial de daños y pérdidas a causa de terremotos potenciales, evaluado con base en una serie de escenarios sísmicos factibles de acuerdo con la información existente. Adicionalmente y con base en ese tipo de escenarios de riesgo se plantean por un lado las bases para los planes de prevención y atención de emergencias y por otro la posibilidad de protección financiera de la ciudad, identificando la mejor estrategia de transferencia y retención de riesgos, tanto para los inmuebles públicos como para los privados.

De acuerdo con los estudios realizados de amenaza y microzonificación sísmica, los municipios estudiados, Palmira, Tuluá y Buga, pueden ser afectados gravemente por sismos que se presenten en el sistema de fallas de Romeral y por eventos originados en la zona de subducción y en la zona de Benioff. Esto no significa que no pueda ser afectada por sismos de otras fuentes sismogénicas, pero posiblemente los escenarios más graves se generarían a causa de la actividad de estos fenómenos geológicos. Por otra parte, la acción sísmica sobre las edificaciones depende de las características de los suelos en cada sitio y los estudios realizados en cada una de las ciudades indican que dentro del mismo perímetro urbano se pueden presentar amplificaciones sísmicas diferenciales que tendrían efectos diversos en los diferentes tipos de construcciones. Por esta razón, el contar con una detallada microzonificación

sísmica en este caso favorece de manera especial el poder realizar estudios cuidadosos de riesgo sísmico de las edificaciones y contar con resultados más confiables para los planes de prevención y atención de eventuales desastres y para establecer políticas adecuadas de transferencia y/o retención del riesgo.

Los planes de prevención y atención de eventuales situaciones de desastres son una responsabilidad directa de las administraciones municipales para lo cual se hace necesario contar con información confiable sobre estimativos de niveles de daños a la infraestructura en general y sobre las posibles afectaciones que puedan ocurrir a la población, en términos de personas afectadas, número estimado de heridos y muertos en las diferentes zonas de la ciudad. Lo anterior debe plantearse entonces para diferentes escenarios sísmicos, cada uno de los cuales debe estar asociado a un sismo con características y ubicación particular y a una hora determinada de ocurrencia.

Por otro lado, ya en el pasado se ha podido constatar que un sismo en la región puede ocasionar invaluable pérdida de vidas humanas y enormes pérdidas económicas en cuestión de segundos. Las pérdidas económicas suman tanto las directamente producidas durante el evento sísmico como las consecuenciales debidas a la falta de operación en los días subsecuentes al evento. La cobertura de un número creciente de riesgos individuales (edificaciones) de gran valor da lugar a la formación de acumulaciones que pudieran superar ampliamente no sólo el potencial financiero individual de los aseguradores directos sino incluso del mercado de seguros completo. No obstante, gracias al mejoramiento de las bases científicas y de las técnicas de seguro, aún este creciente riesgo de cúmulos es asegurable pero cada vez es más exigente en cuanto a que las valoraciones de pérdidas potenciales sean más creíbles y objetivas.

La estimación del riesgo sísmico se basa de manera rigurosa en técnicas probabilistas, metodología que permite estimar de manera consistente diferentes parámetros de interés tales como la pérdida esperada, la prima pura de riesgo, la pérdida máxima probable y los eventos sísmicos que pueden llegar a generar estos escenarios catastróficos. Para el efecto se emplean técnicas modernas para la estimación probabilística de las pérdidas que pueden generarse por la acción sísmica en los diferentes tipos de riesgos asegurables, teniendo en cuenta las características propias de cada edificio o elemento expuesto de infraestructura, con el fin de proveer soluciones adecuadas desde el punto de vista de manejo del capital asegurado. Este enfoque permite proponer una estrategia de retención o transferencia para cada caso particular, teniendo en cuenta las diferentes herramientas disponibles en el mercado, con el fin de optimizar los montos, las capas y los niveles de aseguramiento que resulten acordes con el nivel riesgo que se defina como aceptable (referente del nivel de riesgo utilizado para la toma de decisiones). Así pues, se puede calcular el nivel general de riesgo (otros le llaman exposición) de los inmuebles asegurables, tomando como parámetros principales de evaluación la prima pura de riesgo o prima técnica para cada riesgo (elemento expuesto) y para el total de riesgos (portafolio de inmuebles), y la pérdida máxima probable (Probable Maximum Loss o PML en inglés) de todo el conjunto.

En este capítulo se presentan los diferentes análisis realizados tendientes a la estimación general del riesgo sísmico de los diferentes municipios estudiados, en los términos descritos. En primera instancia se hace una evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de cada municipio y posteriormente utilizando los modelos de amenaza desarrollados se hace una evaluación del riesgo sísmico a que está sometido cada uno de ellos. El riesgo se evalúa en términos de porcentajes de daño y pérdidas esperadas ante diferentes escenarios para cada una de las edificaciones o para el portafolio general de construcciones, de primas puras de

riesgo y de pérdida máxima probable para el conjunto de construcciones. Con base en estos resultados se hacen valoraciones aproximadas para diferentes escenarios del nivel de afectación sobre la población en términos de número de afectados, número de heridos y número de muertos y su distribución geográfica aproximada.

Los análisis que se presentan están limitados entonces a la evaluación del riesgo sísmico asociado con las viviendas y construcciones incluidas en la base de datos catastral de acuerdo con la información suministrada por cada municipio. No se incluye en el análisis otro tipo de construcciones tales como puentes, instalaciones industriales ni construcciones o infraestructura relacionadas con las empresas de servicios públicos.

Las metodologías de análisis conjuntamente con la calidad y cantidad de información utilizadas, permiten adelantar una evaluación general del riesgo sísmico de cada uno de los municipios. A pesar de que el análisis se realiza predio a predio, la metodología no pretende utilizar los resultados de manera individual, sino de manera agrupada para obtener indicadores generales de vulnerabilidad y riesgo de la ciudad. De esta manera los resultados obtenidos no deben utilizarse para analizar la vulnerabilidad específica de un predio en particular, sino para evaluar el riesgo global del municipio. Por esta misma razón los resultados se agregan a nivel de manzana para efectos de análisis y presentación gráfica.

Por otro lado se aclara que los análisis realizados no reemplazan en ningún momento la necesidad de realizar estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico para edificaciones importantes de la ciudad tales como edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, edificaciones donde se reúnan un gran número de personas y otras similares.

Finalmente el análisis de riesgo que se presenta solo es aplicable a las interpretaciones realizadas en el presente estudio y no deben utilizarse para otros fines tales como definición de posibles intervenciones de edificaciones particulares, cambios de uso ni cualquier otro objetivo diferente a los aquí planteados.

7.2 ENFOQUE METODOLÓGICO

A continuación se presenta un resumen del enfoque metodológico utilizado para la evaluación del riesgo sísmico de los municipios estudiados.

7.2.1 Generalidades

Para la evaluación del riesgo sísmico de las edificaciones de los municipios estudiados se utiliza la evaluación de la amenaza sísmica presentada en el Capítulo 3 complementada por el análisis de respuesta dinámica del subsuelo que se evaluó en los Capítulos 4 y 5 y por la zonificación sísmica planteada en el Capítulo 6. En este capítulo se desarrolla entonces el tema de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los tipos constructivos predominantes en la ciudad con el fin de poder completar el análisis de riesgo deseado.

El riesgo sísmico puede expresarse en términos de varios parámetros tales como porcentaje de daños, pérdidas esperadas, pérdidas máximas probables, número y distribución de personas afectadas y número de heridos, número de muertos y otras. A continuación se da una breve definición y/o explicación de cada uno de los parámetros de riesgo a emplear:

- (a) *Daño esperado*: se evalúa mediante el modelo probabilístico como el valor esperado del daño que se puede llegar a presentar en términos de porcentaje. Está asociado a un escenario sísmico particular (definido mediante una ubicación y una magnitud de sismo dados) y naturalmente a la probabilidad de ocurrencia de dicho escenario.
- (b) *Pérdida económica directa esperada*: se define como el valor esperado de la pérdida en términos de pérdidas económicas y normalmente se da en valor (millones de pesos, MDP). Para estimarlo se requiere tener una evaluación del valor expuesto de la edificación, también conocido como valor de reposición o valor asegurable de la edificación. Este valor se calcula con base en el valor comercial de cada bien. No incluye las pérdidas indirectas, ni las pérdidas en los contenidos asociados, ni las pérdidas consecuenciales o de lucro cesante.
- (c) *Prima Pura de Riesgo*: se define como la pérdida anual esperada que tiene el inmueble en estudio. De cobrarse esta prima durante un tiempo infinito se podrían llegar a pagar todos los daños que en ese lapso se pudieran presentar en ese riesgo en el sitio donde se encuentra. Adicionalmente, a la Prima Técnica se deben sumar los costos de operación, adquisición y utilidad (entre otros), que cobraría una compañía de seguros para llegar al valor de prima comercial, que depende también de las condiciones instantáneas del mercado.
- (d) *Pérdida Máxima Probable*: es la mayor pérdida que puede esperarse para el conjunto de riesgos asegurables para un periodo de retorno estimado. Depende de los riesgos individuales y de la distribución geográfica del portafolio que se esté analizando. Así el PML, como proporción del valor asegurable, será alto cuando se tenga una alta concentración de “riesgos malos” geográficamente y será bajo cuando se tenga una adecuada distribución geográfica de esos riesgos. Por otro lado el PML depende de nivel de riesgo que se esté dispuesto a aceptar por lo cual en general se cuenta con una curva de variación del PML en función del periodo de retorno de análisis, el cual a su vez está asociado con un tiempo de exposición y una probabilidad de excedencia aceptada. Dado que el PML es la pérdida máxima que se puede esperar para el

portafolio de construcciones analizado, se debe tratar de buscar una protección financiera al menos igual al valor de PML determinado.

- (e) *Número de afectados*: se trata del número de personas afectadas por un determinado evento. Está relacionado con el porcentaje de afectación de cada una de las edificaciones expuestas y con la densidad poblacional en las edificaciones. Se presenta normalmente en forma de distribución geográfica. Se evalúa para escenarios sísmicos específicos.
- (f) *Número de Heridos*: se trata de un estimativo del número de heridos en función del porcentaje de daño esperado en cada una de las construcciones y de la densidad poblacional. Las funciones se han calibrado con base en las estadísticas disponibles de número de heridos ocurridos en terremotos recientes. Se evalúa para escenarios sísmicos específicos.
- (g) *Número de muertos*: se trata de un estimativo del número de muertos en función del porcentaje de daño esperado en cada una de las construcciones y de la densidad poblacional. Las funciones se han calibrado con base en las estadísticas disponibles de número de muertos ocurridos en terremotos recientes. Se evalúa para escenarios sísmicos específicos.

La metodología de cálculo tiene en cuenta la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos en todas las fuentes generadoras del país. También considera la atenuación de las ondas sísmicas con lo cual las magnitudes y posiciones epicentrales de los sismos se transforman en intensidades locales en sitios de terreno firme. Luego establece la influencia de las características del suelo en la intensidad sísmica local.

Adicionalmente contiene las relaciones entre intensidad del movimiento sísmico y daños, también conocidas como relaciones de vulnerabilidad, que dependen directamente de las características del riesgo expuesto. A partir de estas relaciones se determina el porcentaje de daños que sufriría una estructura determinada si ocurriera un sismo que, en el sitio de ubicación, produjera una intensidad dada. Con base en este porcentaje de daños se puede entonces evaluar la pérdida esperada en términos económicos y los demás parámetros de evaluación del riesgo propuestos.

Desde el punto de vista del análisis de retención y transferencia del riesgo se evalúan las pérdidas anuales esperadas promedio o primas puras de riesgo y las pérdidas máximas probables para diferentes períodos de retorno de análisis. Para analizar la situación específica con las compañías de seguros se tiene en cuenta la influencia de deducibles, límites de responsabilidad y coaseguros. Adicionalmente se realizan análisis por capas de riesgo para determinar la distribución de las primas y los valores de pérdida esperada en cada capa, con el fin de optimizar el diseño de la estrategia de seguros, tema que se desarrolla en el siguiente capítulo.

Para el caso particular de cálculo del PML de un riesgo determinado, se generan cientos de posibles escenarios sísmicos (muchos posibles temblores localizados en diferentes puntos de la zona de influencia del estudio), cada uno con la misma probabilidad de ocurrencia. Para cada escenario se calcula la pérdida esperada de cada riesgo, obteniendo así la pérdida esperada del conjunto durante ese evento sísmico. Una vez calculada la pérdida esperada para cada escenario sísmico, se reportan los cinco peores escenarios incluyendo las características del

sismo crítico que ocasionará las mayores pérdidas a dicho conjunto de riesgos (mayor pérdida esperada) y el valor de PML para el conjunto asociado a varios periodos de retorno prefijados.

Una vez calculadas las pérdidas para todos los escenarios sísmicos posibles, se calcula la Prima Pura de Riesgo que se ve influenciada por la ocurrencia tanto de eventos grandes poco frecuentes (baja probabilidad de ocurrencia), como de eventos de menor tamaño que ocurren con mayor frecuencia (con alta probabilidad de presentarse).

Adicionalmente es posible realizar las evaluaciones descritas para un sismo determinado. En este caso se escoge un sismo cualquiera factible de presentarse (asociado a algún sistema de fallas identificado y con una magnitud en el rango de magnitudes posibles para dicha falla), proporcionando como datos de entrada el epicentro del sismo y la magnitud del mismo. En este caso se obtienen los valores de pérdida esperada del conjunto de riesgos para el sismo de interés.

En cada caso se deberá definir el nivel de información que permita obtener resultados confiables según el alcance deseado. Por lo tanto es importante determinar la disponibilidad de dicha información, y adelantar los procedimientos de complementación de la misma que resulten necesarios en cada caso. Así pues, entre mejor sea la información empleada en el análisis, los resultados finales serán más confiables.

Para este tipo de análisis se utilizan las metodologías de cálculo y evaluación del riesgo más modernas, disponibles a nivel internacional incluyendo la mejor información sísmica existente en la actualidad a nivel nacional y a nivel regional para la zona de estudio. Sin embargo, por tratarse de estimativos de situaciones futuras, los resultados que arroja el modelo son de índole probabilístico y constituyen sólo indicaciones de los posibles resultados de eventos futuros a la luz del estado actual del conocimiento.

También es posible incluir en la estimación, el cálculo de pérdidas de contenidos y consecuenciales con base en la información suministrada. Para el caso de obras de infraestructura de tipo administrativo, de servicio a la comunidad, servicios públicos, sitios de reunión y similares las pérdidas en los contenidos y las consecuenciales resultan de vital importancia ya que éstas pueden llegar a ser tan o más importantes que las pérdidas directas. Sin embargo, dado el alcance del presente estudio estas evaluaciones detalladas no se han realizado.

7.2.2 Vulnerabilidad sísmica estructural

La vulnerabilidad estructural es la relación entre la intensidad sísmica y el nivel de daño. En este enfoque la intensidad sísmica se mide con la aceleración espectral. El nivel de daño se puede estimar tomando la deriva de entrepiso como parámetro de referencia, el cual se calcula como el desplazamiento relativo entre dos niveles contiguos, dividido entre la altura del piso. Existe un número importante de estudios que concluyen que dicho parámetro de la respuesta estructural presenta la mejor correlación con el daño estructural registrado. (Bertero et al., 1991; Moehle, 1992; Moehle, 1996; Miranda, 1997; Priestley, 1997; Sozen, 1997). Contrario a la mayoría de metodologías empleadas que basan la estimación del daño en la Intensidad de Mercalli Modificada, el método que se emplea está basado en un parámetro que presenta una excelente correlación con el daño producido por la acción de sismos intensos.

A partir de la aceleración espectral es posible determinar la máxima distorsión de entrepiso con la siguiente expresión:

$$\gamma_i = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \left(\eta N^\rho \right)^2}{4 \pi^2 N h} S_a(T) \quad (4)$$

β_1 es la relación entre el máximo desplazamiento lateral en el nivel superior de la estructura y el desplazamiento espectral, considerando un modelo de comportamiento elástico lineal. Este factor depende del tipo estructural y del número de pisos de la estructura. Se calcula a partir de la solución de la ecuación diferencial que describe el comportamiento de un sistema acoplado, compuesto por una viga continua de cortante y otra de flexión, sometido a carga lateral que varía con la altura. El grado de participación de las deformaciones laterales de corte y de flexión en el sistema es función del parámetro αh que depende del sistema estructural. Por ejemplo, en un edificio flexible construido a base de pórticos de concreto (sin muros estructurales ni arriostramiento) dominan las deformaciones laterales de corte, mientras que en una construcción estructurada con muros de concreto reforzado las deformaciones de flexión son las predominantes. Mayor información sobre cómo estimar este parámetro se encuentra en Miranda (1997), donde se muestran muy buenos resultados en la estimación de desplazamientos laterales máximos utilizando este enfoque.

β_2 describe la relación entre la máxima distorsión de entrepiso y la distorsión global de la estructura, que se define como el máximo desplazamiento lateral en la azotea dividido por la altura total. β_2 depende del grado de participación de las deformaciones laterales de corte y flexión, y del tipo estructural. Tiene en cuenta el hecho que en general las deformaciones laterales durante in sismo intenso no se distribuyen uniformemente con la altura de la edificación, sino que hay una tendencia a concentrar grandes deformaciones de entrepiso en algunos niveles (ver Miranda, 1997).

β_3 expresa la relación entre el máximo desplazamiento lateral del modelo de comportamiento inelástico, y el desplazamiento máximo del modelo elástico lineal. Este factor depende de la demanda de ductilidad al desplazamiento, el periodo fundamental de vibración de la estructura y el tipo de suelo que la soporta. Es calculado con funciones que han sido calibradas con estudios estadísticos de relaciones entre el máximo desplazamiento lateral de osciladores de un grado de libertad con comportamiento inelástico, y sus contrapartes en comportamiento elástico. Dichas calibraciones han sido realizadas para osciladores sometidos a cientos de acelerogramas registrados en diferentes tipos de suelo durante más de 25 sismos ocurridos a nivel mundial. Para estructuras sobre suelos blandos, β_3 no sólo depende del periodo fundamental de vibración de la estructura sino más bien de la relación entre este y el periodo dominante del suelo. Para más información sobre esta parámetro véase Miranda 1991; Miranda 1993; y Miranda 1997. La demanda de ductilidad global de la estructura se estima con la aceleración espectral asociada al periodo de vibración de la estructura, la resistencia ante cargas laterales de la misma, y el factor de reducción de las cargas aplicadas. La resistencia lateral de la estructura depende de la ubicación y la edad de la misma, lo que hace posible clasificar las estructuras en términos de normativas y códigos de construcción vigentes en el momento de ser construidas.

β_4 es la relación entre los factores β_2 elástico e inelástico. Este factor tiene en cuenta que la distribución de la carga lateral con la altura es diferente en el modelo elástico y en el inelástico. En el caso de comportamiento inelástico se produce una gran concentración de la fuerza. Este factor depende del número de pisos y del nivel de deformación inelástica de la estructura, que

se mide en términos de la demanda de ductilidad al desplazamiento. Para más información al respecto véase Miranda (1997).

η y ρ son factores para estimar el periodo fundamental de la estructura a partir del número de pisos, N :

$$T = \eta N^{\rho} \quad (5)$$

Estos factores dependen de la ubicación de la estructura, el tipo estructural, el tipo de suelo y el año de construcción. Tienen en cuenta el hecho de que la rigidez lateral de las estructuras localizadas en zonas de alta sismicidad es mayor que el de estructuras ubicadas en zonas de baja sismicidad. También consideran que las estructuras construidas sobre suelos blandos son más flexibles que las construidas en suelos firmes debido a la flexibilidad de la cimentación. Estos parámetros han sido calibrados con modelos analíticos, resultados experimentales y diferentes consideraciones siguiendo los requerimientos que se presentan en las últimas normas. Debe anotarse que se asigna un nivel de incertidumbre en la determinación del período T , y es tenida en cuenta dentro del análisis.

h es la altura de cada piso de la estructura, que depende del tipo estructural, la ubicación geográfica y la fecha de construcción.

$S_a(T)$ es la aceleración espectral, que depende del periodo fundamental de vibración, el amortiguamiento de la estructura y la amenaza sísmica en el sitio.

Una vez se determina la máxima distorsión de entrepiso de la estructura, su vulnerabilidad puede ser incrementada por varios factores. Algunos de estos factores son los siguientes: irregularidades en planta o en altura, golpeteo con edificaciones vecinas, daños previos no reparados, columnas cortas, asentamientos, sobrepeso, etc.

El valor esperado del daño de la estructura, dado un valor de distorsión máxima de entrepiso, se calcula de la siguiente forma:

$$E(\beta | \gamma_i) = 1 - \exp \left[\ln 0.5 \left(\frac{\gamma_i}{\gamma_0} \right)^{\varepsilon} \right] \quad (6)$$

donde β es la pérdida bruta, γ_0 y γ_i son parámetros de vulnerabilidad estructural que dependen del sistema estructural y la fecha de construcción, y $E(.)$ es el valor esperado. Nótese que por definición, β es la proporción entre el valor de reparación y el valor total, y su valor está entre 0 y 1.

La vulnerabilidad sísmica de una edificación se tiene en cuenta en la metodología empleada mediante curvas de vulnerabilidad (curva que relaciona el daño en los elementos estructurales y no estructurales con el aumento de la intensidad sísmica). Para determinar las curvas de vulnerabilidad se generan modelos analíticos para reproducir el comportamiento de la estructura ante un sismo con características definidas, en la medida que se disponga de información acerca de las propiedades de los materiales utilizados en la construcción de la edificación y la geometría de la estructura es posible generar curvas de vulnerabilidad específicas. En el presente caso se utilizan modelos simplificados de comportamiento con los cuales se pueden estimar las variables relevantes en el comportamiento sísmico de la edificación con base en los

cuales se establecen curvas de vulnerabilidad típicas para el sistema estructural de la edificación analizada. En la Figura 7.1 se presenta una descripción esquemática del procedimiento de cálculo de las funciones de vulnerabilidad empleadas.

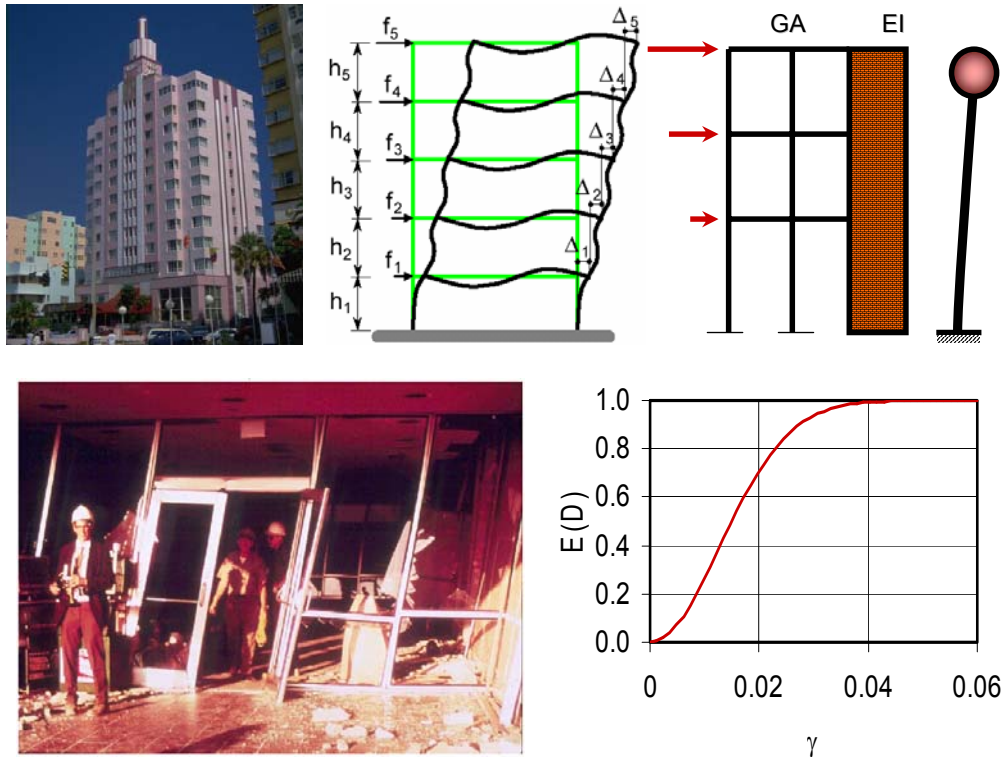


Figura 7.1 Procedimiento de cálculo de las curvas de vulnerabilidad.

Se utilizaron curvas de vulnerabilidad características para los tipos constructivos de las edificaciones identificadas e incluidas en la base de datos. Dichas curvas o funciones características de daño se han determinado con base en una serie de modelos analíticos típicos, los cuales incluyen las características geométricas, las propiedades de materiales, los detalles del diseño y las masas y cargas actuantes (muertas, vivas y sísmicas). Cada modelo ha sido sometido a un estudio analítico completo, el cual se ha complementado con información experimental obtenida en diferentes proyectos específicos relacionados con estudios sísmicos de edificaciones y estructuras. Esto ha permitido la determinación de funciones de vulnerabilidad o de daño aproximadas para los diferentes tipos constructivos. Las curvas de vulnerabilidad que se utilizan en el modelo utilizan la distorsión de piso o la deriva de la edificación como parámetro clave para calificar el nivel de daño esperado en ante la acción sísmica correspondiente.

En el presente caso y considerando los diferentes tipos estructurales dominantes encontrados en las ciudades estudiadas se han desarrollado funciones de vulnerabilidad específicas que dependen no solo de la deriva máxima de entrepiso sino de la aceleración máxima del terreno. En ese caso el sistema permite la modificación de las ecuaciones para considerar el nivel de daño en función de la aceleración máxima del terreno para cada escenario sísmico evaluado.

El procedimiento a seguir para la calificación de la vulnerabilidad sísmica fue el siguiente:

- (a) Tipificación de los tipos constructivos dominantes en las ciudades con base en visitas de inspección a las mismas.
- (b) Cálculo analítico de las funciones de vulnerabilidad de los tipos constructivos característicos.
- (c) Visitas de inspección para levantamiento de información detallada de edificaciones.
- (d) Creación de la base de datos de edificaciones que conforman el portafolio incluyendo datos de las visitas de inspección.
- (e) Asignación a cada edificación dentro de la base de datos del tipo constructivo característico con base en los tipos definidos.

Una vez caracterizada la vulnerabilidad de cada construcción se procede al análisis general del riesgo.

7.2.3 Evaluación de pérdidas

Para adelantar la evaluación del riesgo se requiere la determinación de la función de densidad de probabilidad de la pérdida, la cual se asume como del tipo Beta, con dos parámetros fundamentales que son el valor esperado y la varianza. El valor esperado está dado en la ecuación 6 y sus parámetros ya fueron determinados mediante el análisis de vulnerabilidad explicado. Para la determinación de la varianza, β dado γ_i , $\sigma^2(\beta|\gamma_i)$, que es el otro parámetro básico de la función se cuenta en general con muy poca información. Sin embargo, se sabe que cuando el valor esperado del daño es cero, también lo es su dispersión. De igual forma cuando el valor esperado del daño es 1, la dispersión es cero. Se analizaron resultados del ATC-13 (ATC, 1985) para establecer la variación de la varianza con respecto al cambio en el valor esperado del daño. Así se realizaron simulaciones con estructuras simples, y se obtuvo la siguiente expresión para la variación de la varianza (Ordaz et al, 1998; Ordaz, 1999):

$$\sigma_{\beta}^2(\beta|\gamma_i) = Q(E(\beta|\gamma_i))^{r-1} (1-E(\beta|\gamma_i))^{s-1} \quad (7)$$

Donde

$$Q = \frac{V_{\max}}{D_0^{r-1} (1-D_0)^{s-1}} \quad s = \frac{r-1}{D_0} - r + 2$$

V_{\max} , D_0 y r dependen del tipo estructural. Una vez se ha determinado $E(\beta|\gamma_i)$ y $\sigma^2(\beta|\gamma_i)$, se establece la función de densidad de probabilidad de β (Ordaz et al, 1998; Ordaz, 1999).

7.2.4 Efecto de coaseguro, límite y deducible

Hasta ahora se ha discutido la estimación de la pérdida bruta, β . Para efectos del análisis de retención y transferencia del riesgo en los términos comerciales de las compañías de seguros se requiere calcular la pérdida neta β_N , que resulta de aplicar coaseguro, deducible y límite. Para estimar la pérdida neta se consideran las variables C , D y L , coaseguro, deducible y límite respectivamente, expresados como una fracción del valor expuesto. La pérdida neta se define de la siguiente manera:

$$\beta_N = \begin{cases} 0, & \text{si } \beta < D \\ \beta - D, & \text{si } D < \beta < L \\ L - D, & \text{si } \beta > L \end{cases} \quad (8)$$

no se incluye explícitamente el efecto del coaseguro, ya que este es una constante proporcional que afecta a la pérdida después de haber sido aplicado el deducible.

Bajo estas condiciones la densidad de probabilidad de $\beta_N|\gamma_i$ se puede expresar de la siguiente (Ordaz, 1999):

$$\begin{aligned} \Pr(B_N = 0) &= Ba(D, A, B) \\ \Pr(B_N < \beta_N) &= Ba(\beta_N + D, A, B) \\ \Pr(B_N = L - D) &= 1 - Ba(L, A, B) \end{aligned} \quad (9)$$

donde A y B corresponden a los parámetros canónicos de la distribución Beta de β , determinados por:

$$A = \frac{1 - E(\beta|\gamma_i) - E(\beta|\gamma_i)C^2(\beta|\gamma_i)}{C^2(\beta|\gamma_i)} \quad B = A \left[\frac{1 - E(\beta|\gamma_i)}{E(\beta|\gamma_i)} \right] \quad (10)$$

$C^2(\beta|\gamma_i) = \sigma^2(\beta|\gamma_i)/E^2(\beta|\gamma_i)$ es el coeficiente de variación de $\beta|\gamma_i$, y $Ba(x;A,B)$ es la función Beta Acumulada. Los momentos estadísticos de $\beta_N|\gamma_i$, como el valor esperado y la varianza pueden calcularse a partir de las expresiones dadas.

7.2.5 Cálculo de la Prima Pura

La prima pura, también conocida como prima técnica, refleja el valor de la pérdida anual esperada, que se define como el valor esperado de la pérdida que se tendría en un año cualquiera, suponiendo que el proceso de ocurrencia de los sismos es estacionario y que a las estructuras dañadas se les restituye su resistencia inmediatamente después de un sismo.

Se puede calcular de la siguiente manera (Ordaz et al, 1998; Ordaz, 1999):

$$PP = \int_0^{\infty} -\frac{dv(S_a)}{dS_a} E(\beta|\gamma_i(S_a)) dS_a \quad (11)$$

Se tiene en cuenta la intensidad sísmica S_a , la tasa de excedencia de dicha intensidad $v(S_a)$, que mide el peligro sísmico, y el valor esperado del daño para dicha intensidad $E(\beta_N|\gamma(S_a))$, que refleja la vulnerabilidad estructural.

7.2.6 Cálculo de la Pérdida Máxima Probable (PML)

La pérdida máxima probable (PML) de una cartera de edificaciones es un estimador del tamaño de las pérdidas máximas que sería razonable esperar en dicha cartera durante la ocurrencia de un evento sísmico. En este modelo se define como la pérdida promedio que ocurriría para un periodo de retorno determinado. Por lo tanto es necesario calcular las tasas de excedencia de las pérdidas netas del portafolio, $\beta(P_N)$. Si en la j -ésima fuente se genera un sismo, la pérdida neta para el portafolio será:

$$P_{Nj} = \sum_i V_i \beta_{Nji} \quad (12)$$

donde V_i es el valor de la i -ésima estructura, β_{Nji} es la pérdida neta en la estructura i , si un sismo con las características determinadas ocurre en la fuente j , y la sumatoria se hace para incluir todas las edificaciones de la cartera. La determinación exacta de la función de densidad de probabilidad de P_{Nj} es bastante complicada. En este modelo se asume que la cantidad $P_{Nj}/\sum_i V_i$ también se distribuye como una variable aleatoria Beta. Así el valor esperado de P_{Nj} se puede calcular fácilmente como sigue:

$$E(P_{Nj}) = \sum_i V_i E(\beta_{Nji} | \gamma_{ij}) \quad (13)$$

donde γ_{ij} es la máxima deriva de entrepiso experimentada por la estructura i si un sismo de magnitud conocida se genera en la fuente j . Sin embargo, para calcular la varianza de P_{Nj} , se debe tener en cuenta la correlación existente entre los diferentes tipos de pérdidas que se pueden generar tanto en la estructura como en los contenidos de la misma. En este modelo se asume que, dada la ocurrencia de un sismo, todas las pérdidas tienen un coeficiente de correlación de 0.3. Este valor se ha determinado al examinar carteras de edificaciones reales y calibrando el efecto de emplear diferentes valores para este coeficiente.

Una vez se conoce el valor esperado y la varianza de P_{Nj} , las tasas de excedencia de P_N se pueden calcular de la siguiente manera (Ordaz et al, 1998; Ordaz, 1999):

$$\mu(P_N) = \sum_j \int_{M_o}^{M_u} -\frac{d\lambda_j(M)}{dM} \Pr(P_{Nj} > P_N | M) dM \quad (14)$$

donde $\lambda_j(M)$ es la tasa de excedencia de la magnitud M en la fuente j , y la sumatoria tiene en cuenta los efectos de todas las fuentes sísmicas. Una vez se han realizado estos cálculos se puede determinar el PML para cada caso.

7.2.7 Sistema de Cálculo

Para adelantar las evaluaciones de pérdidas esperadas, primas puras de riesgo y PML se utiliza el sistema RS-COL que consiste en una herramienta de cálculo basada en la metodología explicada en los numerales anteriores que realiza la evaluación uno a uno para todas las edificaciones identificadas en cada uno de los municipios analizados. En el Anexo 7.1 se

presenta una breve descripción del sistema así como de los datos de entrada requeridos para el análisis de riesgo sísmico.

7.2.8 Estimación de número de afectados, heridos y muertos

La estimación del número de afectados, heridos y muertos se realiza para cada uno de los escenarios específicos planteados, los cuales se determinan de acuerdo con las condiciones generales de amenaza de la zona y según los objetivos a corto, mediano y largo plazo que permitan una adecuada planeación al municipio según sus capacidades reales.

7.2.8.1 Antecedentes

Más allá de las pérdidas económicas que los sismos ocasionan es prioritario proteger a las personas tanto de sufrir accidentes como de morir durante estos eventos, labor que debe estar a cargo tanto por parte de los gobiernos como por parte de la sociedad civil y sus individuos. De esta manera se adelanta la estimación del número de afectados, heridos y muertos para los municipios de Palmira, Tuluá y Buga teniendo en cuenta las características de los escenarios sísmicos de análisis y de los tipos estructurales que determinan la ocurrencia de este tipo de afectación según el daño esperado.

Debido a la combinación e interacción de varios factores dichas estimaciones presentan grandes incertidumbres. Se deben tener en cuenta no sólo los factores relacionados con la determinación del daño en los edificios sino también la distribución de la población y la hora de ocurrencia del evento sísmico entre otros factores de índole social, cultural y económico. Así pues se emplea una metodología aproximada que tiene en cuenta el número de heridos y muertos debido al colapso parcial o total de las edificaciones con base en factores de calificación que dependen del daño esperado y el tipo de edificio así como la hora de ocurrencia del evento.

El terremoto de Popayán ocurrido el 31 de marzo de 1983, destruyó la ciudad de Popayán generando un gran impacto en la economía del país. El sismo de magnitud intermedia ($M_b = 5.5$) generó efectos importantes en la capital del departamento del Cauca. Más de la mitad de las víctimas (cerca de 250 personas) perecieron en la Catedral. Cerca de 15.000 viviendas, ubicadas en los 23 barrios de la ciudad quedaron completamente destruidas; en el municipio de Cajibío solo seis, de las 124 casas, quedaron en pie. Las réplicas posteriores causaron estragos sobre las edificaciones y muchas de ellas tuvieron que ser demolidas en la etapa de reconstrucción de la ciudad. Dos de los movimientos, tres días después, dejaron más de 10 heridos cuando los propietarios de las viviendas intentaban recuperar sus pertenencias. Los damnificados, unas 120.000 personas, deambularon durante tres días por las calles de Popayán.

El 25 de enero de 1999 un terremoto de magnitud $M_s=6.2$ a unos 15 km de profundidad ocurrido en el Eje Cafetero en cercanías de la ciudad de Armenia generó uno de los peores desastres naturales en el país. Según cifras no oficiales causó la muerte a cerca de 1,200 personas, produjo 4,600 heridos, 4,800 desaparecidos y más de 250,000 damnificados destruyendo unas 37,000 viviendas y ocasionando daños de consideración a otras 43,000 con unos costos directos estimados en 900 millones de dólares.

El sismo de Pizarro, un terremoto de 6.7 en la escala de Richter (M_s) sacudió el oeste de Colombia el día 15 de Noviembre de 2004, no causó muertos aunque sí una decena de heridos,

daños en cerca de medio centenar de edificaciones y pánico entre la población. El fuerte terremoto se sintió con gran intensidad en las localidades sobre el litoral de la costa Pacífica colombiana. En Cali, capital del departamento del Valle, el sismo causó daños considerables en algunas edificaciones, incluidas dos clínicas, que fueron evacuadas. A pesar de los daños, las construcciones no sufrieron en general daños de consideración. En el puerto de Buenaventura hubo siete heridos leves y 19 viviendas resultaron afectadas.

7.2.8.2 Afectados

El número de personas afectadas durante un sismo depende del porcentaje de afectación de cada una de las edificaciones expuestas y de la densidad poblacional de las mismas. Se trata de evaluar en general el número de personas o familias que deben ser reubicadas y que requieren viviendas temporales o definitivas.

Se evalúan con base en el número de edificaciones y su máxima capacidad de ocupación para porcentajes de daño superiores al 30%. Por otro lado también se calcula la afectación en términos del número estimado de personas cuyos sitios de trabajo quedan afectados (daños en el sector comercial e industrial).

7.2.8.3 Víctimas durante sismos

Durante la ocurrencia de sismos en el mundo se ha observado que existen al menos cuatro causas por las que un sismo puede provocar víctimas. Estas son:

1. Causas individuales relacionadas con el pánico como infartos, arrojados desde pisos altos y caídas en intentos de evacuación. A la fecha no se tienen reportadas muertes asociadas a pánico grupal aunque no se descarta que en un futuro puedan ocurrir.
2. Caída o deslizamiento de los contenidos y elementos no estructurales de los edificios como muebles pesados, libreros, plafones, cristales rotos y objetos en repisas, entre otros.
3. Colapso parcial o total de los edificios.
4. Causas indirectas a los sismos que causan daños de grandes dimensiones como deslizamientos, derrumbes, licuación de arenas y maremotos.

Históricamente las víctimas causadas por pánico durante sismos muy intensos en el mundo solo se han podido contabilizar en sismos donde los daños no son muy grandes, y casi siempre se habla de uno o dos casos. Cuando hay colapsos, este dato es ignorado por la prensa que se concentra en las víctimas causadas por éstos. Aún más difícil es encontrar información acerca de muertos por golpes de elementos no estructurales y contenidos. En el 2003 ocurrió un gran sismo en Japón donde la prensa reportó más de 160 heridos por objetos dentro de sus casas y días después se notificó que al menos dos de estos habían perdido la vida. Recientemente se ha documentado que durante el sismo de Kobe (Hengjian et al., 2003) hasta un 6 por ciento de las víctimas mortales ocurrieron en edificios sin daño, causados por el pánico y el golpe de objetos. Para el caso de los municipios del Valle del Cauca se puede asumir que las muertes provocadas por pánico o caída de elementos no estructurales son muy difíciles de predecir pero a la vez son poco numerosas. Por esta razón, en este trabajo se limita el alcance a cuantificar el

número y tipo de afectados de acuerdo solo a los daños causados por el colapso de estructuras individuales. Lo anterior parece una simplificación razonable ya que no existirán daños por maremoto y por la configuración topográfica dentro del área de estudio no es de esperarse la ocurrencia de deslizamientos masivos que afecten un número considerable de construcciones simultáneamente, excepto en el caso de Buga donde se hace evidente una zona de alta amenaza por deslizamiento (ver Capítulo 2).

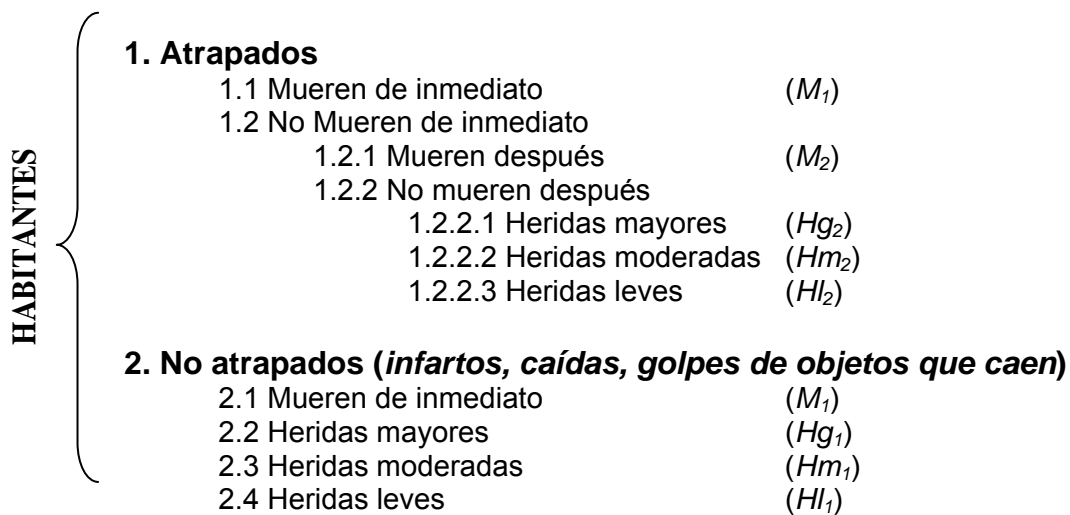
7.2.8.4 Clasificación de víctimas durante un sismo

Las víctimas de un sismo se pueden clasificar en cuatro categorías:

1. Muertos (M)
2. Heridos de gravedad (H_g), requieren atención inmediata especializada de urgencias
3. Heridos (H_m), requieren hospitalización pero no está en peligro su vida.
4. Heridos leves (H_l), requieren atención en el sitio

Con fines de rescate, conviene hacer una clasificación en términos de cuál fue la afectación que tuvieron dependiendo de su suerte como ocupantes después de la ocurrencia del sismo. Así, se define si quedan atrapados o no y cómo influye el rescate en ellos de acuerdo a la Tabla 7.1. Esta tabla presenta la clasificación de muertos y heridos durante y después de la ocurrencia de un sismo. El estado final del ocupante se indica según ha muerto (M) o queda herido (H) y el número indica la etapa donde ocurre ese estado de manera que el estado 1 corresponde al momento de ocurrir el sismo y el 2 a días después

Tabla 7.1 Diagrama de la clasificación de muertos y heridos después de la ocurrencia de un sismo



El número de muertes inmediatas dependerá fundamentalmente de la intensidad del sismo y de la capacidad de las construcciones para resistirlo sin colapsarse o arrojar cuerpos pesados sobre las personas. Esto estará dado por la suma de los dos conceptos M_1 que aparecen en la Tabla 7.1 (conceptos 1.1 y 2.1).

La capacidad de reacción de la sociedad, en este caso de las instancias de emergencia que existan en cada uno de los municipios y de la organización de la población civil, tiene una influencia grande en los valores de M_2 . Esto no solo se refiere a la capacidad actualmente

instalada sino que a mayores daños durante un evento sísmico, mayores valores de M_2 proporcionalmente a la poca capacidad que se tendrá para atender simultáneamente a todos los edificios que presentaron colapso; desgraciadamente, no se tienen datos para poder hacer estimaciones para sismos futuros. De igual manera, otras condiciones pueden aumentar los valores de M_2 como la época del año y la temperatura ambiente, la cantidad de agua de lluvia, etc. Por ejemplo, durante el sismo de Leninakan en Armenia fueron muy pocos los atrapados que fueron rescatados con vida debido al intenso frío que hubo durante la primera noche.

7.2.8.5 Metodología para estimar las víctimas por edificio durante eventos futuros

El primer paso para estimar las víctimas probables ante la ocurrencia de un sismo es calcular el riesgo sísmico de cada estructura. Para ello se deberá tomar en cuenta la intensidad sísmica y las características de vulnerabilidad (las cuales fueron definidas en mayor detalle al inicio del presente capítulo). Una vez que se estima el riesgo se puede asociar este a una cierta probabilidad de colapso. Esto no es fácil ya que el cálculo del riesgo sísmico puede arrojar una pérdida determinada pero esto no corresponde directamente a la probabilidad de colapso de esta estructura. Para el presente estudio se define que a partir de una pérdida esperada mayor del 45 por ciento la probabilidad de que colapse la estructura es cercana a uno. Esto puede ser conservador para algunas estructuras que a pesar de quedar muy dañadas no colapsan, pero no se cuenta con la información necesaria para realizar un cálculo más exacto.

El número de víctimas, " N_{V_i} ", para el edificio i ubicado en cada uno de los municipios estudiados dado un terremoto j se puede calcular como:

$$N_{V_i} = \text{Ocupantes}_i \times \text{Atrapados (\%)} \times \text{Fatalidad (\%)} \times F_{C_j} \quad (15)$$

En donde:

Ocupantes: es el número total de personas que están presentes en el edificio i a la hora que ocurre el sismo j ; este dato se calcula para cada uno de los escenarios (día y noche) con base en el área construida de la edificación y la densidad promedio de habitantes por metros cuadrado de construcción para cada municipio.

Atrapados: es el porcentaje de ocupantes del edificio que quedan atrapados con vida debajo de los escombros de la edificación, este factor depende del tipo estructural.

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

F_{C_j} : es el Factor de Colapso, de cero a uno, obtenido a partir del cálculo del riesgo sísmico dado por un terremoto j ; es una estimación de la probabilidad de colapso de la estructura a partir del daño de ésta.

A continuación se definen con más detalle estos factores.

7.2.8.6 Factor de Colapso (F_C) de un edificio

El primer paso en el cálculo de víctimas mortales durante un sismo es definir si el edificio colapsará. Ante las dificultades de que presenta esta evaluación, este factor se evalúa de manera general a través del porcentaje de daño calculado para cada uno de los escenarios de análisis.

A partir de los daños observados en sismos ocurridos en Colombia y otros países en vías de desarrollo se ha encontrado que en general las estructuras con pérdidas menores al 10 por ciento no colapsarán, por lo que $F_C=0$, y que las estructuras con pérdidas mayores a 45 por ciento presentarán algún tipo de colapso, es decir, $F_C=1.0$. Sin embargo, es posible que algunas estructuras, a pesar de experimentar poco daño, sufran algunos colapsos parciales que pudieran causar lesiones a sus ocupantes. Con base en lo anterior se construye una curva de probabilidad de colapso en función del porcentaje de daño de la estructura, la cual está representada por la siguiente ecuación.

$$FC = 1 - 0.5^\theta \quad (16)$$

En donde

$$\theta = \left(\frac{\text{Pérdida del edificio [\%]}}{30\%} \right)^5$$

En la Figura 7.3 se muestra el cálculo de F_C en función de la pérdida arrojada por el estudio de riesgo sísmico.

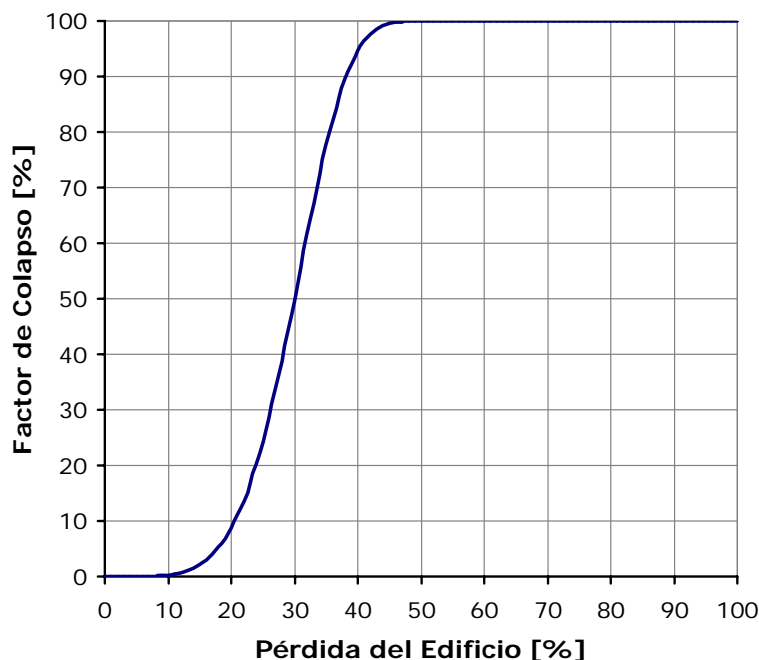


Figura 7.2 Cálculo del Factor de Colapso (F_C), dada la pérdida obtenida del estudio de riesgo sísmico.

7.2.8.7 Factores que definen el número de atrapados con vida y la fatalidad

La experiencia mundial indica que no existe ningún edificio que sea cien por ciento letal. En todos ellos existen condiciones que permiten que sus ocupantes sobrevivan al colapso y, dependiendo de las condiciones de rescate, pueden eventualmente con vida. Independientemente del riesgo sísmico del edificio y de todos los valores involucrados para definirlo, los siguientes son los factores que influyen, una vez que el edificio colapsa parcial o totalmente, en el número de atrapados con vida que se pueden encontrar en él.

1. **Intensidad sísmica:** si la duración del movimiento sísmico es mayor al tiempo de colapso se provocarán reacomodos que dificultarán el rescate. En el caso de los municipios del Valle del Cauca, al tratarse de sismos muy intensos pero cortos (sismos regionales de gran magnitud o sismos cercanos de magnitud intermedia), este factor no se tomará en cuenta.
2. **Tipo de contenidos:** entre más voluminosos los contenidos, mayores espacios quedarán entre ellos. Debido a la falta de información sobre los contenidos no se tomará en cuenta esta variable para la estimación de víctimas.
3. **Hora de ocurrencia:** La hora de ocurrencia del sismo es determinante en el número de personas afectadas como se ha visto históricamente en varias ciudades y regiones del mundo. Así pues, si el sismo ocurre en la noche afectará a las personas en zonas residenciales, mientras que si ocurre en el día la afectación también se verá repartida en zonas comerciales, industriales, centros educativos y demás lugares de trabajo. Para el cálculo de afectados es necesario determinar el número de personas bajo techo en cada edificación (de día y de noche), con base en el número total de personas del municipio. Lo anterior se realiza empleando la información suministrada con respecto al destino de la edificación y el área construida correspondiente. Se asume una densidad de ocupación promedio constante de 15m²/hab para las edificaciones de destino salud (hospitales y centros de salud). Luego con base en dicha densidad y las áreas construidas se calcula el número de personas en dicho destino y se determina el porcentaje de la población correspondiente en cada municipio. La población restante se reparte según los porcentajes que se presentan en la Tabla 7.2. Es importante anotar que existen variaciones si se considera el día de la semana ya que los factores son aproximadamente válidos para días hábiles pero serán muy diferentes para fines de semana o días festivos, estos refinamientos no se implementaron en el presente estudio.

Tabla 7.2 Porcentajes de ocupación según la hora del día Relación de Fotografías Aéreas

| Destino | Total Personas | | Personas Bajo Techo | |
|--------------|------------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | Día [%] | Noche [%] | Día [%] | Noche [%] |
| Residencial* | 20 | 20 | 90 | 100 |
| Comercial* | 80 | 80 | 90 | 100 |
| Salud | 15 m ² /hab | | 100 | 100 |

*NOTA: Corresponde a un porcentaje sobre la población restante, es decir el total de personas menos la población calculada en destino de salud.

4. **Edad y salud de los ocupantes:** Se tiene documentado que sitios con ocupantes con desventajas de salud y físicas tienen índices de fatalidad mayores hasta por 20%. Durante el terremoto de México en 1985 el mayor número de muertos se concentró en adultos entre 25 y 40 años. Esto se debe en parte a que los muertos ocurrieron sobre todo en hospitales donde los trabajadores tenían en promedio ese rango de edad. Al no haber más información sobre esta variable no se tomará en cuenta para estimar los muertos en los tres municipios analizados del Valle del Cauca.
5. **Tipo de estructura:** forma de colapso con o sin huecos, número de pisos, material de la estructura y del techo. Por su importancia, este factor se desarrolla con más detalle en el numeral siguiente.

7.2.8.8 Tipo de estructura

Es fundamental identificar el tipo estructural y su relación con el número estimado de atrapados después de un colapso y la posibilidad de rescatarlos con vida. Estudios del sismo de Kobe (Hengjian et al., 2003) indican que la mayor parte de los muertos (85%) ocurrieron en antiguos edificios de dos pisos de madera que no tenían espacio de supervivencia porque el sistema de piso colapsó completamente, que el 6% se presentó en edificios con colapso pero con espacio de supervivencia y, en contraste, otro 6% ocurrió en edificios sin daño. Pero esta realidad solo se presenta en esa ciudad. En las ciudades latinoamericanas, las víctimas mortales probablemente se presentarán en estructuras con poca ingeniería (adobe, mampostería sin confinar) o en estructuras de concreto reforzado poco dúctiles o previamente dañadas.

La fatalidad en edificios de mampostería varía desde 5-18% en Turquía e Italia hasta 75-90% en Irán (Pomonis et al., 1991). Según Pomonis et al. (1991) los edificios de concreto reforzado son los grandes responsables de las muertes durante terremotos, al menos durante los últimos 30 años. Si bien el concreto reforzado ha logrado la creación de estructuras económicas y muy resistentes, la eventual falla de estos resulta muy grave para sus ocupantes debido principalmente al tipo de colapso y al peso mismo del concreto. El primer colapso de una estructura de concreto reforzado ocurrió durante el sismo de Bucarest, donde este tipo estructural fue el causante de entre el 30 y el 80 por ciento de los muertos. La Tabla 7.3 muestra un resumen de los sismos más importantes de 1977 a 1990 y los muertos causados por el concreto reforzado. Los muertos suman más de 20,000, que en total alcanzan alrededor de una sexta parte del total de muertos durante sismos (118,000) en el mismo lapso. El porcentaje de letalidad por edificio varía entre 20 y 97 por ciento.

Tabla 7.3 Sismos ocurridos de 1977 a 1995 y los muertos causados por el colapso de estructuras de concreto reforzado.

| Sismo | Fecha [dd/mmmm/aaa] | Hora | Colapsos | Muertos | Muertos en CR [%] |
|---------------------------|------------------------|-------|----------|---------|-------------------------|
| Bucarest, Rumania | 04/Marzo/1977 | 21:21 | 23 | 1570 | 70 |
| Thessaloniki, Grecia | 20/Junio/1978 | 22:03 | 1 | 45 | 80 |
| México, México | 19/Marzo/1979 | | 1 | 35 | 90 |
| Asnam, Algeria | 10/Octubre/1980 | 12:25 | 1+ | 3500 | 40 |
| Korinthos, Grecia | 21/Febrero/1981 | 22:54 | 6 | 21 | 33 |
| México, México | 19/Septiembre/1985 | 07:19 | 175 | 7700 | 80 |
| Kalamata, Grecia | 12/Septiembre/1986 | 20:25 | 1 | 20 | 30 |
| San Salvador, El salvador | 10/Octubre/1986 | 11:49 | 8 | 1500 | 30 |
| Leninakan, Armenia | 7/Diciembre/1988 | 11:41 | 72 | 25000 | 30 |
| Loma Prieta, USA | 18/Octubre/1989 | 17:04 | 1 | 67 | 63 |
| Newcastle, Australia | 28/Diciembre/1989 | 09:26 | 1 | 11 | 100 |
| Luzón, Filipinas | 16/Julio/1990 | 16:28 | 25+ | 1550 | 75 |
| Carientini, Italia | 9/Diciembre/1990 | 01:24 | 3 | 20 | 75 |
| Colima, México | 9/Octubre/1995 | | 1 | 35 | 100 |

En los dormitorios del Hospital General en el terremoto de México se llevó a cabo una entrevista con algunos de los sobrevivientes (Durkin y Ohashi, 1988) donde se encontró que 8 (44%) de ellos confesaron haber vivido gracias a los huecos dejados por vigas y contenidos; 10 (56%) de los sobrevivientes necesitaron tratamiento hospitalario; 16 (89%) quedaron atrapados aunque todos menos uno fueron rescatados dentro de las primeras 5 horas. Solo dos fueron rescatados por personal de emergencias, el resto por sus colegas y empleados del hospital.

El Factor de Letalidad (FL) se define como el cociente entre el número de muertos de un edificio que tuvo colapso parcial o total entre el número de ocupantes. Este factor depende de varios parámetros como el tipo de estructura y su posible colapso, uso del edificio, niveles de ocupación del inmueble, tipo de movimiento del terreno, tipo de ocupantes y de acciones que ocurran después del sismo como capacidad de búsqueda y rescate. La efectividad en la estimación del número de muertos dependerá de la adecuada parametrización de los factores anteriores. Algunos factores dependen a su vez de otros, como la efectividad en la respuesta de rescate que será menor a medida que el edificio sea más grande o con más ocupantes. La Tabla 7.4 muestra la fatalidad de algunos edificios de concreto reforzado en el mundo.

Tabla 7.4 Algunas estructuras colapsadas de concreto reforzado y su factor de letalidad.

| Sismo | Edificio | Uso | Ocupantes | Muertos | Factor de Letalidad [%] |
|-----------------|------------------|---------------|------------------|----------------|--------------------------------|
| Michoacán 85 | Nuevo León | Vivienda | 1200 | 468 | 39 |
| | Centro Médico | Dormitorio | 76 | 36 | 47 |
| | Hospital Juárez | Hospital | 471 | 342 | 73 |
| | Hospital General | Hospital | 950 | 561 | 59 |
| San Salvador 86 | Rubén Dario | Institucional | 500 | 300 | 60 |
| | Santa Catalina | Escuela | 50 | 30 | 60 |
| | Min. Planeación | Oficina | 64 | 13 | 20 |
| Kalamata 86 | Departamentos | Vivienda | 25 | 6 | 24 |
| Lininakan 88 | Textil | Fabrica | 212 | 205 | 97 |
| | | Escuela | 302 | 285 | 94 |
| | | Vivienda | 40 | 10 | 25 |

En la Tabla 7.5 se presenta un resumen de los factores de atrapados y fatalidad para los tipos estructurales más comunes que se encuentran en los municipios de Palmira, Tuluá y Buga. Estos factores han sido propuestos en función del tipo de colapso y del material de la estructura y para ello se ha tomado en cuenta la experiencia de los sismos que han ocurrido durante los últimos 40 años en todo el mundo.

Tabla 7.5 Factores de atrapados y fatalidad para los tipos estructurales encontrados en los municipios del Valle del Cauca.

| ID | Sistema Estructural | ATRAPADOS [%] | FATALIDAD [%] |
|----|---|---------------|---------------|
| 1 | Adobe / Tapia | 5 | 15 |
| 2 | Bahareque | 2 | 10 |
| 3 | Mampostería Simple | 5 | 15 |
| 4 | Primer piso Confinado, Segundo piso en mampostería simple. | 5 | 15 |
| 5 | Mampostería Medianamente Confinada | 5 | 15 |
| 6 | Mampostería Confinada | 5 | 15 |
| 7 | Mampostería Reforzada | 5 | 15 |
| 8 | Reticular Celulado con Muros de Mampostería | 50 | 50 |
| 9 | Pórticos Viejos con Muros de Mampostería | 20 | 40 |
| 10 | Pórticos Nuevos con Muros de Mampostería | 20 | 40 |
| 11 | Pórticos con Muros de Concreto | 20 | 40 |
| 12 | Edificaciones con Muros de Concreto | 15 | 30 |
| 13 | Bodega con cubierta apoyada sobre Mampostería Simple | 7 | 20 |
| 14 | Bodega con columna en metal y cubierta metálica con muros de Mampostería | 7 | 20 |
| 15 | Bodega con cerramiento, Pórticos rellenos con Mampostería y Cubierta Metálica | 7 | 20 |
| 16 | Sistema Combinado o Similar a algún sistema | 5 | 15 |
| 17 | Esterilla | 2 | 10 |
| 18 | Iglesia | 20 | 40 |
| 19 | Edificio metálico | 2 | 10 |

En resumen, se asumen las siguientes hipótesis para el cálculo de víctimas mortales en los municipios de Palmira, Tuluá y Buga originadas por la ocurrencia de un evento sísmico:

- No habrá incendios que aumenten el número de víctimas.
- Se considera que el clima será templado, sin heladas ni calores excesivos que aumenten el número de víctimas.
- Se considera que las labores de emergencia no se verán rebasadas y que siempre habrá atención inmediata y hospitales suficientes.
- No se consideran explícitamente muertos por causas de pánico (infartos, caídas, suicidio) ni muertos por impacto de los contenidos de las edificaciones.
- No se tienen en cuenta posibles daños ni víctimas por la ocurrencia de deslizamientos, que pueden ser un factor adicional de amenaza especialmente en el municipio de Buga (especialmente en cercanías del sector Alto Bonito y del cerro el Derrumbadero).
- El alcance se limita a cuantificar el número y tipo de afectados de acuerdo sólo a los daños causados por el colapso de estructuras individuales.

7.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Una de las actividades principales para la adecuada evaluación del riesgo es la conformación de las bases de datos para el análisis. Esta labor bastante dispendiosa se adelantó utilizando diferentes recursos para cada uno de los municipios. En este numeral se presenta la metodología seguida y posteriormente se presentan los resultados para cada uno de los municipios.

7.3.1 Recolección de Información

Para la conformación de la base de datos se utilizaron los siguientes recursos principales:

- (a) Suministro por parte de cada uno de los municipios estudiados la información existente de los predios registrados en las bases catastrales respectivas.
- (b) Levantamiento de información de campo mediante visitas rápidas de inspección a cada una de las edificaciones de la ciudad. La información de campo permitió complementar la información de la base de datos catastral.
- (c) Toma de fotografías aéreas de baja altura para zonas representativas de la ciudad.

7.3.2 Información catastral por municipio

Cada uno de los municipios involucrados en el estudio suministró la información catastral correspondiente a los predios de cada ciudad. Dicha información consiste en bases de datos alfanuméricas y sus mapas digitales correspondientes debidamente georreferenciados. Los principales campos suministrados son los siguientes:

- Ficha catastral (Código Catastral)
- Dirección
- Avalúo Catastral 2004
- Área construida
- Área del terreno
- Información sobre el estrato socioeconómico
- Información sobre el número de Pisos
- Destino Económico
- Uso
- Cartografía georreferenciada para ubicación

En el Anexo 7.2 se presentan las bases de datos catastrales de cada uno de los municipios con la información directamente entregada por cada uno de ellos. Para el municipio de Buga y debido a que no se dispone de la georreferenciación de los predios incluidos en la base de datos catastral, los valores catastrales de las edificaciones se definieron de acuerdo con el área construida y el estrato socio-económico. Estos valores fueron asignados a cada uno de los predios levantados durante la visita de campo.

Adicionalmente, y con el fin de obtener mayor información correspondiente a los predios, se utilizó cartografía base de cada uno de los municipios. Para este caso se contó con información digital en formatos shp de ArcGis o dwg de AutoCAD. Los niveles de información de dicha cartografía fueron:

- Sectores catastrales, barrios, manzanas, predios, estrato socioeconómico con su respectiva identificación (labels)
- Zonas de uso, topografía, hidrografía, vías
- Información Geológica y Geomorfológico
- Líneas vitales de servicios públicos (varían según el municipio)
- Sitios de interés (hospitales, colegios, bomberos, fuerzas públicas, etc.)

En el Anexo 7.3 se presentan los planos digitales suministrados de cada uno de los municipios incluyendo la información más representativa.

7.3.3 Información de inspecciones de campo

Adicional a lo anterior y con el fin de conformar una base de datos lo más completa posible se adelantaron visitas de campo a cada una de las edificaciones de la ciudad. Para este efecto se conformaron grupos de trabajo compuestos por ingenieros civiles de la región y estudiantes de ingeniería civil de los últimos semestres. A cada grupo se le asignó una zona de la ciudad con base en los mapas catastrales suministrados para cada municipio.

Para garantizar la toma de datos adecuada, se diseñó un formato rápido de inspección que incluye las características estructurales y constructivas más importantes de la edificación. En este formulario se tienen en cuenta los campos de información obligatoria e información opcional que requiere el sistema RS-COL ver 2.1.

En la Figura 7.3 se presenta el formato utilizado para el levantamiento de la información de campo. En el Anexo 7.4 se presenta el Manual de Reconocimiento Predial entregado a cada grupo de trabajo con el fin de uniformizar los criterios para el levantamiento de la información.

Con base en el instructivo desarrollado se adelantó una capacitación a los diferentes grupos de trabajo constituidos (cinco grupos de dos personas cada uno). Se realizaron visitas de prueba con los grupos de trabajo para verificar la claridad de los conceptos y el entendimiento de los integrantes de cada grupo. Durante las presentaciones se explicaron los diferentes tipos estructurales existentes y las características de cada uno, así como la información complementaria del entorno de cada riesgo como estado actual de la edificación y la existencia de daños previos.

En el Anexo 7.5 se presenta en formato digital la base de datos conformada con base en los formatos de campo para cada uno de los municipios.

7.3.4 Fotografías aéreas

Para complementar la información catastral y la de campo se tomaron una serie de fotografías aéreas a baja altura de cada uno de los municipios. Esta información se utilizó principalmente para adelantar una zonificación por tipos constructivos en cada una de las ciudades y para complementar algunas de las características principales de la base de datos en ciertas zonas de la ciudad tales como número de pisos, tipos de cubiertas, edad de las construcciones y otras.

En el Anexo 7.6 se presentan las fotografías aéreas tomadas en cada uno de los municipios con un plano indicativo de la ubicación aproximada de cada una de ellas.

7.3.5 Información de población y de áreas

Para efectos de los análisis de riesgo en términos de número de personas afectadas, heridos y muertos se hace necesario establecer la distribución de la población del municipio para dos condiciones diferentes, un escenario de día y uno de noche. Para el efecto se toma la información básica de población existente en el municipio y se realiza un estimativo de la densidad máxima de ocupación de personas que puede presentarse en cada uno de los tipos constructivos con base en lo cual se realiza una estimación de la ocupación máxima de personas que puede llegar a tener cada una de las edificaciones incluidas en la base de datos.

La distribución de la información se realiza con base en las hipótesis de ocupación máxima indicadas en las Tablas 7.6 y 7.7.

Tabla 7.6 Población oficial, información de áreas y densidad de población por municipio.

| Municipio | Población Oficial 2004 [Hab] | Área Municipio [km ²] | Área Urbana Actual [km ²] | Densidad promedio de población urbana [Hab/km ²] |
|-----------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Palmira | 244,647 | 1007.1 | 20.4 | 11,992 |
| Tuluá | 165,195 | 910.0 | 13.5 | 12,237 |
| Buga | 115,627 | 768.4 | 9.6 | 12,045 |

Tabla 7.7 Hipótesis para estimativos de ocupación máxima

| Sector | Densidad de ocupación máxima estimada m ² /Hab |
|-----------------------|---|
| Viviendas, hoteles | 24.4 |
| Comercial, educativos | 2.5 |
| Salud | 15 |
| Lotes y otros | - |

7.3.6 Conformación de la base de datos

Toda la información suministrada y recolectada se utilizó para conformar una base de datos para cada uno de los municipios incluyendo información a nivel de predios. En la Tabla 7.8 se presenta un resumen de estadísticas básicas de la información definitiva incluida en la base de datos.

Tabla 7.8 Estadísticas de las bases de datos

| Municipio | Área Urbana Actual [km ²] | Número de Manzanas | Número Total de Predios | Número de Predios Analizados* | Promedio de Predios por Manzana |
|-----------|---------------------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Palmira | 20.4 | 2,105 | 49,658 | 44,697 | 23.6 |
| Tuluá | 13.5 | 1,760 | 36,221 | 33,352 | 20.6 |
| Buga | 9.6 | 1,005 | 22,711 | 22,055 | 22.6 |

*Nota: Los predios correspondientes a lotes sin construcción no son objeto de análisis.

Las bases de datos conformadas definitivas para cada uno de los municipios se presentan en forma detallada en el Anexo 7.7 en formato digital. Los campos que incluye cada una de las bases de datos se explican a continuación:

- REG: Identificación del registro con base en ficha catastral.
- ID_MZ: Identificación de la manzana.
- PISOS: Número de pisos.
- ESTAD_CO: Estado de la construcción.
- ESTRATO: Estrato socioeconómico.
- USO: Tipo de uso.
- ENTREPISO: Tipo de entrepiso.
- CUBIERTA: Tipo de cubierta.
- TIPO_EST: Tipo estructural.
- FECHA_CON: Fecha de construcción.
- DEFECTOS: Tipo de defectos encontrados si hay.
- DESTINO: Destino asignado.
- A_TERR: Área del terreno según información catastral suministrada.
- A_CONS: Área construida según información catastral suministrada.
- VAL_M2: Valor del m² construido.
- LONGITUD: Coordenada de Longitud °N.
- LATITUD: Coordenada de Latitud °E.
- TIPO_RN: .
- VAL_CAT: Avalúo catastral suministrado.
- VAL_COM: Valor comercial estimado como 1.25 veces el avalúo catastral.
- PR_PUM: Valor de prima pura al millar con base en el valor comercial estimado.
- PR_PURA: Valor de prima pura calculado.
- PERS_D: .
- PERS_DBT: Número de personas bajo techo en el día.
- PERS_N: Número de personas bajo techo en la noche.
- E1_T1_PO: Porcentaje de daño calculado para el escenario de fuente cercana, periodo de retorno 100 años.

-
- E1_T1_PE: Pérdida esperada en \$ calculada para el escenario de fuente cercana, periodo de retorno 100 años.
 - E1_T1_VD: Número de víctimas en el Día. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 100 años.
 - E1_T1_HD: Número de heridos en el Día. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 100 años.
 - E1_T1_AD: Número de afectados en el Día. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 100 años.
 - E1_T1_VN: Número de víctimas en la Noche. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 100 años.
 - E1_T1_HN: Número de heridos en la Noche. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 100 años.
 - E1_T1_AN: Número de afectados en la Noche. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 100 años.
 - E1_T2_PO: Porcentaje de daño calculado para el escenario de fuente cercana, periodo de retorno 500 años.
 - E1_T2_PE: Pérdida esperada en \$ calculada para el escenario de fuente cercana, periodo de retorno 500 años.
 - E1_T2_VD: Número de víctimas en el Día. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 500 años.
 - E1_T2_HD: Número de heridos en el Día. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 500 años.
 - E1_T2_AD: Número de afectados en el Día. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 500 años.
 - E1_T2_VN: Número de víctimas en la Noche. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 500 años.
 - E1_T2_HN: Número de heridos en la Noche. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 500 años.
 - E1_T2_AN: Número de afectados en la Noche. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 500 años.
 - E1_T3_PO: Porcentaje de daño calculado para el escenario de fuente cercana, periodo de retorno 1000 años.
 - E1_T3_PE: Pérdida esperada en \$ calculada para el escenario de fuente cercana, periodo de retorno 1000 años.
 - E1_T3_VD: Número de víctimas en el Día. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 1000 años.
 - E1_T3_HD: Número de heridos en el Día. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 1000 años.
 - E1_T3_AD: Número de afectados en el Día. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 1000 años.
 - E1_T3_VN: Número de víctimas en la Noche. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 1000 años.
 - E1_T3_HN: Número de heridos en la Noche. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 1000 años.
 - E1_T3_AN: Número de afectados en la Noche. Escenario de fuente cercana, periodo de retorno 1000 años.
 - E2_T1_PO: Porcentaje de daño calculado para el escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 100 años.
 - E2_T1_PE: Pérdida esperada en \$ calculada para el escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 100 años.

-
- E2_T1_VD: Número de víctimas en el Día. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 100 años.
 - E2_T1_HD: Número de heridos en el Día. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 100 años.
 - E2_T1_AD: Número de afectados en el Día. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 100 años.
 - E2_T1_VN: Número de víctimas en la Noche. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 100 años.
 - E2_T1_HN: Número de heridos en la Noche. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 100 años.
 - E2_T1_AN: Número de afectados en la Noche. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 100 años.
 - E2_T2_PO: Porcentaje de daño calculado para el escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 500 años.
 - E2_T2_PE: Pérdida esperada en \$ calculada para el escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 500 años.
 - E2_T2_VD: Número de víctimas en el Día. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 500 años.
 - E2_T2_HD: Número de heridos en el Día. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 500 años.
 - E2_T2_AD: Número de afectados en el Día. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 500 años.
 - E2_T2_VN: Número de víctimas en la Noche. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 500 años.
 - E2_T2_HN: Número de heridos en la Noche. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 500 años.
 - E2_T2_AN: Número de afectados en la Noche. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 500 años.
 - E2_T3_PO: Porcentaje de daño calculado para el escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 1000 años.
 - E2_T3_PE: Pérdida esperada en \$ calculada para el escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 1000 años.
 - E2_T3_VD: Número de víctimas en el Día. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 1000 años.
 - E2_T3_HD: Número de heridos en el Día. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 1000 años.
 - E2_T3_AD: Número de afectados en el Día. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 1000 años.
 - E2_T3_VN: Número de víctimas en la Noche. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 1000 años.
 - E2_T3_HN: Número de heridos en la Noche. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 1000 años.
 - E2_T3_AN: Número de afectados en la Noche. Escenario de fuente Intermedia, periodo de retorno 1000 años.
 - E3_T1_PO: Porcentaje de daño calculado para el escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 100 años.
 - E3_T1_PE: Pérdida esperada en \$ calculada para el escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 100 años.
 - E3_T1_VD: Número de víctimas en el Día. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 100 años.

-
- E3_T1_HD: Número de heridos en el Día. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 100 años.
 - E3_T1_AD: Número de afectados en el Día. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 100 años.
 - E3_T1_VN: Número de víctimas en la Noche. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 100 años.
 - E3_T1_HN: Número de heridos en la Noche. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 100 años.
 - E3_T1_AN: Número de afectados en la Noche. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 100 años.
 - E3_T2_PO: Porcentaje de daño calculado para el escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 500 años.
 - E3_T2_PE: Pérdida esperada en \$ calculada para el escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 500 años.
 - E3_T2_VD: Número de víctimas en el Día. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 500 años.
 - E3_T2_HD: Número de heridos en el Día. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 500 años.
 - E3_T2_AD: Número de afectados en el Día. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 500 años.
 - E3_T2_VN: Número de víctimas en la Noche. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 500 años.
 - E3_T2_HN: Número de heridos en la Noche. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 500 años.
 - E3_T2_AN: Número de afectados en la Noche. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 500 años.
 - E3_T3_PO: Porcentaje de daño calculado para el escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 1000 años.
 - E3_T3_PE: Pérdida esperada en \$ calculada para el escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 1000 años.
 - E3_T3_VD: Número de víctimas en el Día. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 1000 años.
 - E3_T3_HD: Número de heridos en el Día. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 1000 años.
 - E3_T3_AD: Número de afectados en el Día. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 1000 años.
 - E3_T3_VN: Número de víctimas en la Noche. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 1000 años.
 - E3_T3_HN: Número de heridos en la Noche. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 1000 años.
 - E3_T3_AN: Número de afectados en la Noche. Escenario de fuente Lejana, periodo de retorno 1000 años.

Los valores de reposición o valores asegurables incluidos en la base de datos se han calculado con base en los valores catastrales suministrados por las oficinas de planeación de cada uno de los tres municipios.

En la Tabla 7.9 se resumen los valores promedio estimados por metro cuadrado para cada uno de los estratos socio-económicos. El análisis presentado se realiza con base en los valores catastrales de cada uno de los predios analizados en cada municipio.

Tabla 7.9 Valores catastrales promedio por m² de construcción por sectores y estratos socio-económicos.

| Estrato | PALMIRA | | TULUA | | BUGA | |
|---------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| | Total Predios | Avalúo / m ² | Total Predios | Avalúo / m ² | Total Predios | Avalúo / m ² |
| 1 | 2,549 | \$ 343,257 | 994 | \$ 93,661 | 2,815 | \$ 131,101 |
| 2 | 18,410 | \$ 311,399 | 13,194 | \$ 116,970 | 4,703 | \$ 155,856 |
| 3 | 19,744 | \$ 398,849 | 16,379 | \$ 163,326 | 13,386 | \$ 198,654 |
| 4 | 4,979 | \$ 498,738 | 4,109 | \$ 192,462 | 278 | \$ 238,404 |
| 5 | 1,276 | \$ 571,525 | 1,452 | \$ 242,461 | 1,353 | \$ 291,821 |
| 6 | 0 | \$ 0 | 93 | \$ 691,031 | 176 | \$ 552,825 |

Nota: Los valores catastrales se han calculado con base en la información catastral suministrada.

En el presente análisis y considerando los objetivos y alcances establecidos no se consideran los valores asociados a contenidos ni los valores asegurable por lucro cesante.

En la Tabla 7.10 se explican los valores índices utilizados en las bases de datos relacionadas anteriormente. Para su referencia ver Anexo 7.1.

Tabla 7.10 Tablas para la interpretación de los valores índices de la base de datos.

Estado y Conservación

| CODIGO | ESTADO Y CONSERVACIÓN |
|--------|---|
| 1 | MAL ESTADO Edad > 15 años Presencia de grietas y defectos constructivos |
| 2 | ESTADO REGULAR Edad entre 15 – 5 años Presencia de grietas y descascaramientos |
| 3 | ESTADO BUENO Edad < 5 años |

Tabla 7.10. Tablas para la interpretación de los valores índices de la base de datos (continuación)
Uso

| CODIGO | TIPO | CARACTERÍSTICA |
|--------|------------------------|--|
| 01 | RESIDENCIAL | Predios destinados a vivienda |
| 02 | COMERCIO Y/O SERVICIOS | Comercio en corredor comercial que se desarrolla predio a predio o en centros comerciales que presentan una misma unidad arquitectónica y/o urbanística. |
| 03 | INDUSTRIAL | Predios en cuya edificación se desarrollan actividades de elaboración y/o transformación de materia prima. |
| 04 | EDUCATIVO | Predios dedicados a actividades educativas. Pueden ser de carácter oficial o particular. |
| 05 | SALUD | Predios dedicados a actividades de prestación de servicios en el área de la salud. Pueden ser de carácter oficial o particular. |
| 06 | INSTITUCIONAL | Predios dedicados a actividades administrativas o de gobierno (Administración Municipal) |
| 07 | RECREACIONAL | Predios dedicados al esparcimiento público o privado como parques de mayor extensión o clubes. |
| 08 | RELIGIOSO | Son los predios con características constructivas especiales, destinados al culto religioso. Tales como las iglesias y catedrales. |
| 09 | HOTELES | Predios comerciales, cuya edificación se destina al alojamiento de personas. Generalmente son edificios con altura no inferior a dos (2) pisos. |
| 10 | SUBESTACIÓN ELECTRICA | Predios ubicados en una zona donde se genera y transmite energía, y cumplen una labor específica en dicha actividad. |
| 11 | LOTE | Predios en donde no se ha hecho ningún tipo de construcción. Su área construida es cero (0 m ²) |
| 12 | OTROS | a. Agropecuarios: Clasificamos aquí los predios destinados a la explotación agrícola y/o ganadera. |
| 13 | | b. No Clasificado: Cuando se presentan espacios físicos con destinación económica no contemplada en las clasificaciones anteriores. |

Tipo de Cubierta

| CODIGO | TIPO | CARACTERÍSTICAS |
|--------|-----------------------|---|
| 01 | LIVIANA LUZ < 6 m | Cubiertas que están hechas con materiales como zinc, plástico o eternit. La estructura sobre la cual se colocan, es generalmente madera burda, esterilla de guadua o caña brava; también pueden estar apoyadas sobre cerchas metálicas. La luz entre cerchas es menor a 6 m. |
| 02 | LIVIANA LUZ 6–12 m | La luz entre cerchas varía de 6 a 12 m. |
| 03 | LIVIANA LUZ > 12 m | La luz entre cerchas es mayor a 12 m. |
| 04 | TEJA DE BARRO | Cubiertas que están hechas en barro (teja tipo española). Este tipo de cubierta predomina en el municipio de Palmira. Posee un color rojizo o escarlata. |
| 05 | LOSA DE CONCRETO | Son planchas en concreto, construidas como piso de un nivel superior no construido y utilizada por períodos más o menos largos como cubierta provisional para el caso de vivienda típica (No Propiedad Horizontal). En algunos casos tienen pequeños muros que ejercen la función de barandas; normalmente se aprecian salientes de varilla que indican la posible prolongación de la construcción. Para el caso de edificaciones en Propiedad Horizontal corresponde a la azotea en concreto que estas poseen. |

Tabla 7.10. Tablas para la interpretación de los valores índices de la base de datos (continuación)

Tipo Estructural

| TIPO | TIPO ESTRUCTURAL |
|------|--|
| 01 | Adobe / Tapia |
| 02 | Bahareque |
| 03 | Mampostería Simple |
| 04 | Primer piso Confinado, Segundo piso en mampostería simple. |
| 05 | Mampostería Medianamente Confinada |
| 06 | Mampostería Confinada |
| 07 | Mampostería Reforzada |
| 08 | Reticular Celulado con Rellenos de Mampostería |
| 09 | Pórticos Viejos con Rellenos de Mampostería |
| 10 | Pórticos Nuevos con Rellenos de Mampostería |
| 11 | Pórticos con Muros de Concreto |
| 12 | Edificaciones con Muros de Concreto |
| 13 | Bodega con cubierta apoyada sobre Mampostería Simple |
| 14 | Bodega con columna en metal y cubierta metálica con muros de Mampostería |
| 15 | Bodega con cerramiento, Pórticos rellenos con Mampostería y Cubierta Metálica. |
| 16 | Sistema Combinado o Similar a algún sistema |
| 17 | Esterilla – Estructura en madera |
| 18 | Iglesia |
| 19 | Edificio metálico |

Fecha de Construcción

| CODIGO | FECHA CONSTRUCCIÓN |
|--------|--------------------|
| 01 | 1900 – 1983 |
| 02 | 1984 – 1997 |
| 03 | 1998 – 2005 |

Defectos

| CODIGO | DEFECTO |
|--------|---|
| 01 | Columnas Cortas |
| 02 | Piso Débil |
| 03 | Alta Irregularidad en Planta |
| 04 | Alta Irregularidad en Altura |
| 05 | Casas unidas a edificaciones más bajas o más altas. |
| 06 | Casas en pendiente superior al 15% |

7.4 CARACTERIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información contenida en las bases de datos se somete a un tratamiento básico de depuración y caracterización. El proceso se realiza para cada uno de los tres municipios en forma independiente. Al final se presentan algunas comparaciones básicas entre municipios.

7.4.1 Municipio de Palmira

La caracterización inicial se relaciona con el número de componentes e información relacionada para cada uno de los sectores definidos en la base de datos. La Tabla 7.11 resume la información consolidada.

Tabla 7.11 Caracterización de la base de datos por sectores – Municipio de Palmira

| Destino | Estrato socio-económico | Número de manzanas | Número de predios | Área construida total [m ²] | Valor catastral [MDP] | Ocupación día [habitantes] | Ocupación noche [habitantes] |
|------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|---|-----------------------|----------------------------|------------------------------|
| Vivienda | 1 | 92 | 2,140 | 183,241 | 51,100 | 1,700 | 7,655 |
| | 2 | 658 | 17,097 | 1,614,759 | 440,492 | 14,977 | 67,456 |
| | 3 | 738 | 17,796 | 2,121,816 | 714,477 | 19,680 | 88,639 |
| | 4 | 209 | 3,749 | 516,143 | 211,258 | 4,787 | 21,562 |
| | 5 | 78 | 998 | 228,522 | 105,740 | 2,120 | 9,546 |
| Comercial e Industrial | | 149 | 2,720 | 647,459 | 361,878 | 155,886 | 48,070 |
| Salud | | 6 | 50 | 25,786 | 29,754 | 1,719 | 1,719 |
| Sin Edificar | | 175 | 2,407 | 40,462 | 150,283 | 0 | 0 |
| Total | | 2,105 | 46,958 | 5,378,334 | 2,065,023 | 200,868 | 244,647 |

Por otro lado las Figuras 7.4 a 7.14 presentan las distribuciones relativas de número de edificaciones de acuerdo con las siguientes variables: número de pisos, estado, estrato socio-económico, uso, destino, tipo estructural, fecha de construcción, área construida, avalúo catastral, valor promedio del m², y distribución del número de predios según densidad de construcción.

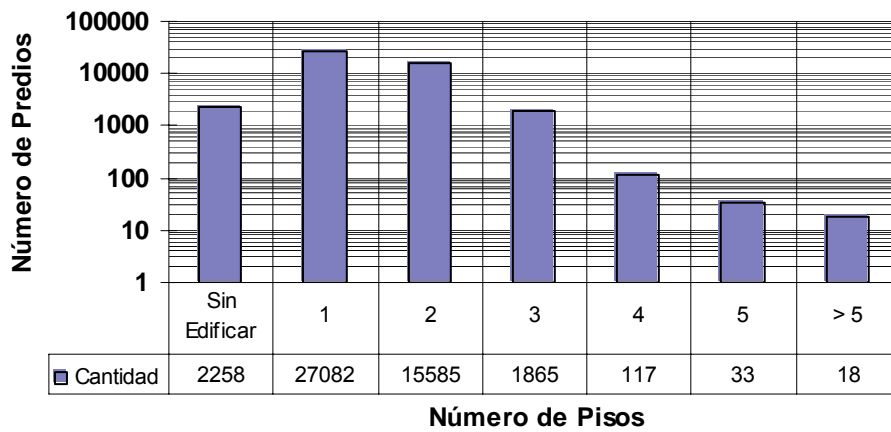


Figura 7.4 Distribución de número de predios según número de pisos

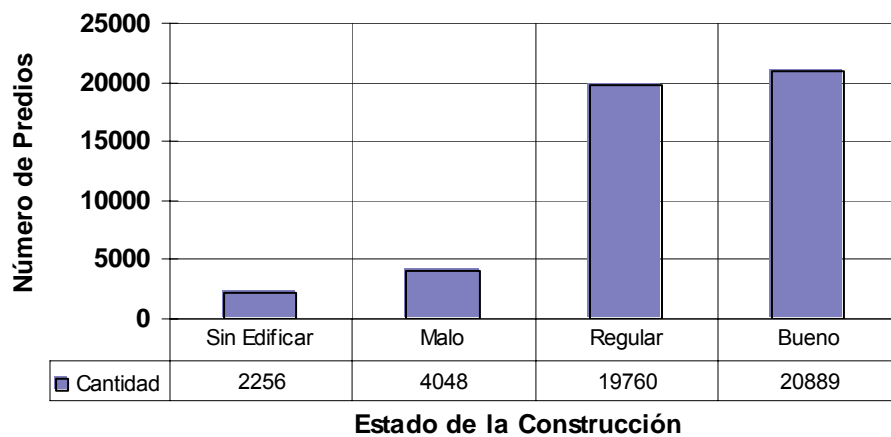


Figura 7.5 Distribución de número de predios según estado de las construcciones

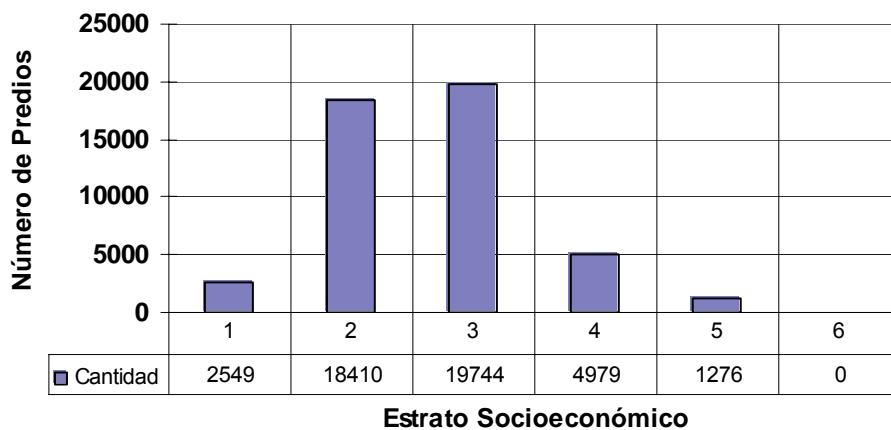


Figura 7.6 Distribución de número de predios según estrato socioeconómico

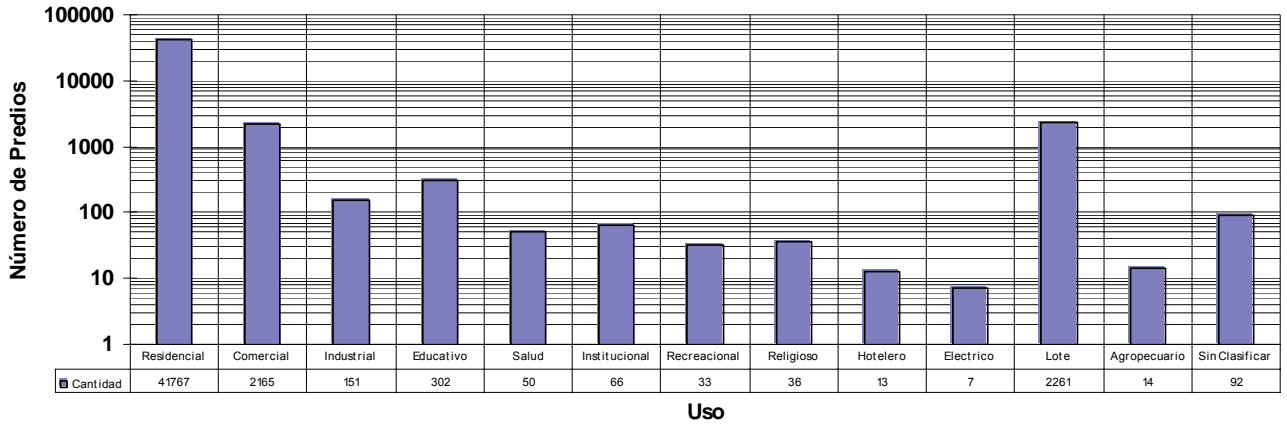


Figura 7.7 Distribución de número de predios según uso

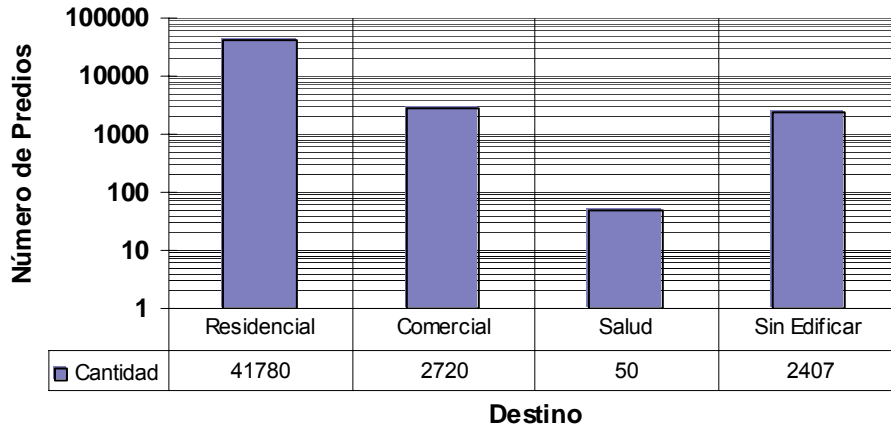


Figura 7.8 Distribución de número de predios según destino

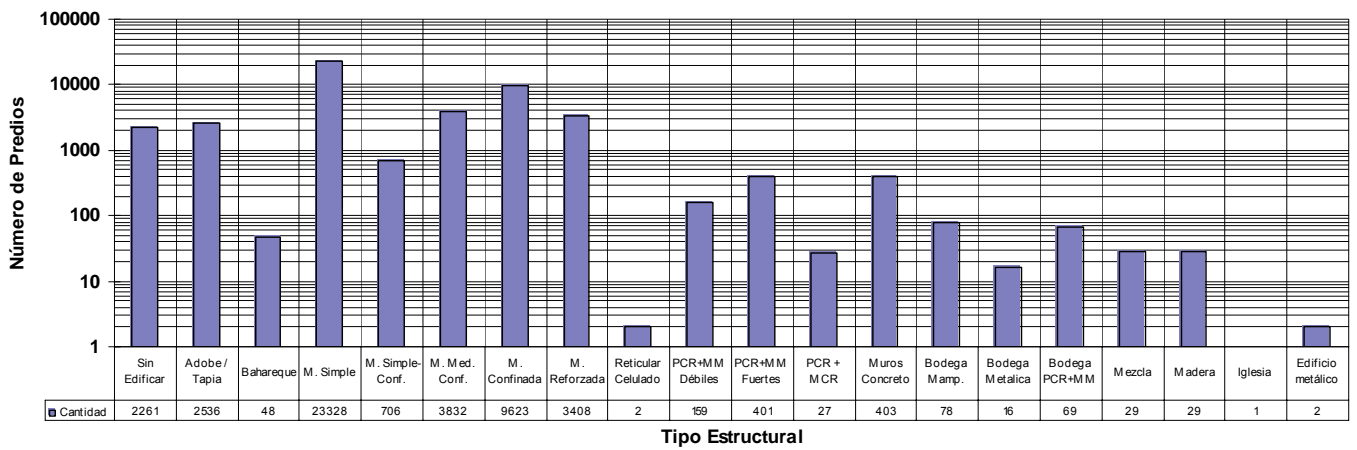


Figura 7.9 Distribución de número de predios según tipo estructural

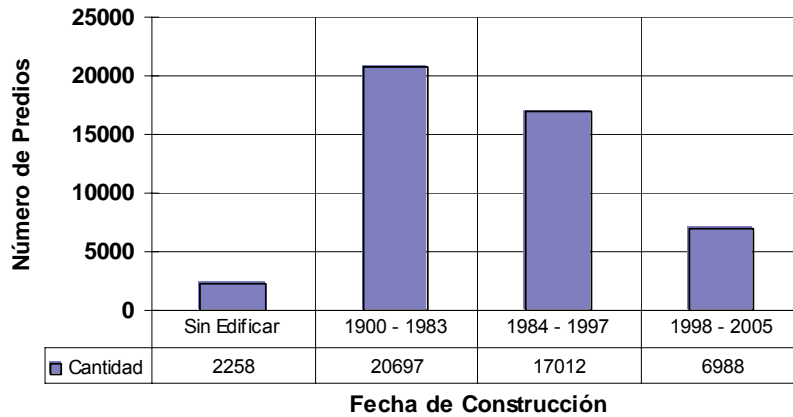


Figura 7.10 Distribución de número de predios según fecha de construcción

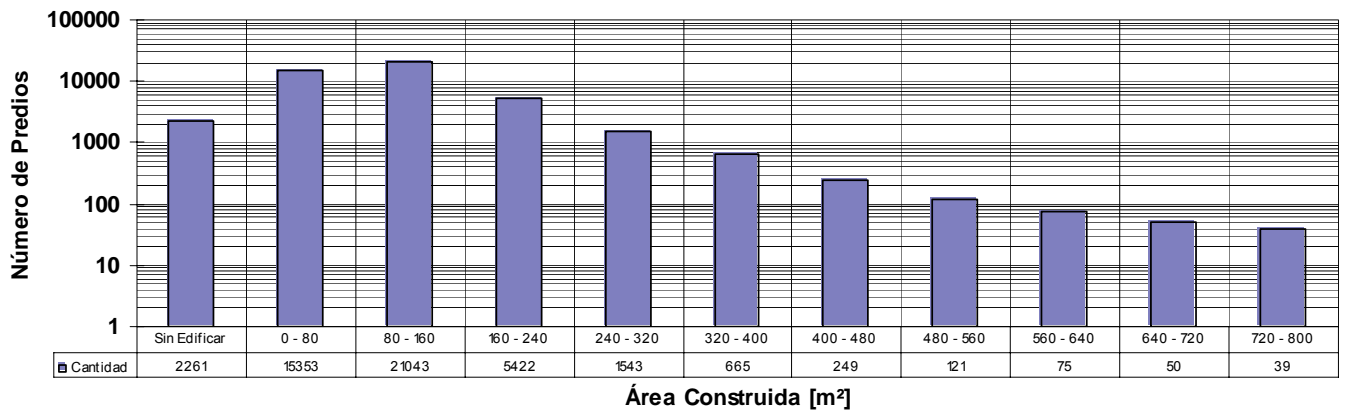


Figura 7.11 Distribución de número de predios según área construida

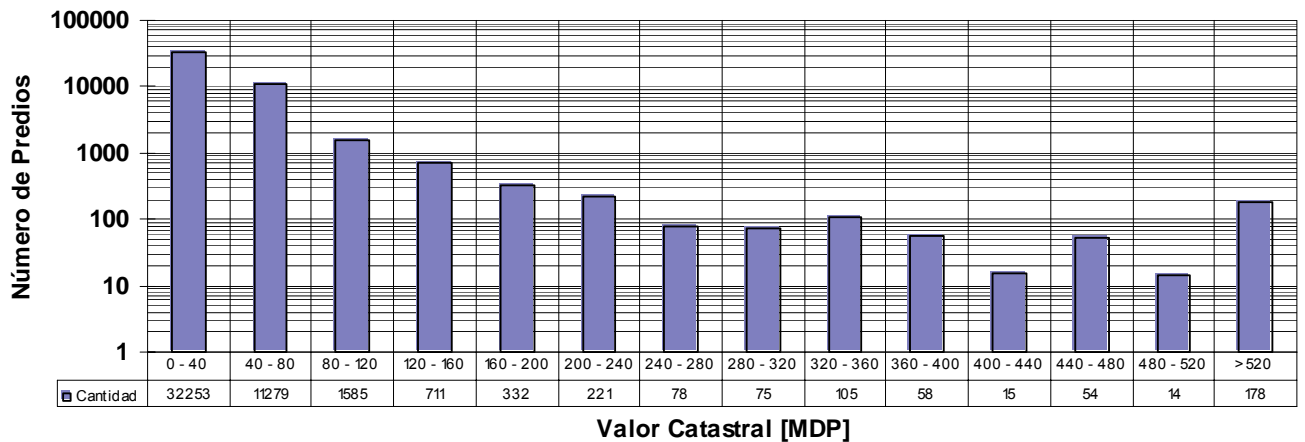


Figura 7.12 Distribución de número de predios según valor catastral

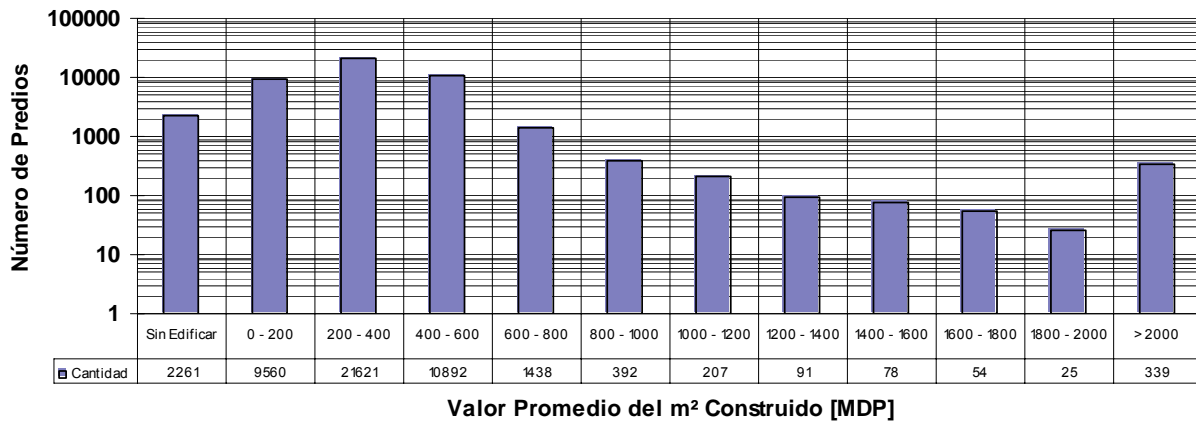


Figura 7.13 Distribución de número de predios según valor promedio del m² construido

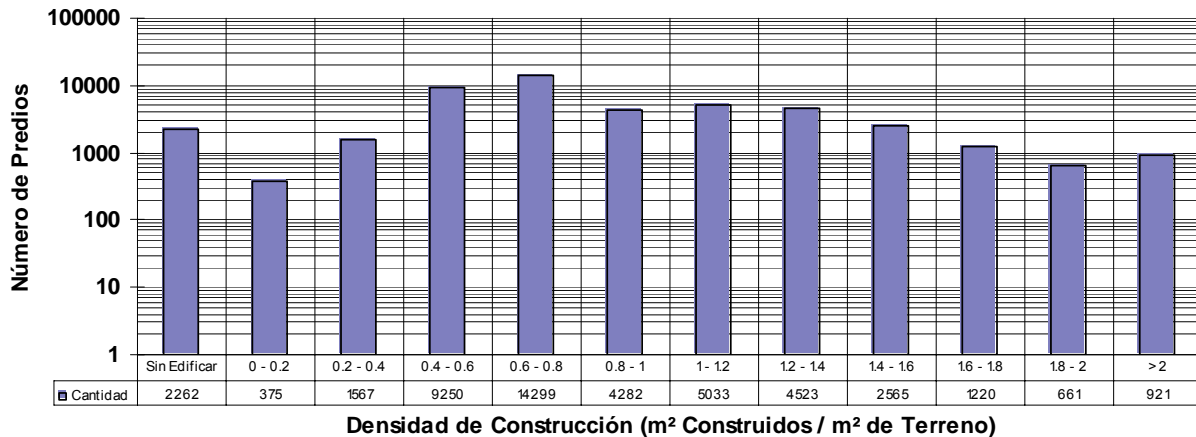


Figura 7.14 Distribución de número de predios según densidad de construcción

Para efectos de la presentación visual geográfica de los resultados, estos se analizan a nivel de manzanas. Para el efecto se utilizan las siguientes reglas de agregación para cada una de las variables graficadas:

- Número de pisos: la moda de los predios en cada manzana
- Estado de las construcciones: la moda de los predios en cada manzana
- Estrato socio-económico: la moda de los predios en cada manzana
- Uso: La moda de los predios de cada manzana.
- Destino: Es la unificación de usos en Residencial, comercial, salud y predios vacíos.
- Tipo estructural: la moda de los predios en cada manzana.
- Año de construcción: valor promedio
- Área construida: suma de áreas construidas de los predios en la manzana
- Valor catastral: la suma de los valores catastrales de todos los predios de la manzana.
- Valor promedio del m² construido: el valor de cada manzana dividido por el área construida de la manzana.
- Densidad de Construcción: la división de los m² construidos por manzana sobre el área total de cada manzana

Para efectos de comparación en la figuras 7.15 a 7.25 se presentan los histogramas de las variables analizadas por número de manzanas según las reglas de agregación explicadas.

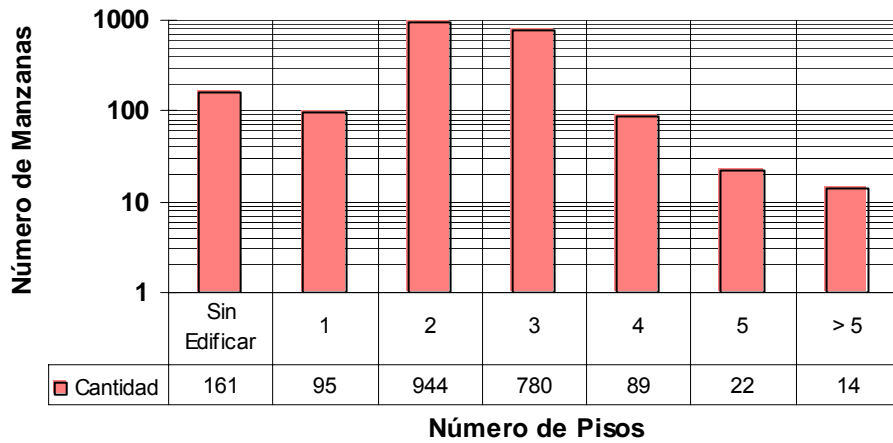


Figura 7.15 Distribución de número de manzanas según número de pisos

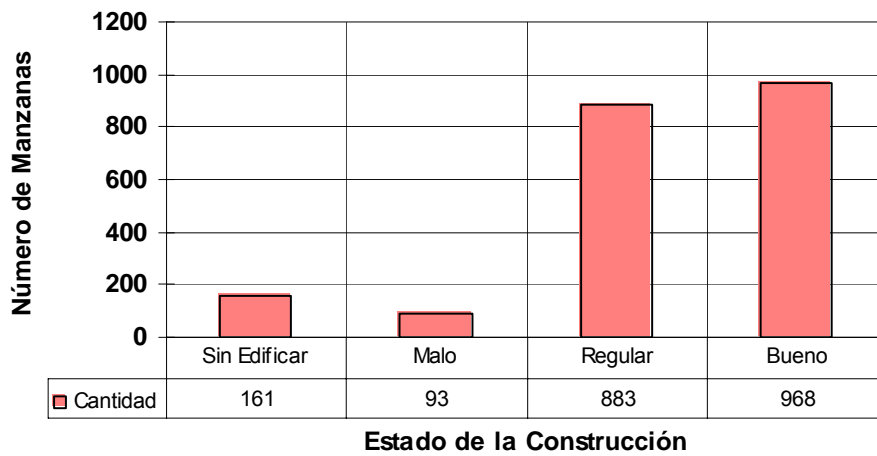


Figura 7.16 Distribución de número de manzanas según estado de la construcción

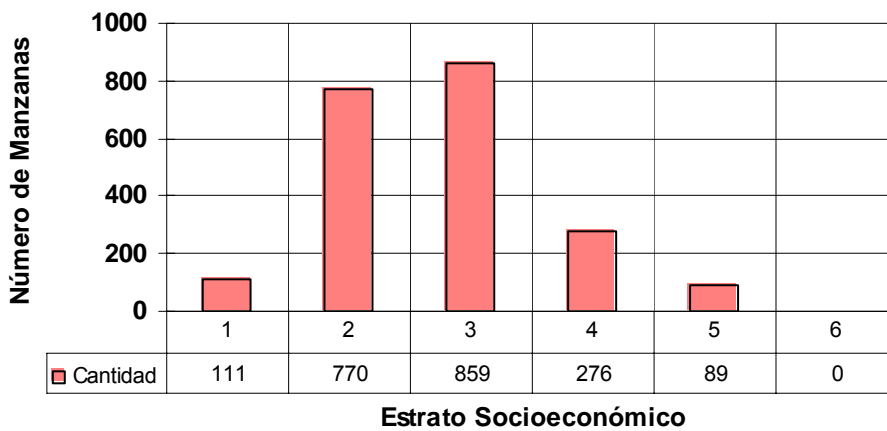


Figura 7.17 Distribución de número de manzanas según estrato socioeconómico

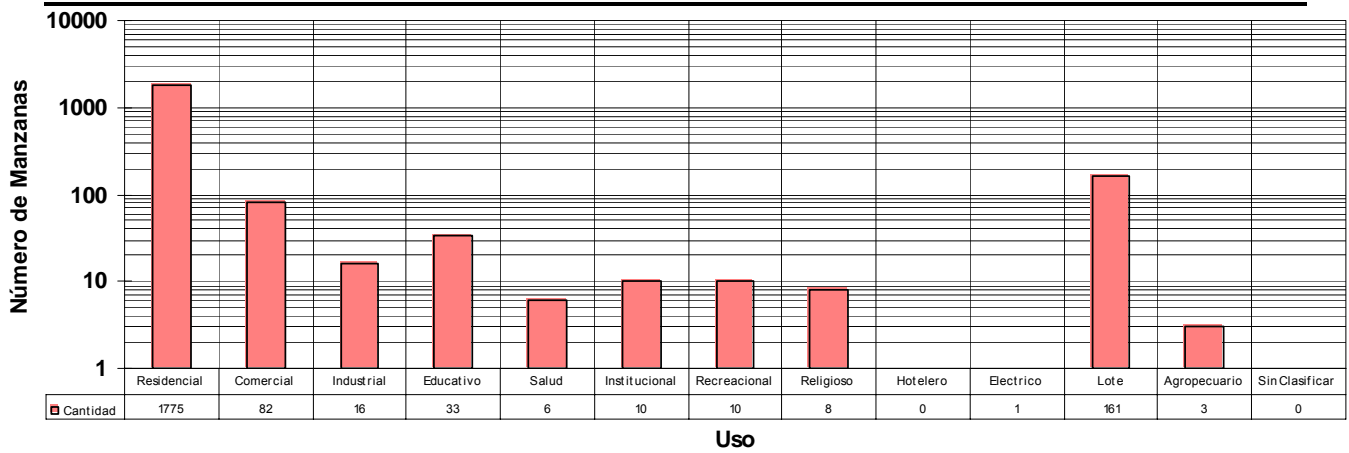


Figura 7.18 Distribución de número de manzanas según uso

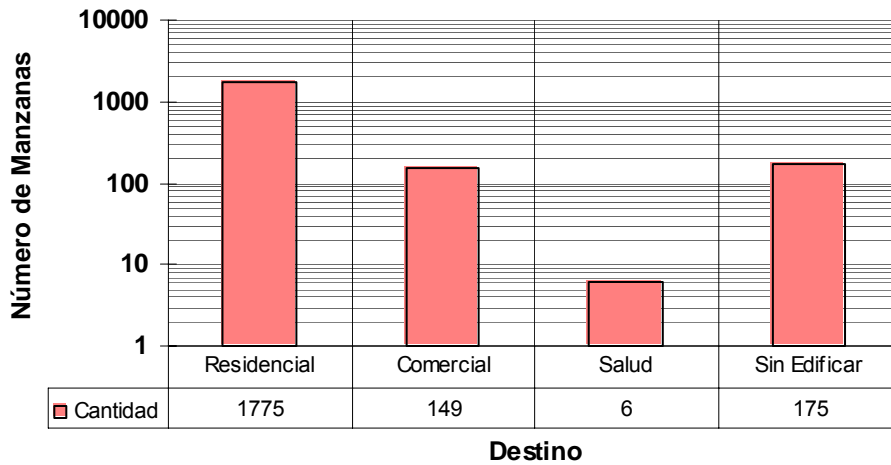


Figura 7.19 Distribución de número de manzanas según destino

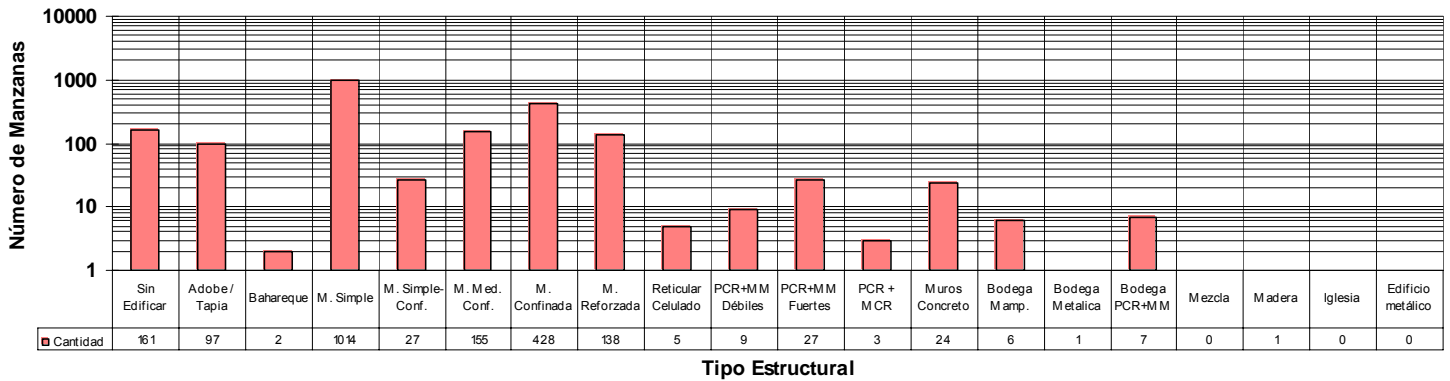


Figura 7.20 Distribución de número de manzanas según tipo estructural

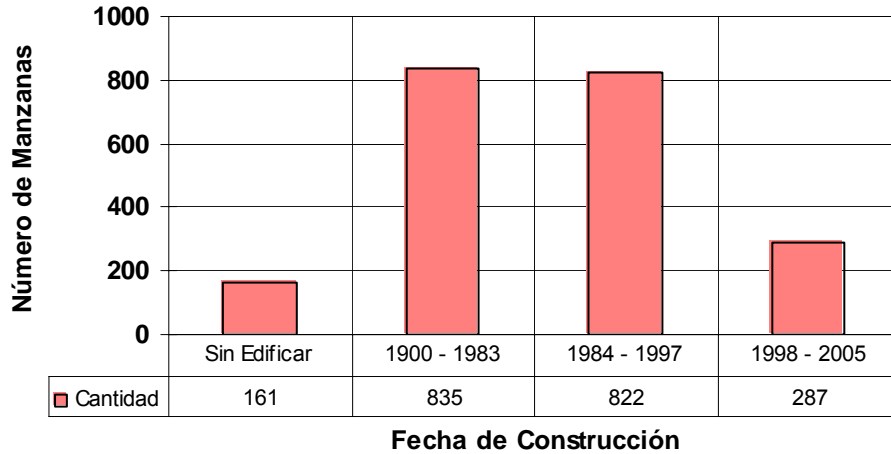


Figura 7.21 Distribución de número de manzanas según fecha de construcción

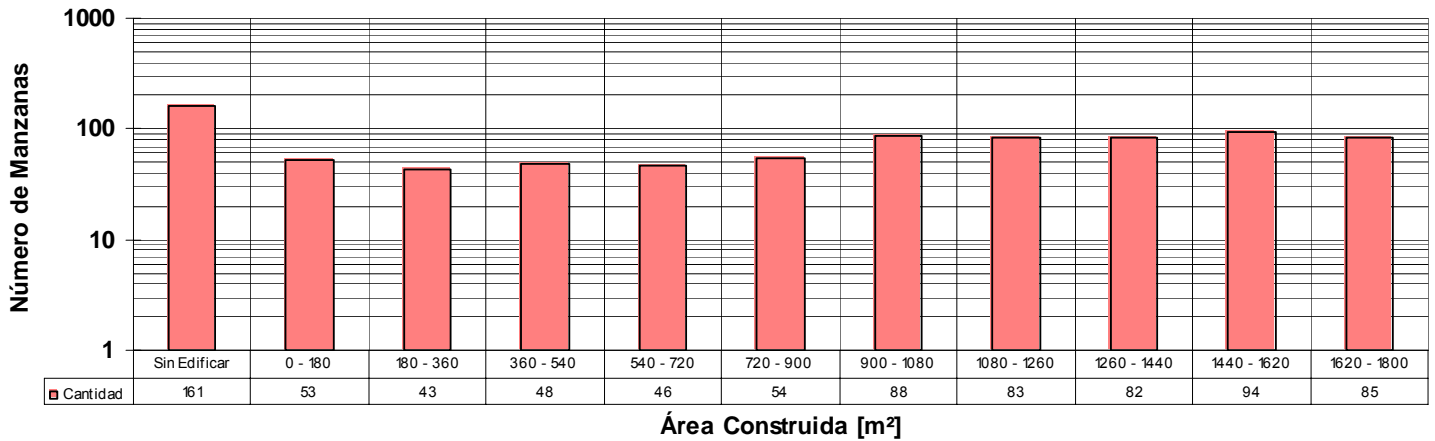


Figura 7.22 Distribución de número de manzanas según área construida

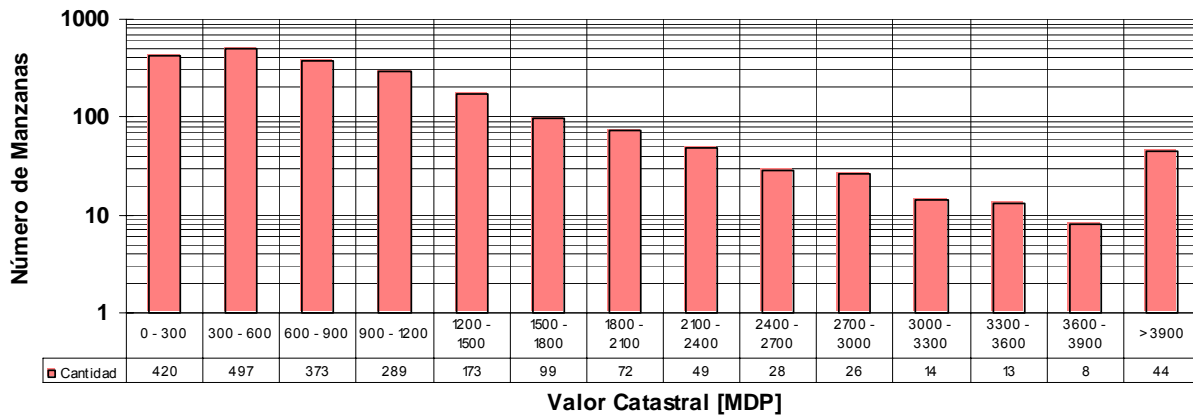


Figura 7.23 Distribución de número de manzanas según avalúo catastral

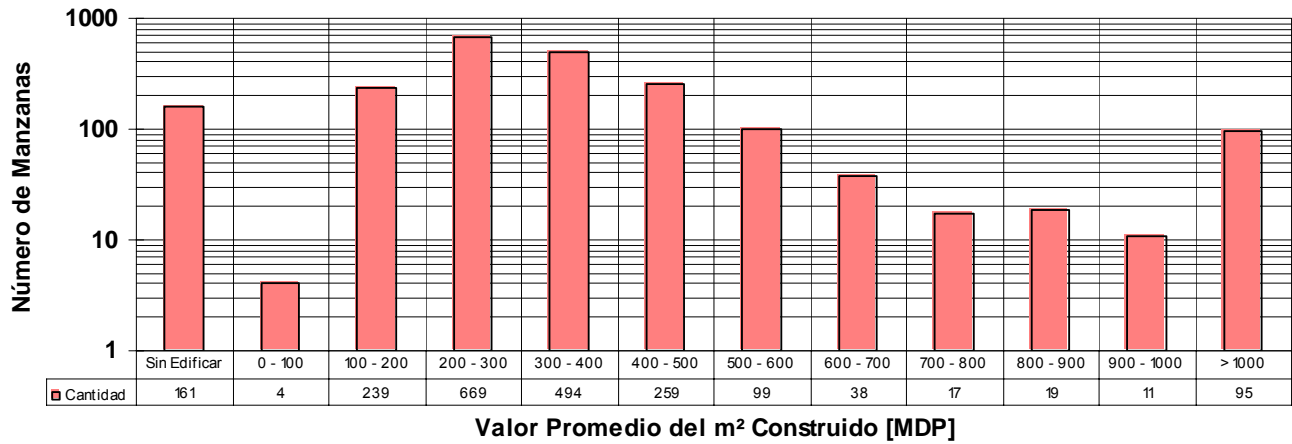


Figura 7.24 Distribución de número de manzanas según valor promedio del m² construido

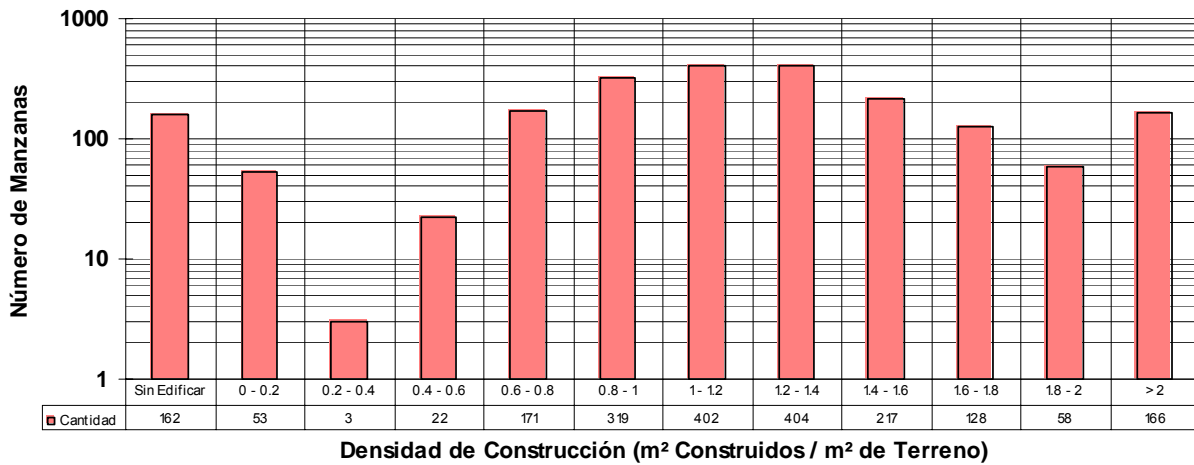


Figura 7.25 Distribución de número de manzanas según densidad de construcción por manzanas

En las Figuras 7.26 a 7.36 se presentan las distribuciones geográficas de cada una de las anteriores variables en planos representativos a escala de la ciudad graficados a nivel de manzanas.

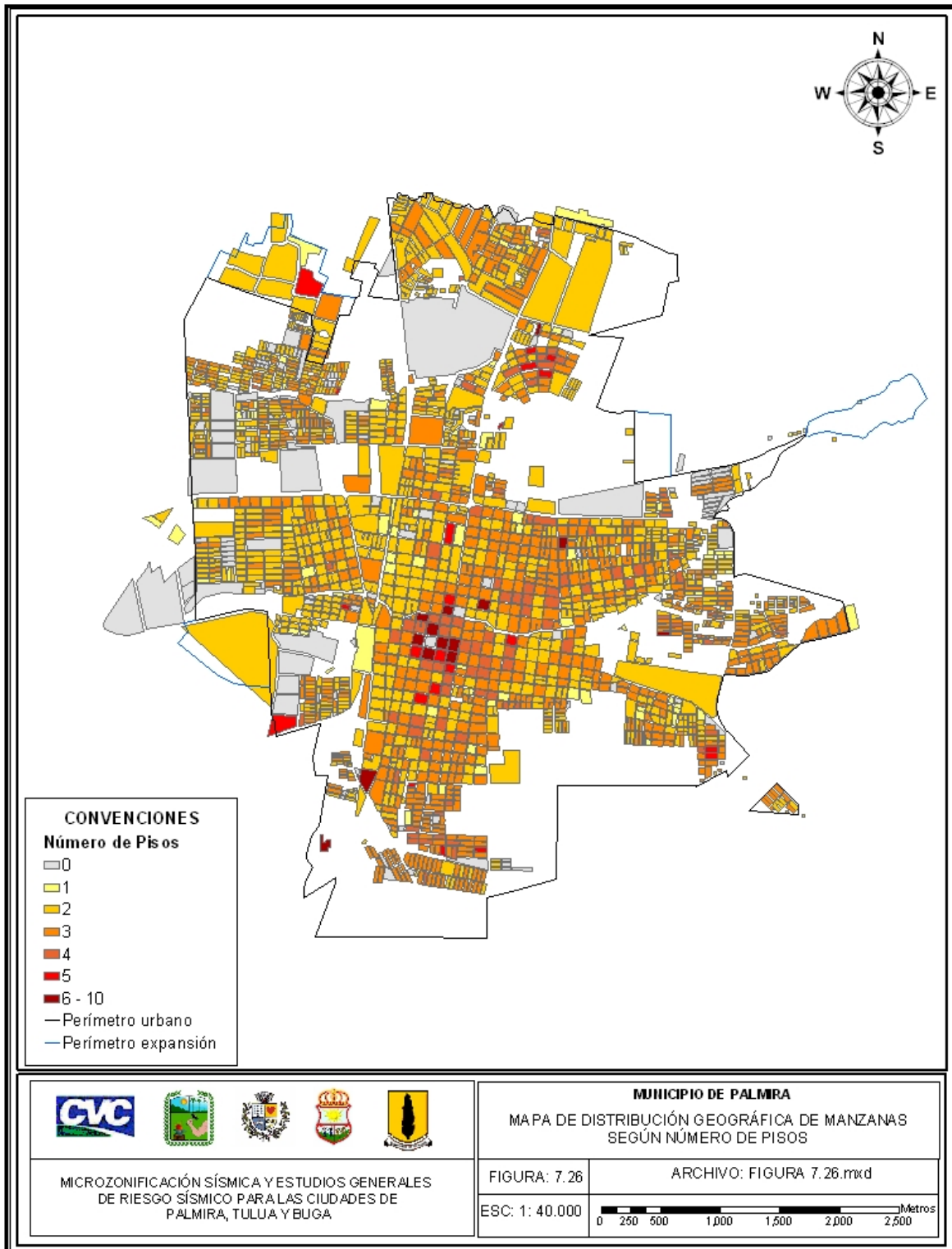


Figura 7.26 Mapa de distribución geográfica de manzanas según número de pisos

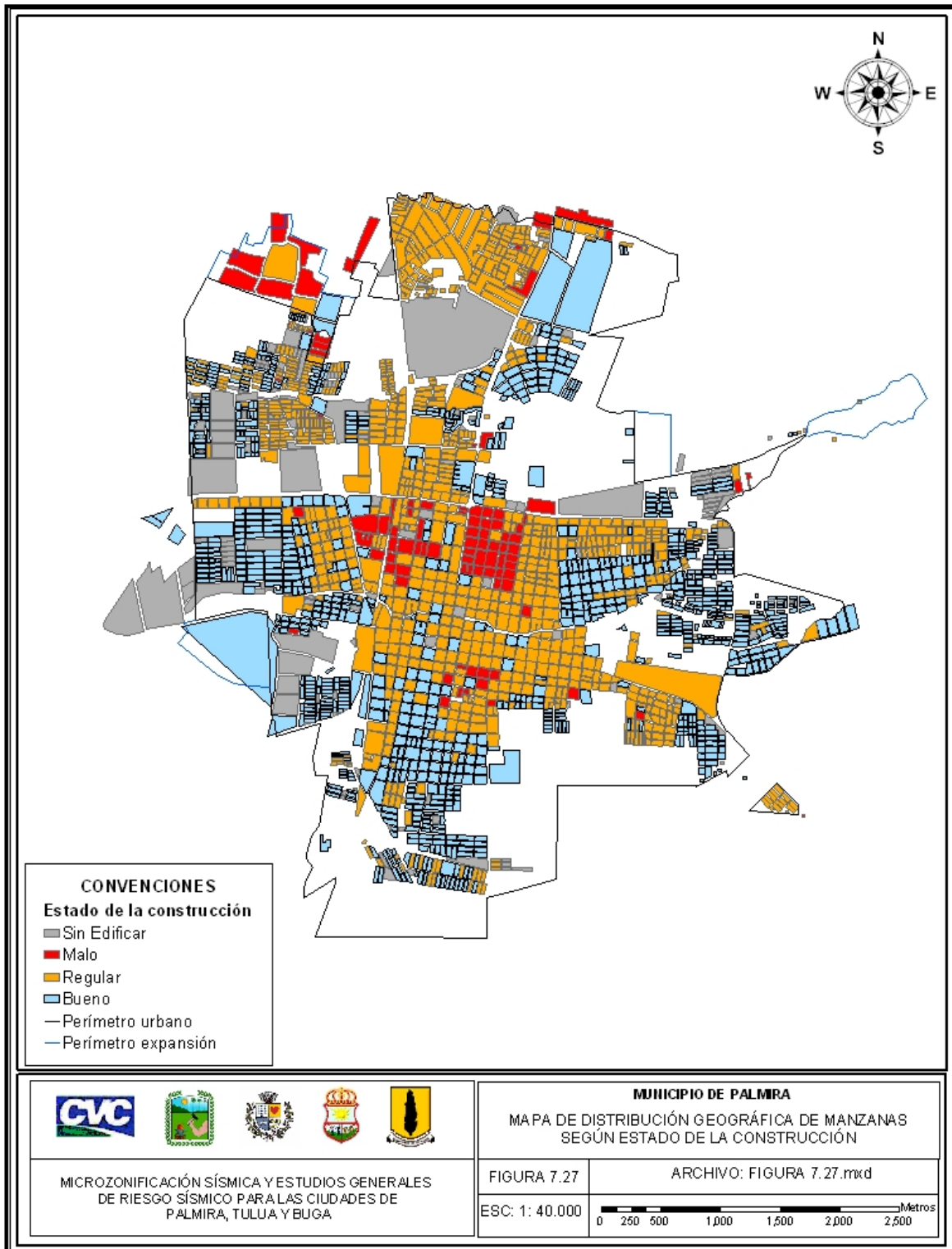


Figura 7.27 Mapa de distribución geográfica de manzanas según estado de la construcción

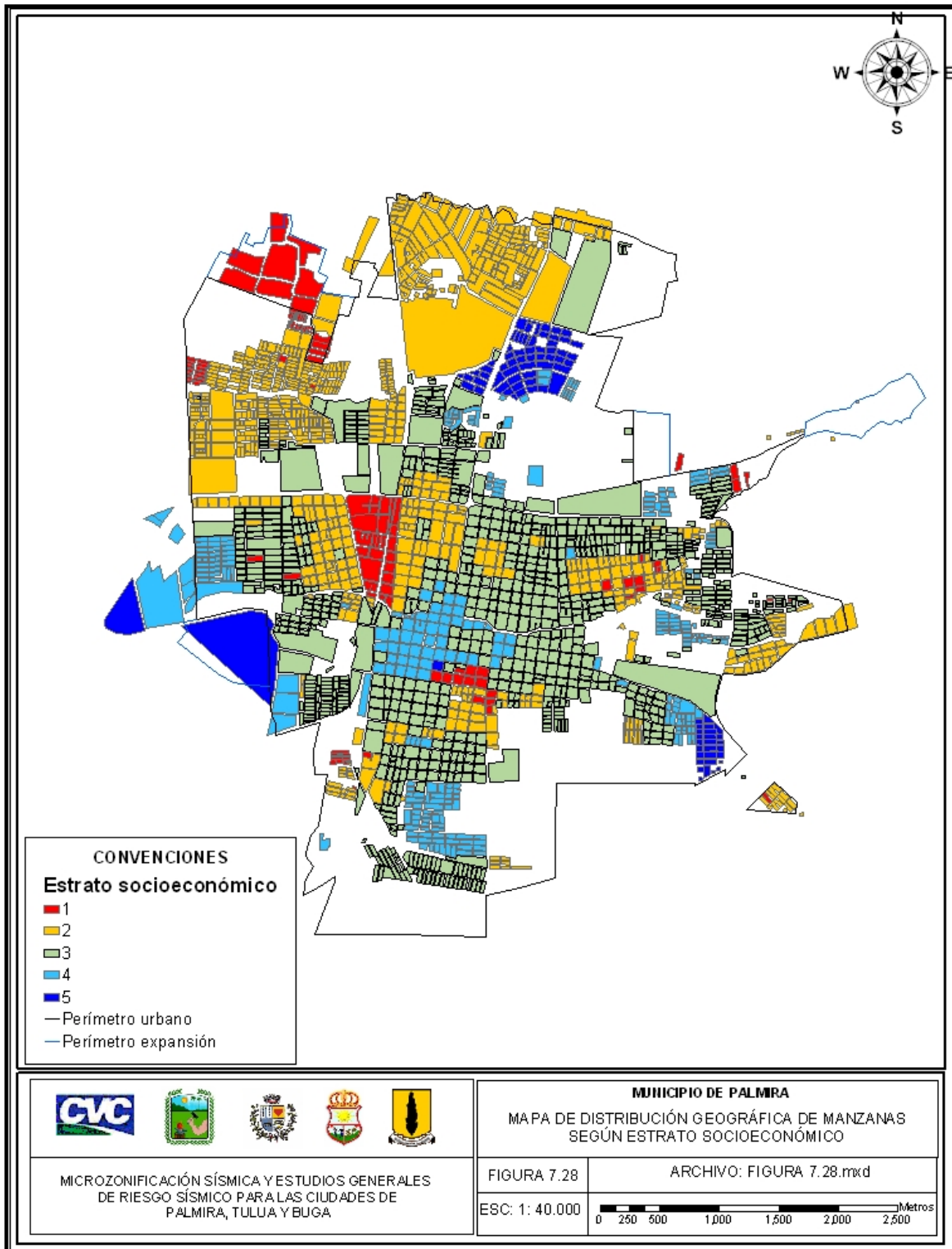


Figura 7.28 Mapa de distribución geográfica de manzanas según estrato socioeconómico

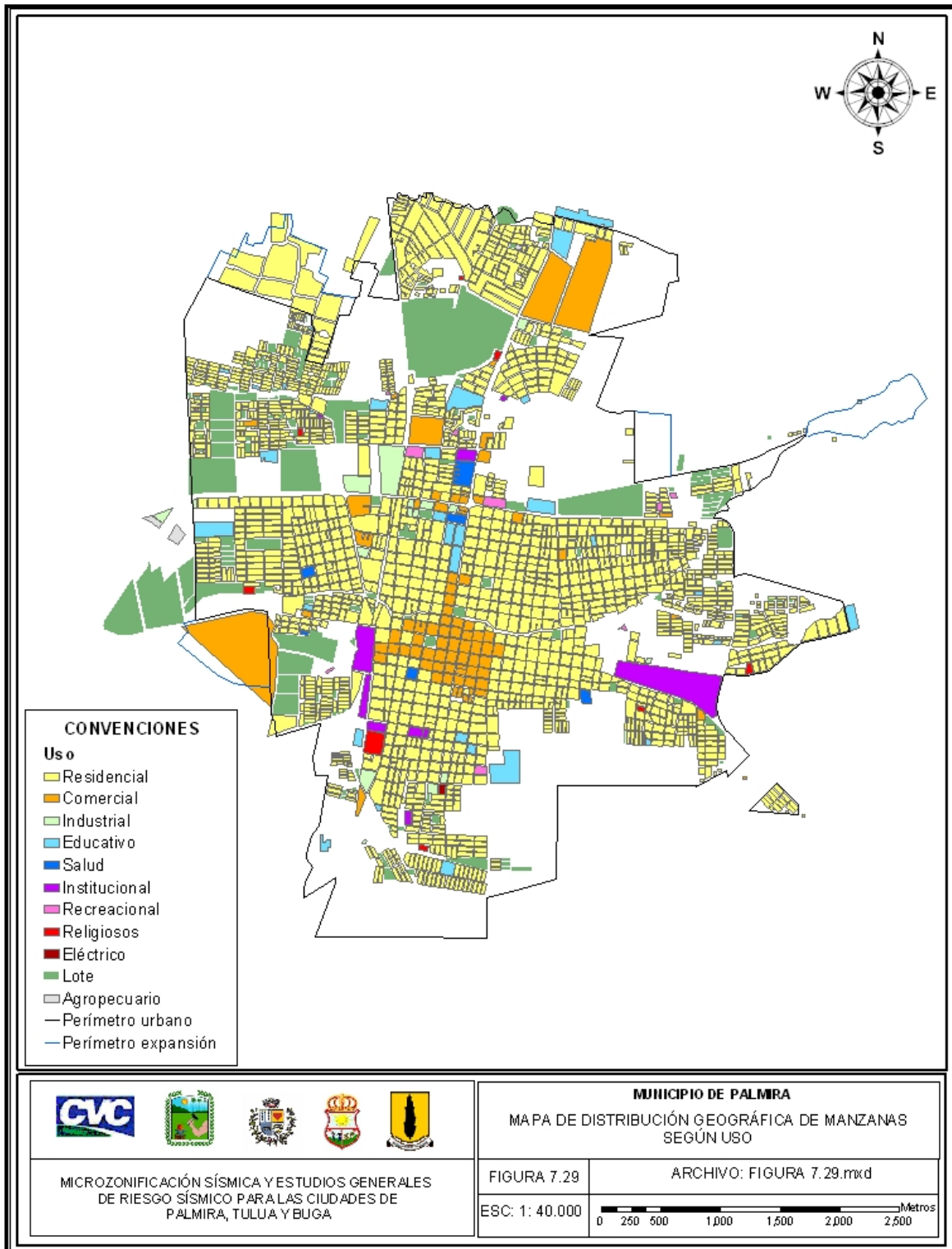


Figura 7.29 Mapa de distribución geográfica de manzanas según uso

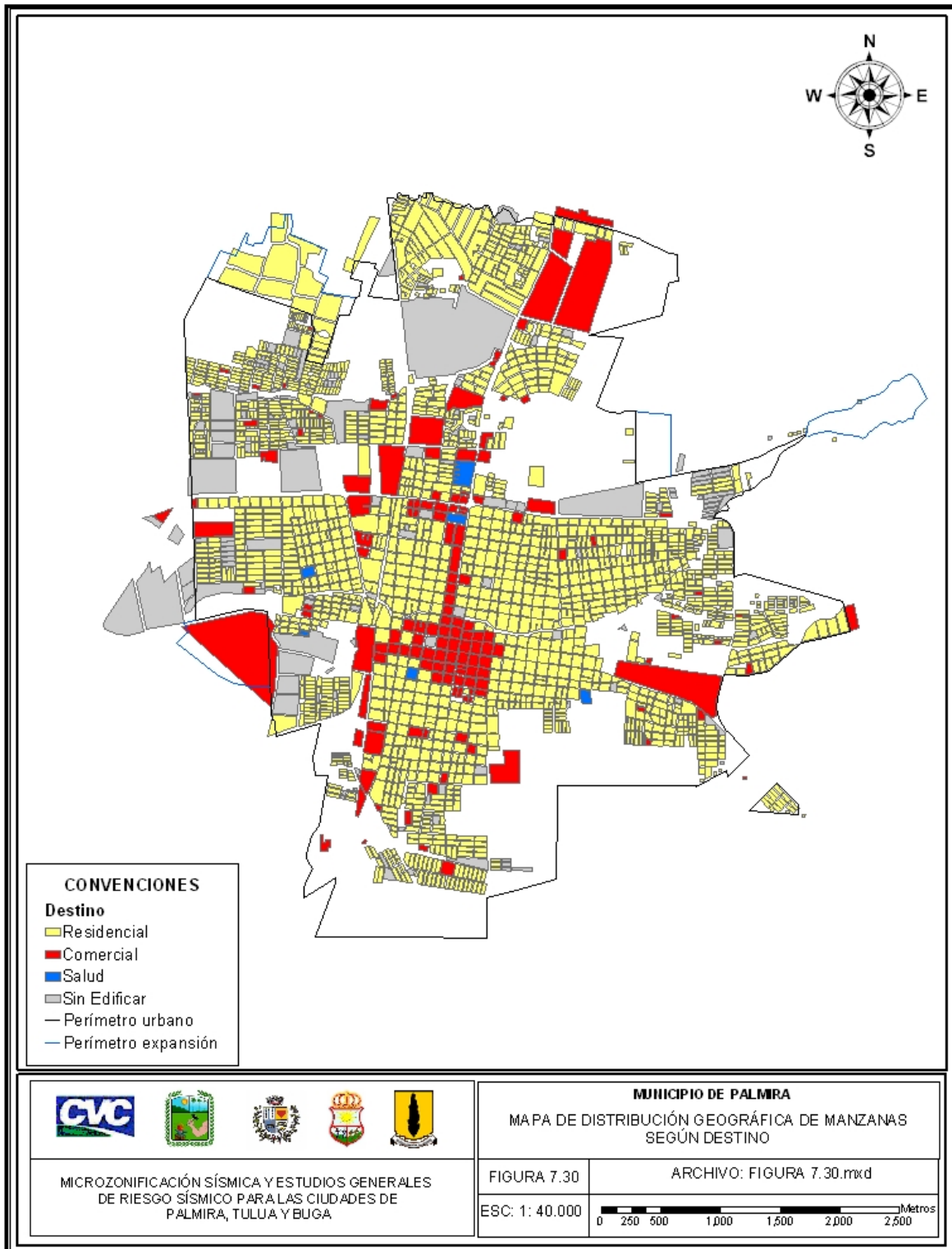


Figura 7.30 Mapa de distribución geográfica de manzanas según destino

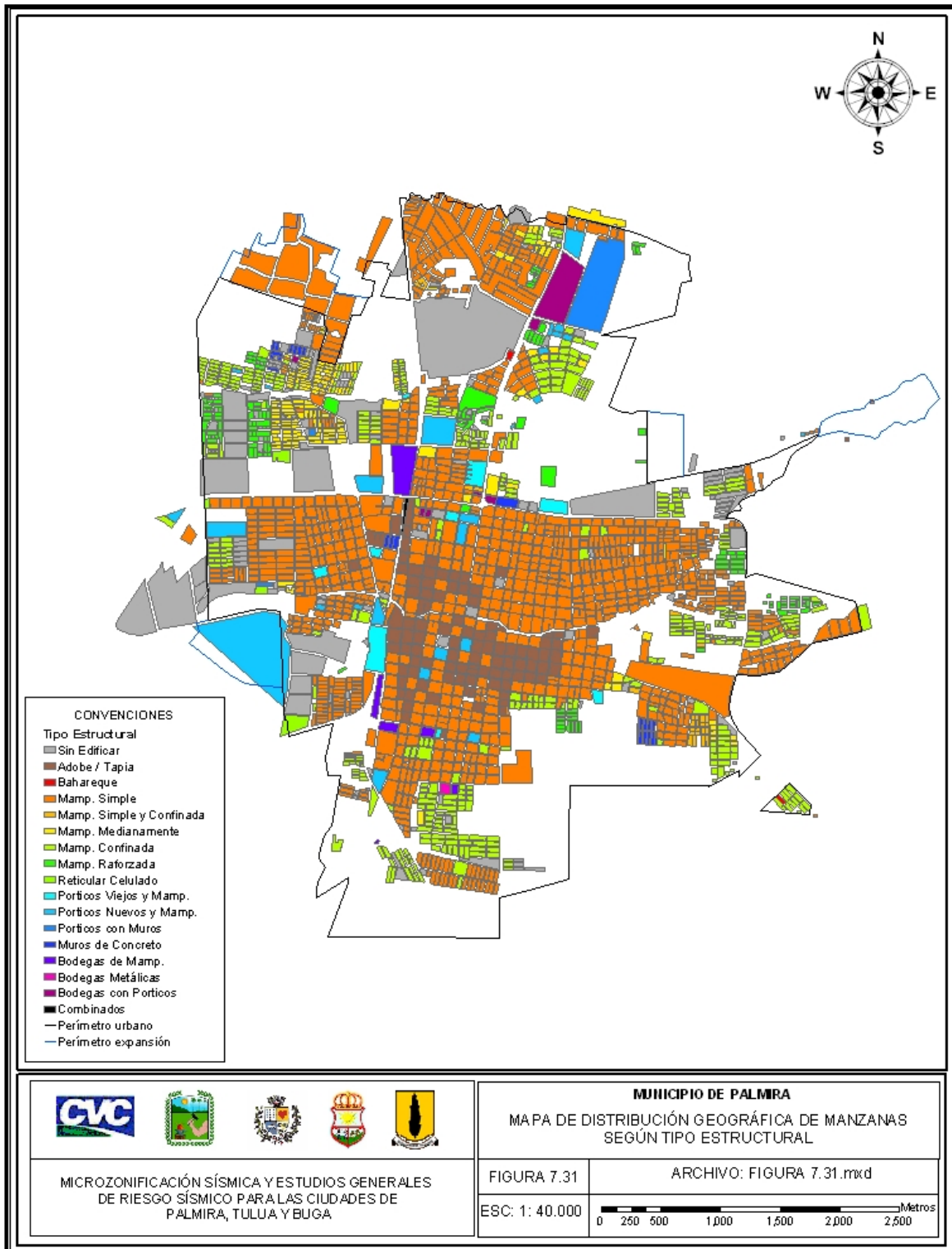


Figura 7.31 Mapa de distribución geográfica de manzanas según tipo estructural

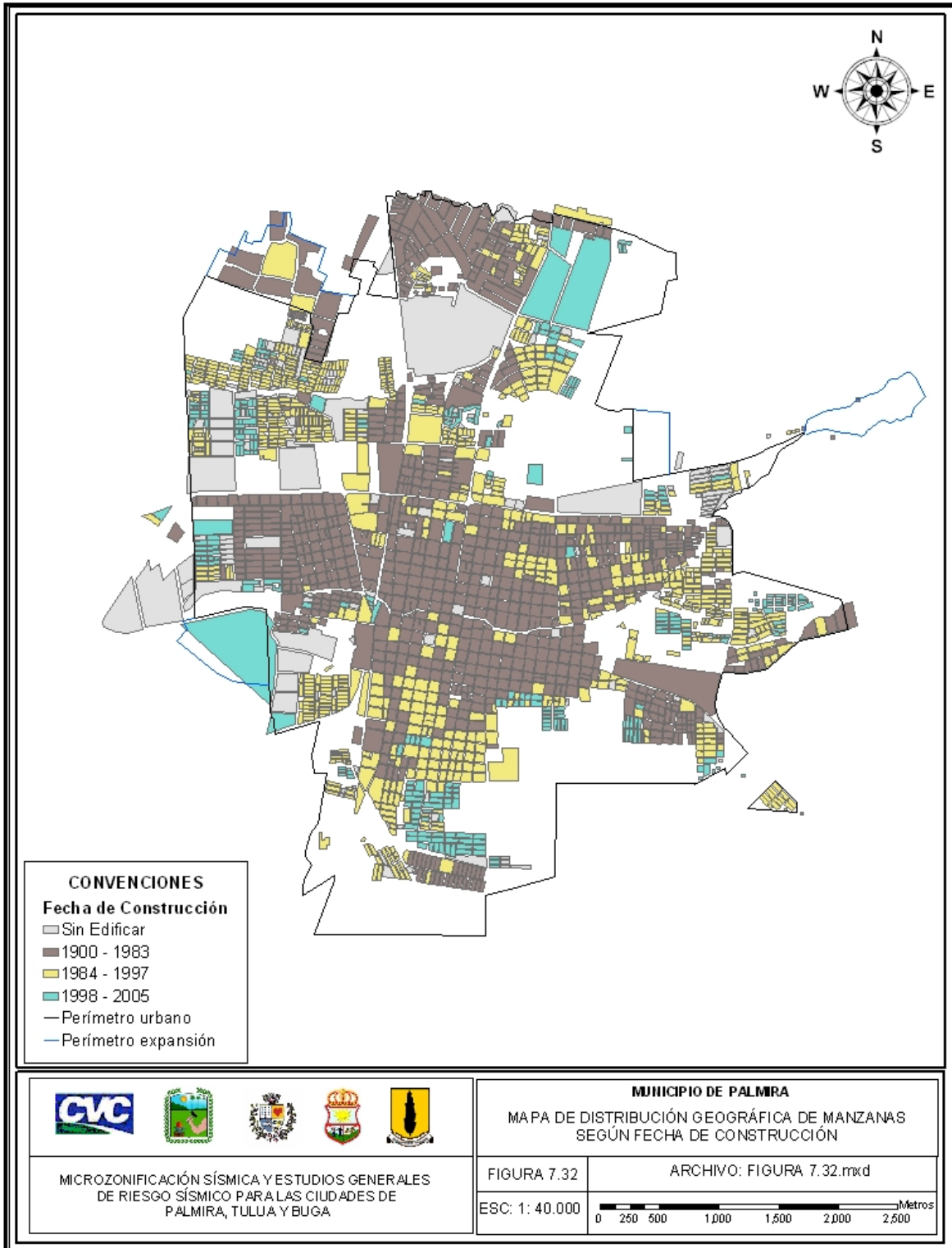


Figura 7.32 Mapa de distribución geográfica de manzanas según fecha de construcción

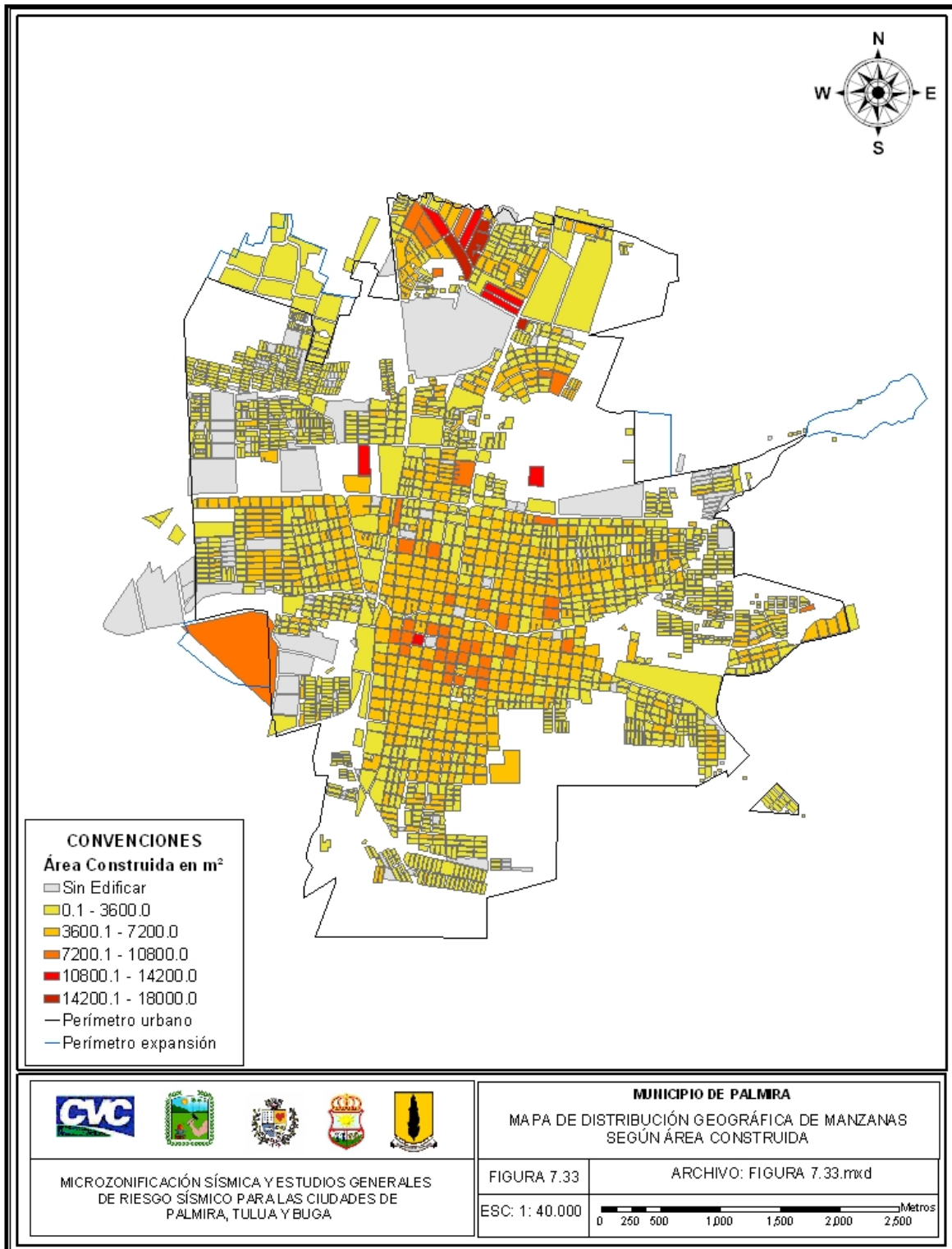


Figura 7.33 Mapa de distribución geográfica de manzanas según área construida

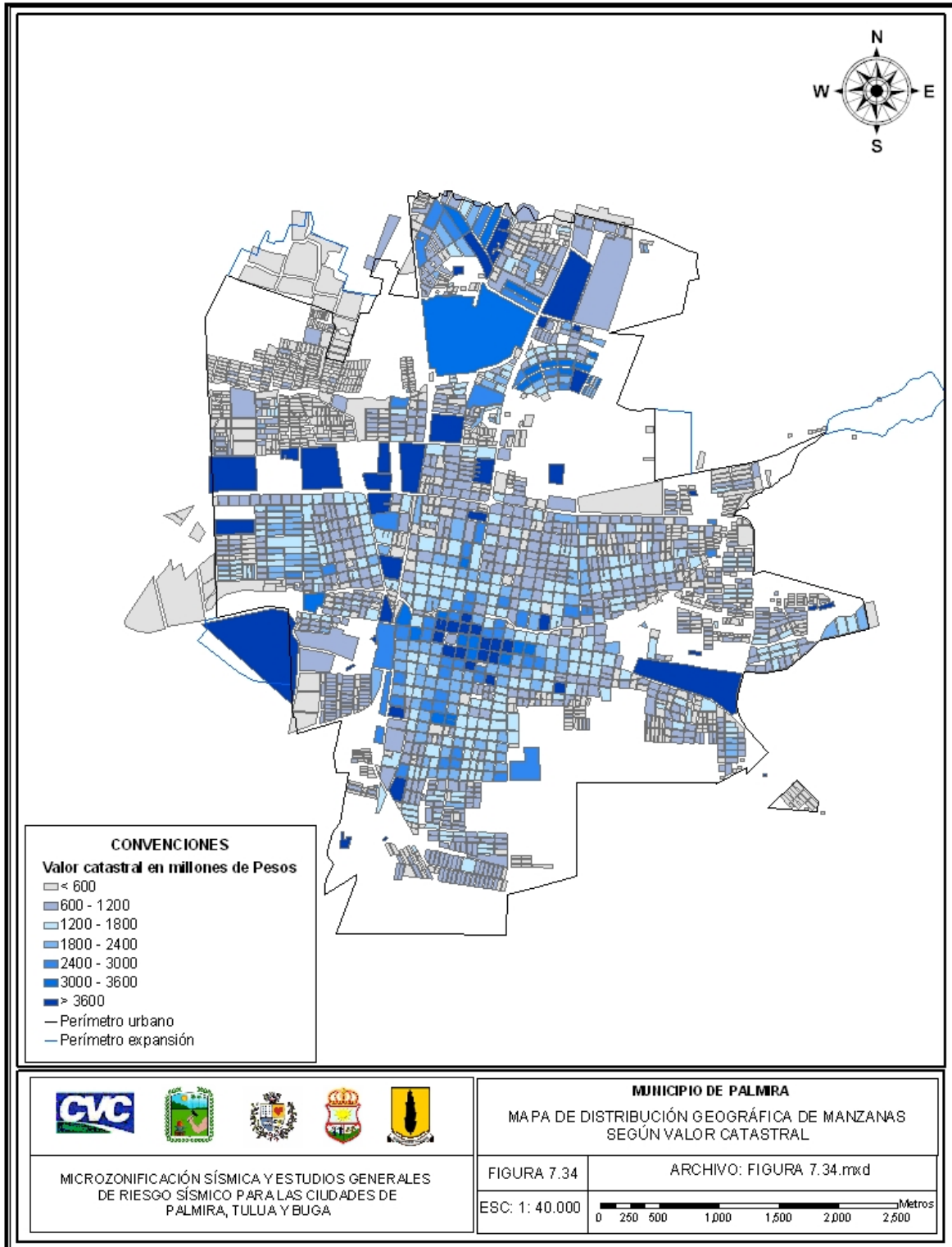


Figura 7.34 Mapa de distribución geográfica de manzanas según avalúo catastral

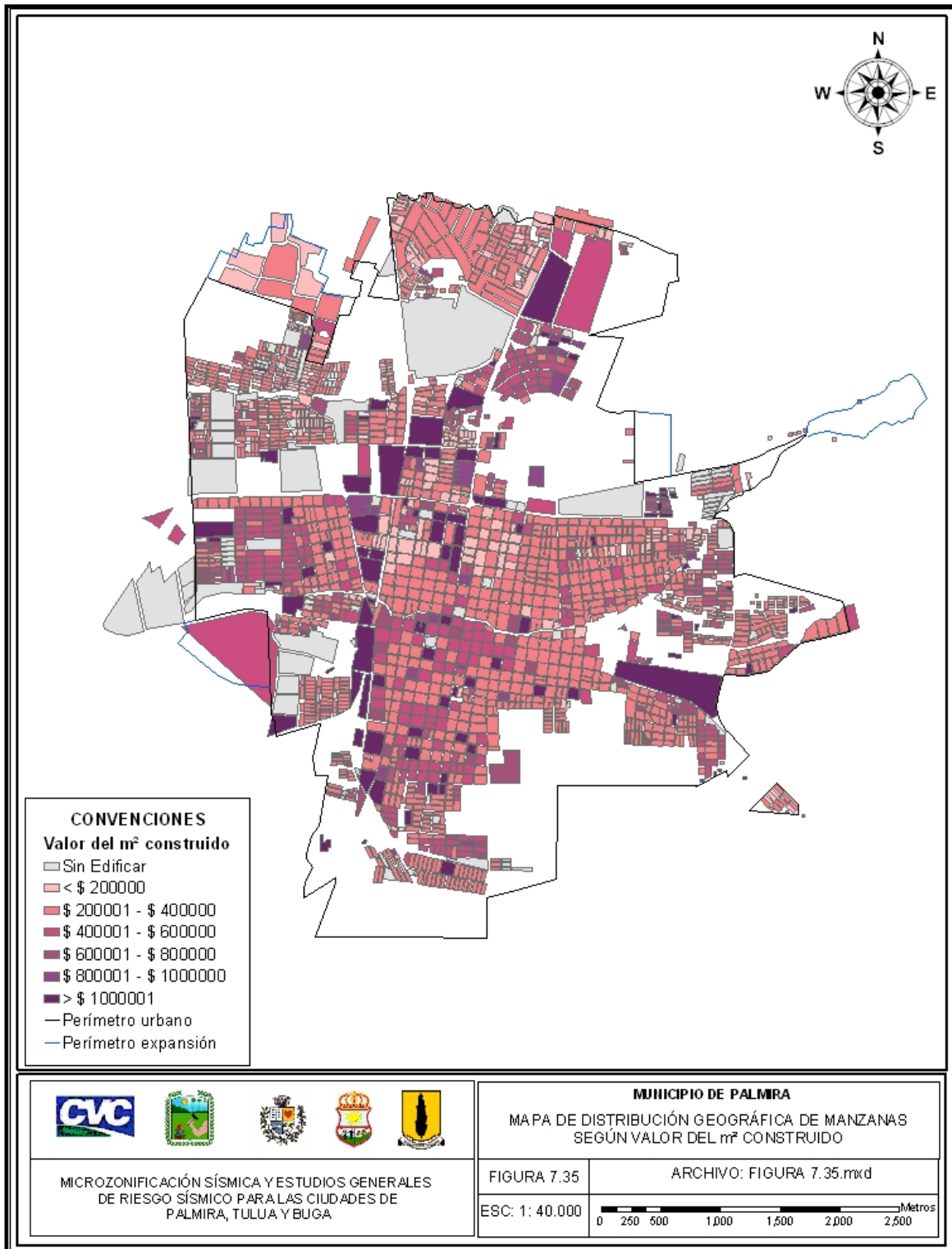


Figura 7.35 Mapa de distribución geográfica de manzanas según valor catastral del m² construido

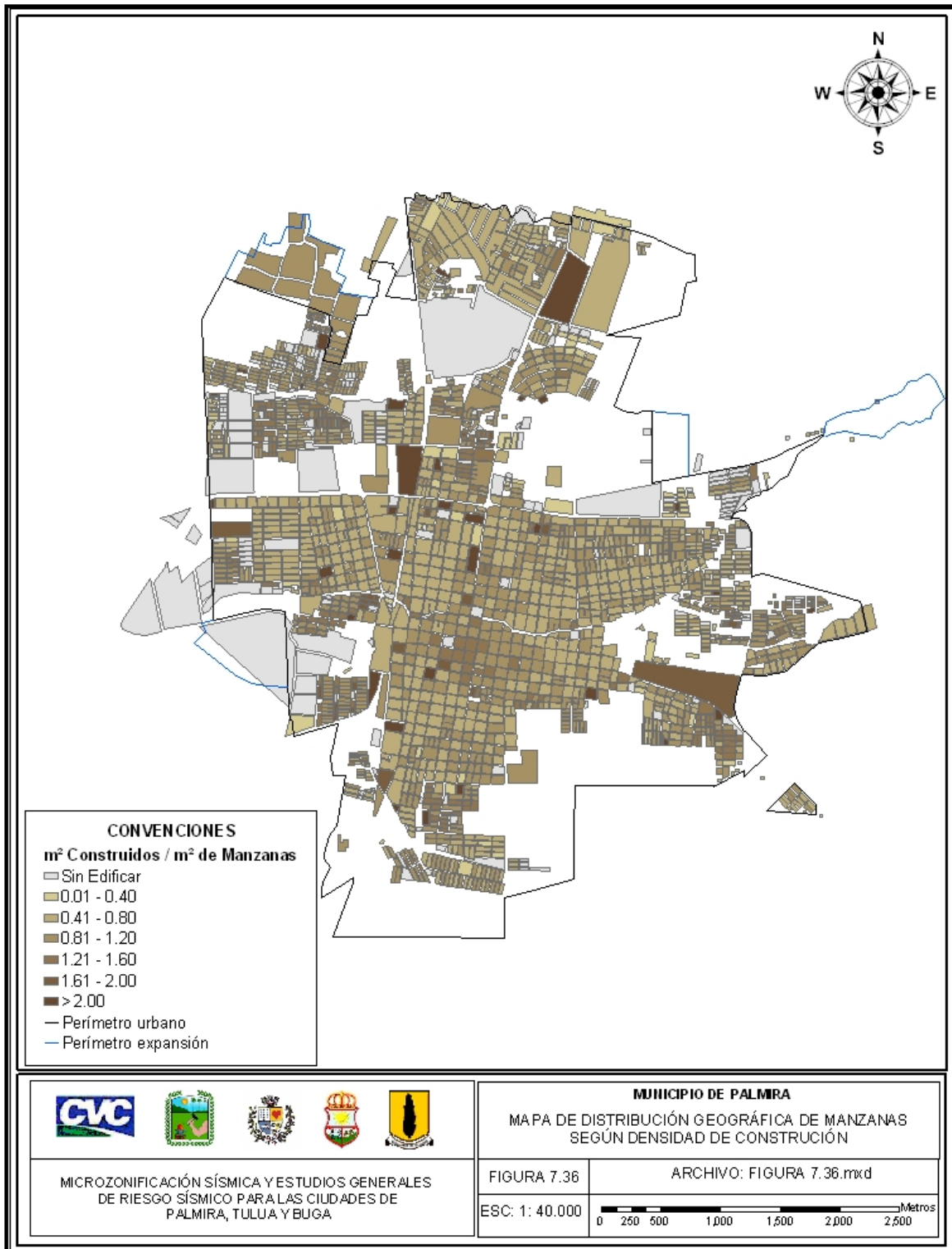


Figura 7.36 Mapa de distribución geográfica de manzanas según densidad de construcción por manzanas

7.4.4 Índices generales por municipio

Las bases de datos conformadas para los diferentes municipios permiten obtener una serie de índices finales que sirven para una caracterización global de cada uno de los municipios. En la Tabla 7.14 se resumen dichos resultados.

Tabla 7.14 Índices generales para municipios

| Municipio | Población [Hab] | Extensión Área Urbana [km ²] | Área Construida Total Estimada [m ²] | Población por Área de Extensión [Hab/km ²] | Área Construida por Área de Extensión [%] | Área Construida por Habitante [m ² /Hab] | Valor Catastral por m ² [\$ /m ²] |
|-----------|-----------------|--|--|--|---|---|--|
| Palmira | 244,647 | 20 | 5,378,334 | 11,993 | 26% | 22 | \$ 383,952 |
| Tuluá | 165,195 | 14 | 4,197,021 | 12,237 | 31% | 25 | \$ 158,468 |
| Buga | 115,627 | 10 | 2,833,215 | 12,044 | 30% | 25 | \$ 168,654 |

7.5 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD

7.5.1 Tipos estructurales y funciones de vulnerabilidad

En general las funciones de vulnerabilidad relacionan el daño de la edificación (de cero a uno) con la aceleración máxima del terreno o la deriva de piso dependiendo del sistema estructural. La forma de la curva está dada por una ecuación exponencial que depende principalmente de dos parámetros: γ y α . γ es la aceleración máxima del terreno o la deriva de piso necesaria para generar un daño del 50% en la edificación y α califica la tasa de variación del parámetro con respecto al daño. Es de esperar que para una edificación muy frágil α toma un valor más alto que para edificación dúctil. En la Tabla 7.15 se presenta un resumen de los sistemas estructurales con los valores de γ y α .

En este estudio se utilizan dos tipos de funciones de vulnerabilidad, dependiendo del parámetro de demanda sísmica con base en el cual se definan. Para los sistemas estructurales 01, 02, 03, 04, 13, 17 y 18, la función de vulnerabilidad depende de la aceleración máxima del terreno (A_{max}). Para los sistemas estructurales 05 al 12, 14 al 16, y 19 la función de vulnerabilidad depende de la deriva de entrepiso. Estas funciones de vulnerabilidad fueron obtenidas de estudios previos realizados por la Universidad y por otras entidades.

Tabla 7.15 Resumen de los parámetros de las funciones de vulnerabilidad

| Sistema Estructural | Descripción | Parámetro | Factor γ [cm/s ²], [%] | Factor α |
|---------------------|---|----------------|---|-----------------|
| 1 | Adobe / Tapia | Aceleración | 190 | 7.00 |
| 2 | Bahareque | Aceleración | 400 | 2.50 |
| 3 | A Mampostería Simple con diafragma rígido (1 Piso) | Aceleración | 340 | 4.30 |
| | B Mampostería Simple sin diafragma (1 Piso) | Aceleración | 280 | 5.50 |
| | C Mampostería Simple (>2 Pisos) | Aceleración | 330 | 2.40 |
| 4 | Primer piso Confinado, Segundo piso en mampostería simple. | Aceleración | 350 | 2.30 |
| 5 | Mampostería Medianamente Confinada | Desplazamiento | 0.27% | 3.00 |
| 6 | Mampostería Confinada | Desplazamiento | 0.40% | 2.32 |
| 7 | Mampostería Reforzada | Desplazamiento | 0.40% | 2.32 |
| 8 | Reticular Celulado con Rellenos de Mampostería | Desplazamiento | 1.53% | 2.03 |
| 9 | Pórticos Débiles con Rellenos de Mampostería | Desplazamiento | 0.80% | 1.50 |
| 10 | Pórticos Fuertes con Rellenos de Mampostería | Desplazamiento | 1.35% | 1.65 |
| 11 | Pórticos con Muros de Concreto | Desplazamiento | 1.24% | 1.65 |
| 12 | Edificaciones de Muros de Concreto | Desplazamiento | 0.86% | 2.15 |
| 13 | Bodega con cubierta apoyada sobre Mampostería Simple | Aceleración | 280 | 5.50 |
| 14 | Bodega con columna en metal y cubierta metálica con muros de Mampostería | Desplazamiento | 1.36% | 2.20 |
| 15 | Bodega con cerramiento, Pórticos rellenos con Mampostería y Cubierta Metálica | Desplazamiento | 0.25% | 3.50 |
| 16 | Sistema Combinado o Similar a algún sistema | Desplazamiento | 0.27% | 3.00 |
| 17 | Esterilla – Estructura en madera | Aceleración | 400 | 2.50 |
| 18 | Iglesia | Aceleración | 340 | 4.30 |
| 19 | Edificio metálico | Desplazamiento | 1.89% | 1.94 |

Adicionalmente a lo anterior se incluyó dentro del modelo un factor de densidad de edificaciones en cada manzana. Este factor establece que cuando en una manzana se presentan varias

edificaciones de poca altura unidas entre si, el efecto de grupo genera un mejor comportamiento comparado con el de las edificaciones aisladas. Las manzanas con más de ocho edificaciones unidas entre si se clasifican como manzanas densas y aquellas con menos de esta cantidad como manzanas no densas.

A continuación se presenta una descripción más detallada de cada una de las funciones de vulnerabilidad utilizadas en el estudio.

7.5.2 Funciones de vulnerabilidad basadas en la aceleración máxima del terreno (A_{max})

7.5.2.1 Descripción

Los tipos constructivos en los cuales el daño depende de la aceleración máxima del terreno son los siguientes:

- Adobe de un solo piso (Sistema 01).
- Bahareque (Sistema 02)
- Mampostería simple de un piso con diafragma (Sistema 3A).
- Mampostería simple de un piso sin diafragma (Sistema 3B).
- Mampostería simple de dos pisos con diafragma en el primer piso (Sistema 3C).
- Primer piso confinado y segundo piso en mampostería simple (Sistema 04).
- Bodega con cubierta apoyada sobre mampostería simple (Sistema 13).
- Esterilla – estructura en madera (Sistema 17).
- Iglesias (Sistema 18).

Los tipos estructurales 01, 3B, 3C y 04 se consideraron especiales de los municipios de Palmira, Tuluá y Buga y por lo tanto fue necesario desarrollar funciones de vulnerabilidad para estos tipos constructivos específicos identificados durante las visitas técnicas de cada uno de los municipios.

En la Figura 7.103 se presentan fotos características de los tipos constructivos especiales. Considerando las diferentes posibles distribuciones en planta y número de pisos se desarrollaron una serie de modelos característicos basados en levantamientos realizados en el campo. Para cada uno de los tipos constructivos anteriores se desarrollan uno o más modelos característicos con el fin de determinar funciones de vulnerabilidad aproximadas para cada uno de ellos. Las modelaciones analíticas se llevaron a cabo utilizando el programa de computador SAP2000. Las funciones a desarrollar se plantean en general en términos de la aceleración máxima del terreno que es la variable más representativa para estimar el nivel de daño en edificaciones rígidas, en particular para aquellas que cuentan con muros de mampostería simple y sin diafragma. En el Anexo 7.8 se suministran los archivos digitales de cada uno de los modelos desarrollados.



Adobe
(Sistema 01)



Mampostería simple 1P sin diafragma
(Sistema 3B)



Mampostería simple 2P con diafragma en P1
(Sistema 3C)



P1 Confinado y P2 en mampostería simple
(Sistema 4)

Figura 7.103 Algunos modelos característicos utilizados

7.5.2.2 Modelación analítica

El método utilizado para el desarrollo de las funciones de vulnerabilidad específicas incluye las siguientes actividades:

- (a) Desarrollo del modelo tridimensional de análisis según distribución en planta y en altura. En la Figura 7.104 se presentan algunos modelos característicos utilizados, de uno o dos pisos y con diversas distribuciones en planta. Para los modelos en que existe diafragma rígido de entrepiso, éste se modeló con elementos tipo Shell continuos con los elementos de los muros portantes.

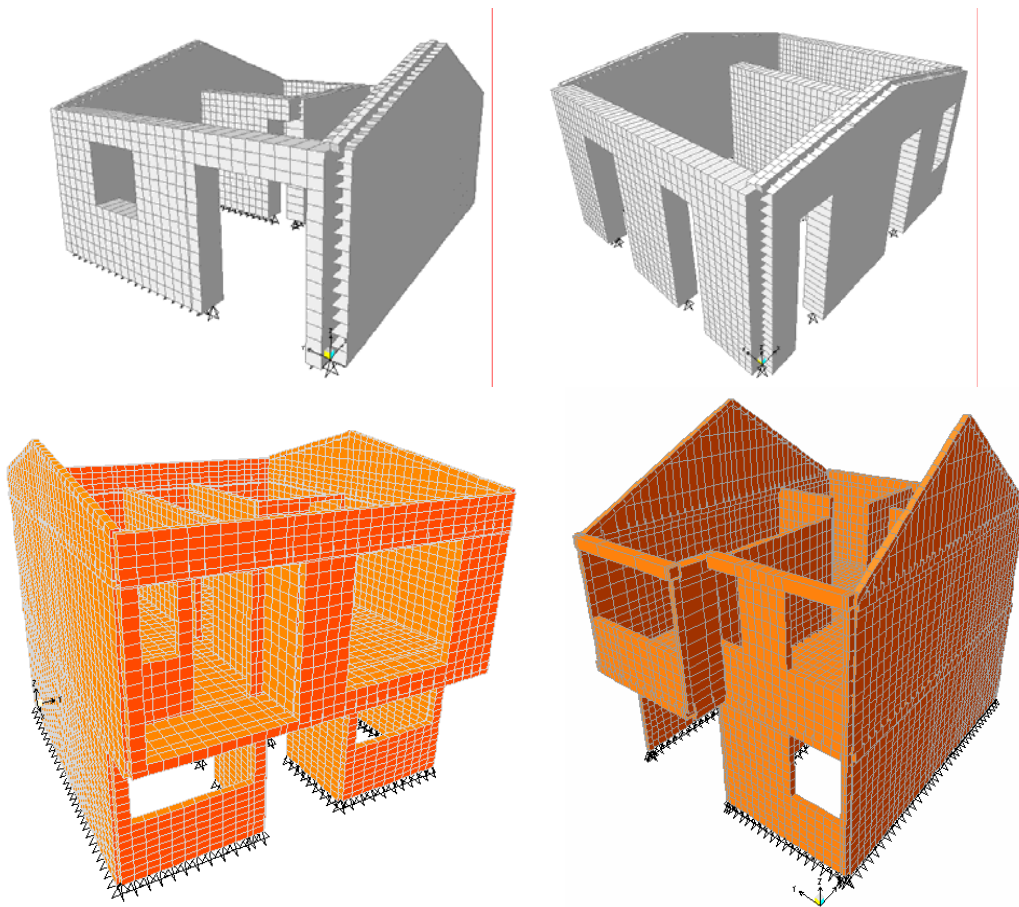


Figura 7.104 Modelos estructurales tipos en SAP2000

- (b) Asignación de propiedades de los materiales. En la Tabla 7.16 se resumen las propiedades supuestas para los materiales utilizados. Estas propiedades están basadas en programas experimentales y publicaciones relacionadas (República de Colombia, 1998, AIS, 2001, AIS, 2004, Uniandes, 2004).

Tabla 7.16 Propiedades típicas de materiales para el análisis

| Material | Peso específico (kgf/m ³) | Módulo de elasticidad (kgf/cm ²) | Relación de Poisson | Módulo de Corte (kgf/cm ²) |
|---|---------------------------------------|--|---------------------|--|
| Adobe | 1830 | 1200 | 0.4 | 300 |
| Mampostería simple en tolete de arcilla | 1830 | 45500 | 0.25 | 18200 |
| Mampostería simple en bloque de arcilla | 700 | 15000 | 0.25 | 6000 |
| Concreto | 2400 | 189000 | 0.2 | 78750 |

- (c) Asignación de cargas adicionales: para efectos de la modelación se aplicaron algunas cargas adicionales a las de peso propio de los elementos principales. Corresponden únicamente a cargas que estarían actuando en caso de sismo. Para tener en cuenta los efectos de la carga viva permanente se adicionó a nivel de cubierta una carga viva de 30 kgf/m².
- (d) Análisis modal y de respuesta dinámica espectral. Para efectos del análisis se aplican cargas progresivamente crecientes mediante un espectro constante con el fin de alcanzar algún determinado nivel de esfuerzos que implique un estado de daño generalizado. Todos los análisis realizados son elásticos.
- (e) Determinación de niveles de esfuerzos admisibles de fisuración o de colapso. Para el análisis se determinan únicamente dos niveles de daño. El de fisuración inicial que marcaría el inicio de los daños y el de colapso parcial o total que implicaría un daño cercano al 100%. Los esfuerzos de fisuración y de falla utilizados en el análisis son los que se presentan en la Tabla 7.17.

Tabla 7.17 Esfuerzos de fisuración y de falla empleados para el análisis

| MATERIAL | Esfuerzos de fisuración (kg/cm ²) | | | Esfuerzos de falla (kg/cm ²) | | |
|---|--|--|---------------------------------|--|--|---------------------------------|
| | Tensión por flexión perpe. a juntas horizontales | Tensión por flexión perpe. a juntas verticales | Esfuerzos cortantes en el plano | Tensión por flexión perpe. a juntas horizontales | Tensión por flexión perpe. a juntas verticales | Esfuerzos cortantes en el plano |
| Adobe | 0.7 | 0.2 | - | 1.0 | 0.3 | - |
| Mampostería simple en tolete de arcilla | 3.0 | 1.5 | 1.5 | 5.0 | 2.5 | 1.5 |
| Mampostería simple en bloque de arcilla | 3.0 | 1.5 | 1.0 | 5.0 | 2.5 | 1.0 |
| Mampostería confinada | 3.0 | 1.5 | 1.5 | - | - | 5.0 |

- (f) Análisis de situación de fisuración inicial, daños significativos iniciales, y de situación de colapso parcial o total de la edificación con daños cercanos al 100%. Para el primer caso el análisis se realiza con modelos elásticos y esfuerzos admisibles normalmente conocidos. El segundo caso se ha analizado con base en esfuerzos últimos medidos y reportados y en la eventual conformación de zonas de falla que permitan generar mecanismos de colapso asociables con daños por encima del 50%. En la Figura 7.105 se presentan algunos esquemas representativos, en los cuales en un primer caso se ha alcanzado una situación de fisuración inicial significativa (que implique un porcentaje de daño superior al 0%) y en un segundo caso se presenta una situación de esfuerzos de falla asociables con un eventual mecanismo de colapso, parcial o total, de las muros principales o de la cubierta. La escala de colores de la Figura 7.105 es diferente dependiendo de los límites de esfuerzos utilizados de acuerdo con la Tabla 7.17. El color rojo en las figuras de inicio del daño representa las zonas donde el esfuerzo supera el esfuerzo de fisuración y este mismo color en las figuras de daño 100% representa las zonas donde los esfuerzos superan los esfuerzos de falla.

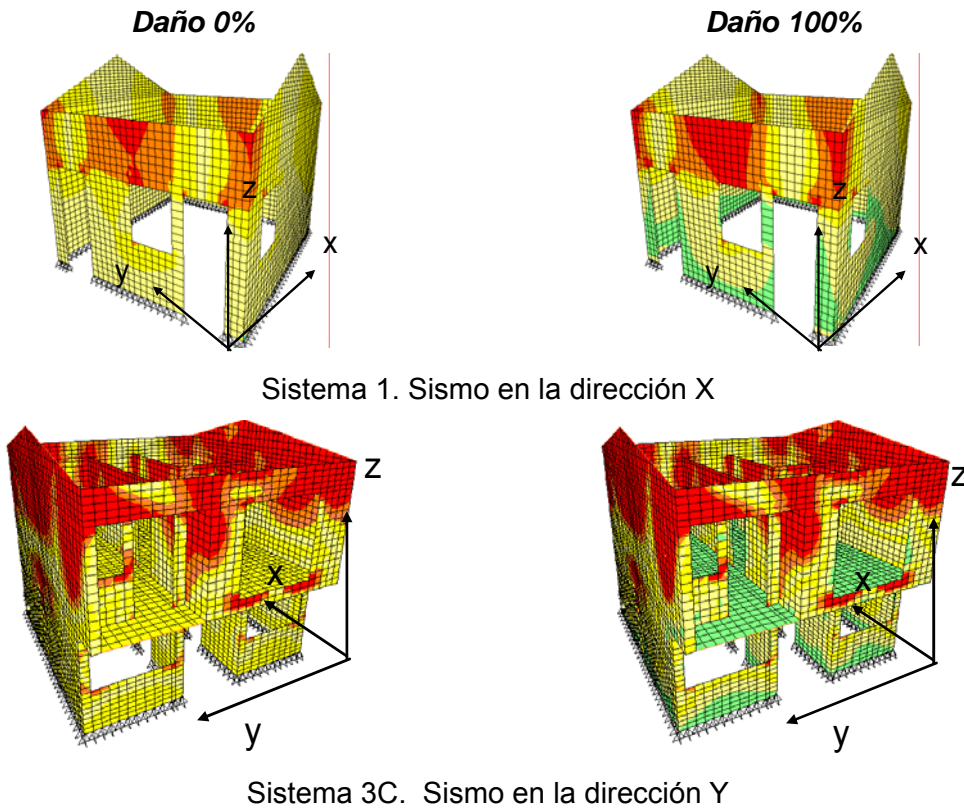


Figura 7.105 Distribuciones de esfuerzos críticos para daño 0% y 100%

7.5.2.3 Funciones de vulnerabilidad resultantes

De manera ilustrativa en las Figuras 7.106 y 7.107 se presentan algunas de las funciones determinadas utilizando la metodología descrita anteriormente. Se presentan en cada figura las curvas asociadas a las dos direcciones de análisis de cada edificación y las curvas asociadas con varias distribuciones en planta de muros según lo explicado. Cada figura indica además en línea gruesa la función final recomendada para utilizar en el análisis.

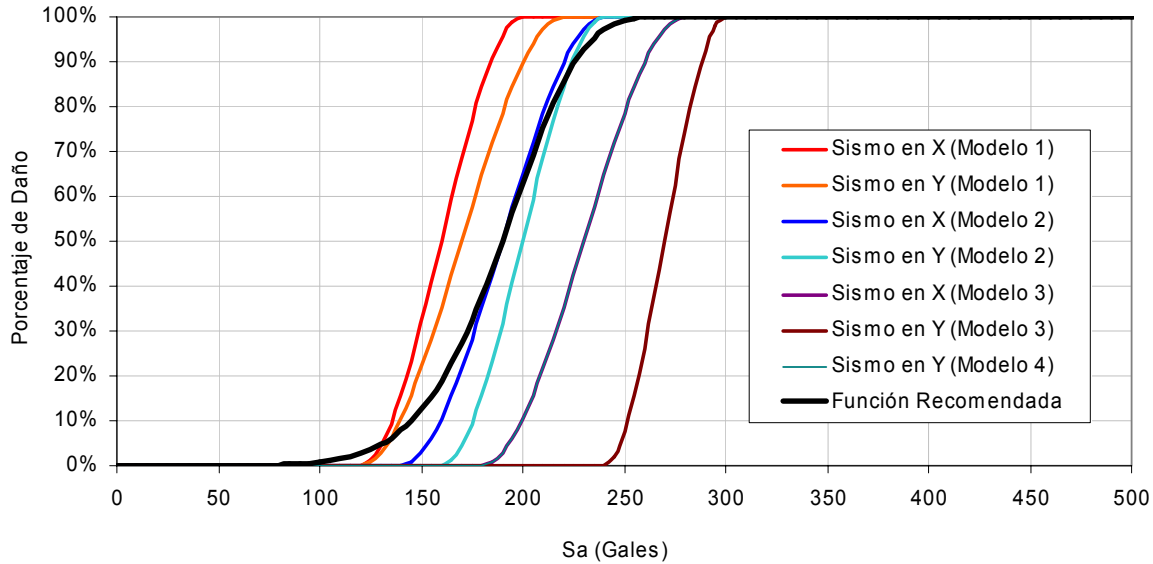


Figura 7.106 Funciones de vulnerabilidad para edificaciones en adobe (Sistema 1)

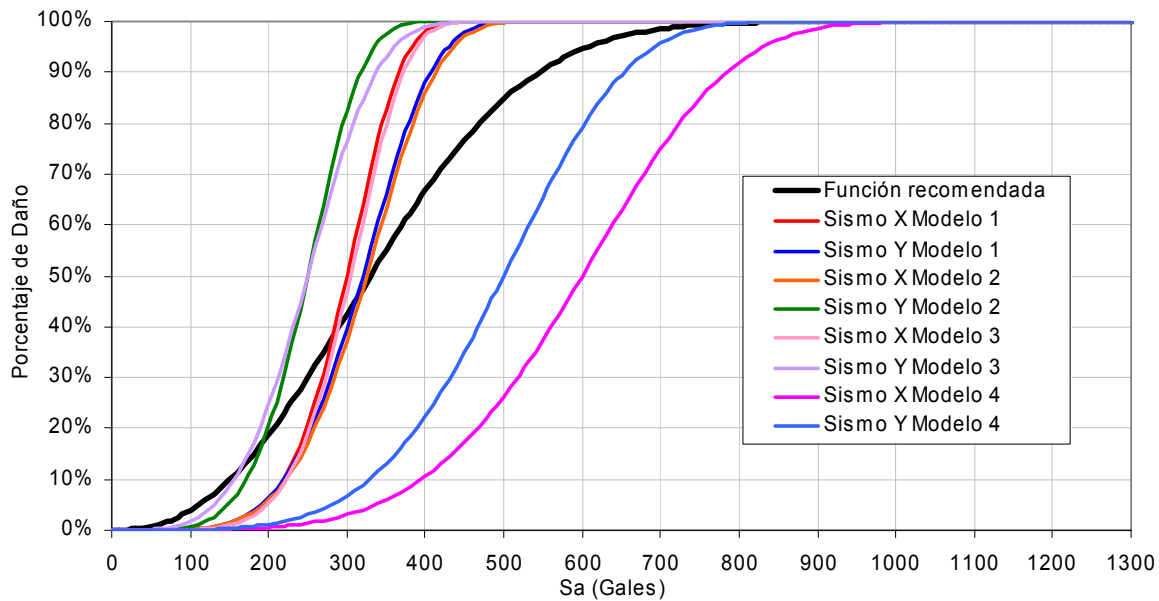


Figura 7.107 Funciones de vulnerabilidad para el Sistema 3C

7.5.2.4 Curvas de vulnerabilidad basadas en la aceleración máxima del terreno (A_{max})

En la Figura 7.108 se presentan las curvas de vulnerabilidad utilizadas en el estudio para los sistemas estructurales que dependen de la aceleración máxima del terreno A_{max} . Estas curvas fueron obtenidas utilizando la metodología presentada en este numeral y ajustadas con algunas disponibles de estudios internacionales.

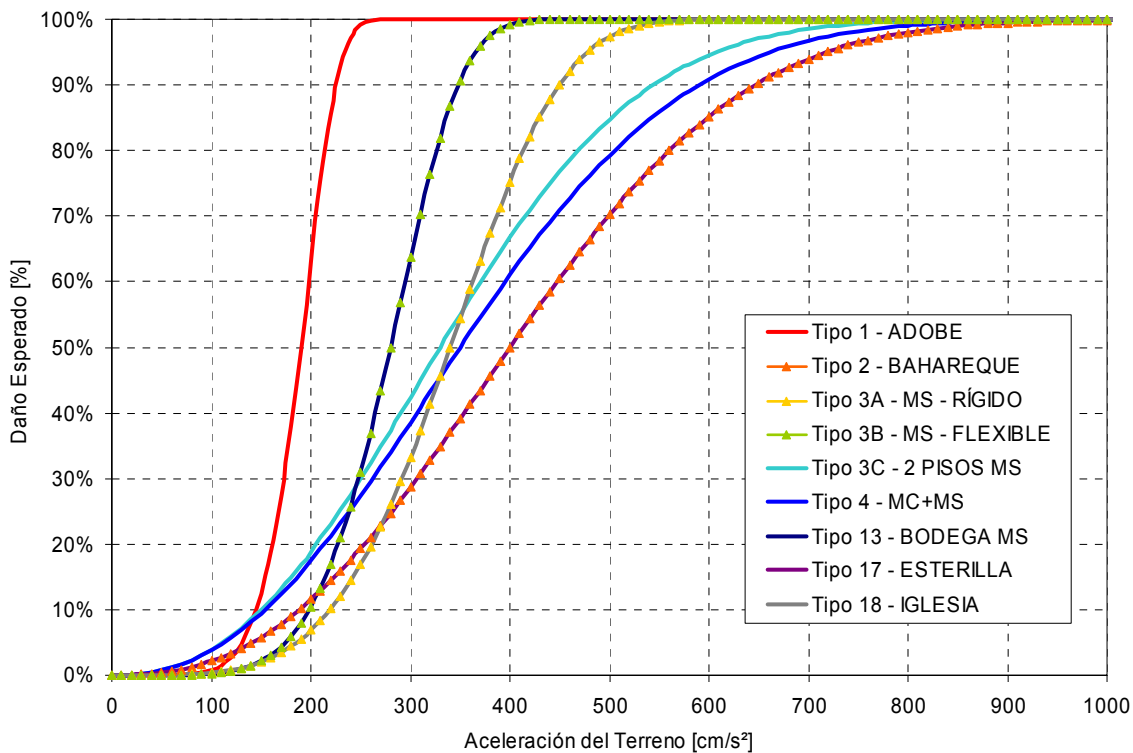


Figura 7.108 Funciones de vulnerabilidad dependientes de aceleración del terreno

7.5.3 Funciones de vulnerabilidad basadas en la deriva de entrepiso

Los tipos constructivos en los cuales el daño depende de la deriva de entrepiso son aquellos en donde se esperan falla de los componentes en su propio plano y no inestabilidades fuera del plano como ocurre en edificaciones de mampostería simple. Dentro de esta clasificación se incluyen los siguientes tipos estructurales:

- Mampostería medianamente confinada (Sistema 05).
- Mampostería confinada (Sistema 06)
- Mampostería reforzada (Sistema 07)
- Reticular celulado con rellenos de mampostería (Sistema 08).
- Pórticos débiles con rellenos de mampostería (Sistema 09).
- Pórticos fuertes con rellenos de mampostería (Sistema 10).
- Pórticos con muros de concreto (Sistema 11).
- Edificaciones de muros de concreto (Sistema 12).
- Bodega con columna en metal y cubierta metálica con muros de Mampostería (Sistema 14).
- Bodega con cerramiento, Pórticos rellenos con Mampostería y Cubierta Metálica (Sistema 15).
- Sistema Combinado o Similar a algún sistema (Sistema 16).
- Edificio metálico (Sistema 19)

En general todos los tipos estructurales en los cuales el daño depende de la deriva de entrepiso se ajustan a curvas de vulnerabilidad desarrolladas previamente y por lo tanto no se hace necesario desarrollar nuevas curvas para estos sistemas.

En la Figura 7.109 se presentan fotos características de algunos tipos constructivos en los cuales el daño depende de la deriva de piso.

En la 7.110 se presentan las curvas de vulnerabilidad utilizadas en este estudio para los tipos estructurales en los cuales el daño depende de la deriva de entrepiso. Se presentan las funciones de vulnerabilidad que se utilizan normalmente para varios de los sistemas estructurales característicos de la zona y que han sido determinados por diferentes métodos incluyendo en varios casos calibraciones con resultados experimentales o de daños registrados en terremotos.



Mampostería confinada
(Sistema 06)



Mampostería reforzada
(Sistema 07)



Pórticos débiles rellenos de mampostería
(Sistema 09)

Figura 7.109 Algunos tipos estructurales

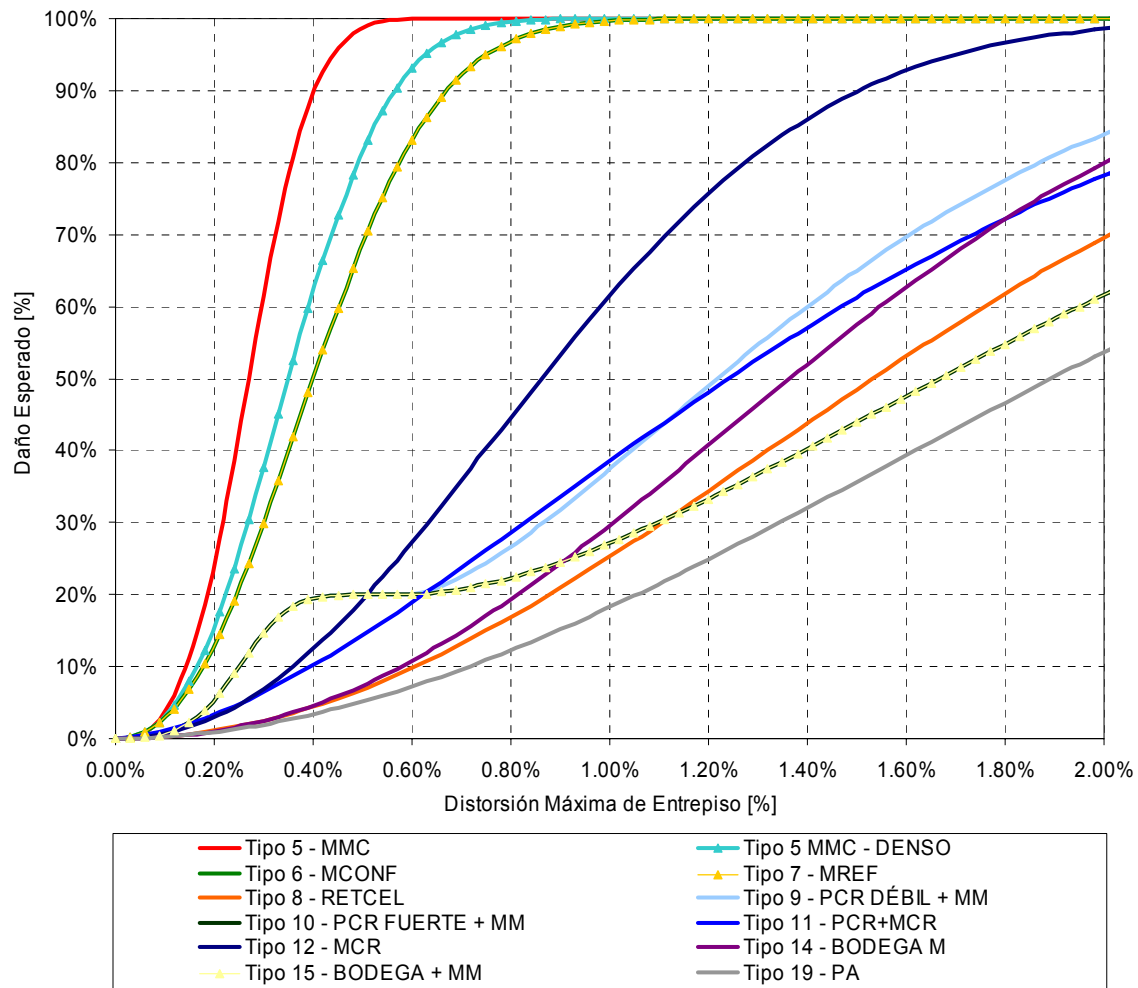


Figura 7.110 Funciones de vulnerabilidad para los tipos estructurales dependientes de la deriva de entrepiso

7.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGO PARA PALMIRA

7.6.1 Escenarios críticos de análisis

Con base en el análisis de amenaza sísmica realizado para el municipio de Palmira (ver Capítulos 3 y 5) y un análisis e riesgo preliminar se establecen los escenarios críticos para efectos del análisis de escenarios de daño, pérdidas y afectaciones. Se seleccionan los siguientes escenarios de tipo determinístico:

- (a) Sismo superficial cercano: corresponde a un sismo que se puede llegar a generar en alguna de las subfallas del sistema Romeral, en particular en alguna de las fallas Cauca-Almaguer. Correspondería a un sismo con una magnitud en el orden de 5.8 a una profundidad aproximada de 11 km pero con distancias epicentrales muy pequeñas, en el orden de unos 21 km. Este sismo corresponde aproximadamente a un período de retorno de 500 años equivalentes a una probabilidad de excedencia de 10% en un tiempo de exposición cercano a 50 años. En la Figura 7.111 se presenta un plano con las aceleraciones máximas a nivel de terreno que puede llegar a generar este tipo de terremoto. Adicionalmente se realizan estimaciones para sismos con magnitud 4.7 correspondiente a 100 años de periodo de retorno y con magnitud 6.2 correspondiente a 1000 años de periodo de retorno.

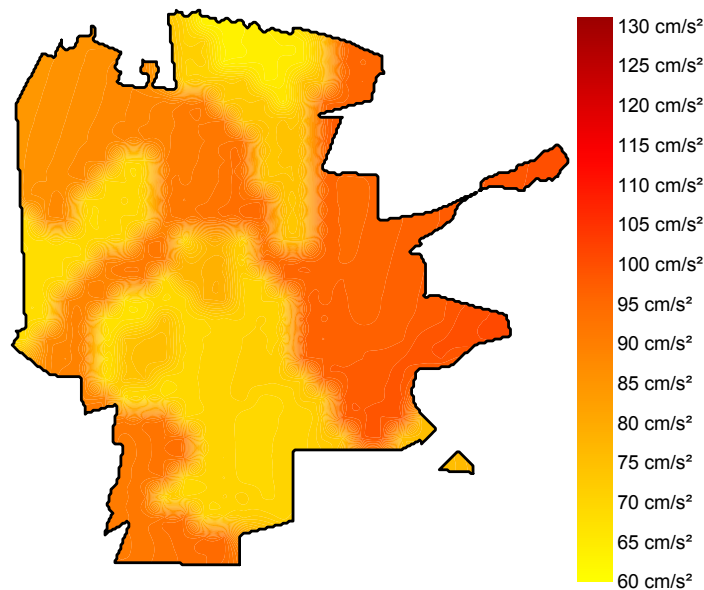


Figura 7.111 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo superficial cercano – $M_s = 5.8$

- (b) Sismo de la zona de Benioff: corresponde a un sismo que se puede llegar a generar en algún sector de la zona de Benioff con una magnitud en el orden de 7.3, a una profundidad aproximada de 53 y a una distancia epicentral del orden de 97 km. Este sismo corresponde aproximadamente a un período de retorno de 500 años equivalentes a una probabilidad de excedencia de 10% en un tiempo de exposición cercano a 50 años. En la Figura 7.112 se presenta un plano con las aceleraciones máximas a nivel de terreno que puede llegar a generar este tipo de terremoto. Adicionalmente se realizan estimaciones para sismos con magnitud 6.2 correspondiente a 100 años de periodo de retorno y con magnitud 7.7 correspondiente a 1000 años de periodo de retorno.

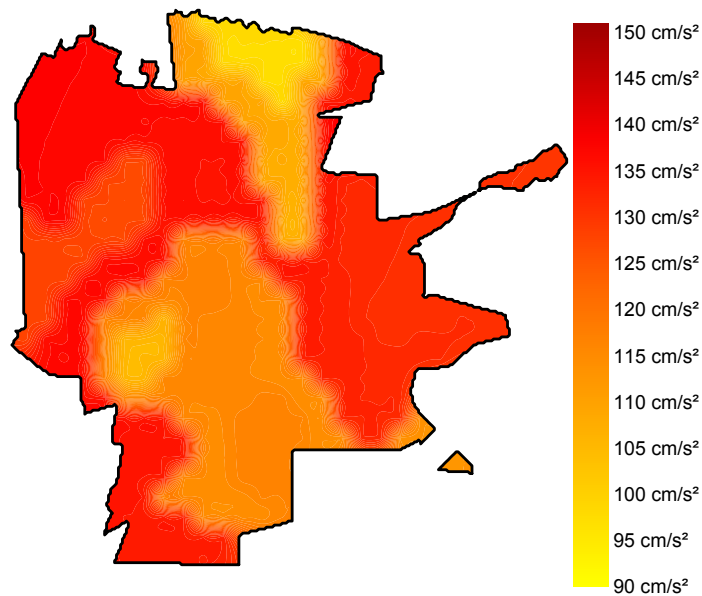


Figura 7.112 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo de la zona de Benioff– Ms = 7.3

- (c) Sismo de la zona de subducción: corresponde a un sismo que se puede llegar a generar en la zona de subducción del Pacífico aproximadamente en las coordenadas -77.33° E y 4.17° N. Correspondería a un sismo con una magnitud en el orden de 8.1, a una profundidad aproximada de 34 km y a una distancia del orden de 138 km. Este sismo corresponde a un período de retorno de 500 años equivalentes a una probabilidad de excedencia de 10% en un tiempo de exposición cercano a 50 años. En la Figura 7.113 se presenta un plano con las aceleraciones máximas a nivel de terreno que puede llegar a generar este tipo de terremoto. Adicionalmente se realizan estimaciones para sismos con magnitud 7.3 correspondiente a 100 años de periodo de retorno y con magnitud 8.5 correspondiente a 1000 años de periodo de retorno.

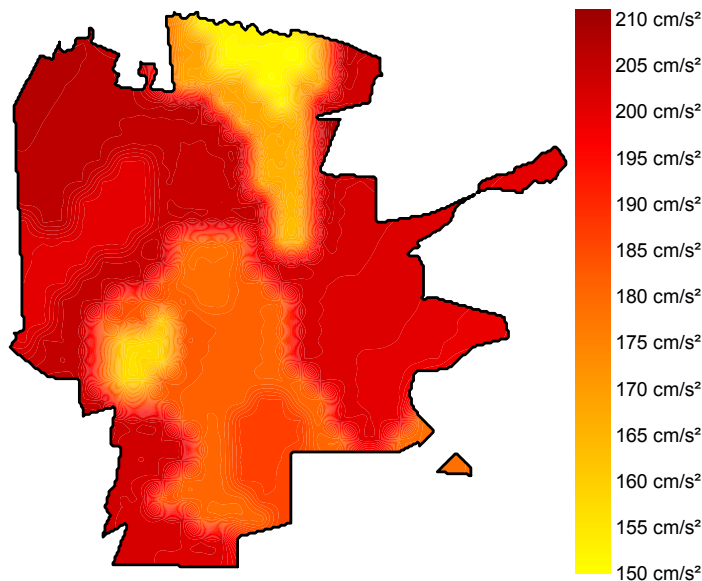


Figura 7.113 Mapa de aceleración máxima del terreno para el sismo de la zona de subducción– Ms = 8.1

En la Tabla 7.18 se resumen las características principales de los escenarios sísmicos críticos planteados para el análisis.

Tabla 7.18 Escenarios sísmicos críticos de análisis para Palmira

| No. | Escenario | Fuente Sísmica | Profundidad [Km] | Distancia [Km] | Periodo de Retorno [años] | Magnitud Ms | Aceleración máxima aprox. en terreno firme [cm/s ²] | Referencia Escenario |
|-----|-----------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------|-------------|---|----------------------|
| 1 | Sismo Superficial Cercano | Cauca - Almaguer | 11 | 21 | 100 | 4.7 | 48 | Cauca-100 |
| | | | | | 500 | 5.8 | 144 | Cauca-500 |
| | | | | | 1000 | 6.2 | 210 | Cauca-1000 |
| 2 | Sismo en zona de Benioff | Benioff Intermedia | 53 | 97 | 100 | 6.2 | 38 | Benioff-100 |
| | | | | | 500 | 7.3 | 103 | Benioff-500 |
| | | | | | 1000 | 7.7 | 142 | Benioff-1000 |
| 3 | Sismo en zona de Subducción | Subducción | 34 | 138 | 100 | 7.3 | 68 | Subducción-100 |
| | | | | | 500 | 8.1 | 133 | Subducción-500 |
| | | | | | 1000 | 8.5 | 170 | Subducción-1000 |

En la Tabla 7.19 se presenta de manera cualitativa una clasificación de los escenarios críticos planteados (Escenario – Periodo de retorno) con relación a la frecuencia de ocurrencia (probabilidad) y a la severidad de los efectos potenciales (daños) que se pueden esperar, y con base en los cuales se pueden establecer los escenarios de riesgo más convenientes con fines de planeación y atención de emergencias.

Tabla 7.19 Clasificación cualitativa de los escenarios sísmicos críticos de análisis para Palmira

| | | SEVERIDAD | | |
|------------|-------|---|--------------|---|
| | | BAJA | MEDIA | ALTA |
| FRECUENCIA | BAJA | | | Cauca-1000 Benioff-1000 Subducción-1000 |
| | MEDIA | | Benioff -500 | Cauca -500 Subducción -500 |
| | ALTA | Cauca -100 Benioff -100 Subducción -100 | | |

7.6.2 Daños en % y pérdidas económicas directas

Para cada uno de los nueve escenarios críticos de análisis se evalúan los daños esperados en porcentaje de área de construcción afectada y en términos de pérdidas económicas valoradas con base en los valores catastrales suministrados (en millones de pesos, MDP) a nivel de cada una de las edificaciones incluidas en el portafolio de análisis. Las pérdidas económicas se valoran únicamente en relación con las pérdidas directas en la construcción y no se incluyen pérdidas en los contenidos ni las pérdidas consecuenciales o de lucro cesante. En la Tabla 7.20 se presentan los resultados en valores globales de daños esperados en % y pérdidas económicas asociadas para cada uno de los escenarios de análisis.

Los resultados también se presentan en forma de distribución de daños en % y en valor económico de pérdidas directas por estratos socioeconómicos y por destino para el escenario correspondiente al sismo superficial cercano de 500 años de periodo de retorno (Cauca-500) en las Figuras 7.109 y 7.110. Los mismos resultados se presentan en forma de distribución

geográfica por manzanas con las reglas de asociación indicadas anteriormente para los escenarios de análisis correspondientes a periodo de retorno de 500 años (Figuras 7.111 a 7.116).

Tabla 7.20 Daños esperados en porcentaje y pérdidas económicas directas para escenarios críticos

| Escenario No. | Identificación | Periodo de Retorno [años] | Porcentaje de daño global esperado [%] | Área construida total afectada [m ²] | Pérdida económica directa total estimada | | Referencia Escenario |
|---------------|-----------------------------|---------------------------|--|--|--|--------|----------------------|
| | | | | | [MDP] | [MDD]* | |
| 1 | Sismo Superficial | 100 | 1.9 | 0 | 45,003 | 20 | Cauca-100 |
| | | 500 | 11.4 | 330,677 | 277,851 | 121 | Cauca-500 |
| | | 1000 | 17.2 | 1,718,222 | 419,756 | 183 | Cauca-1000 |
| 2 | Sismo en zona de Benioff | 100 | 0.6 | 0 | 15,201 | 7 | Benioff-100 |
| | | 500 | 8.6 | 38,420 | 209,705 | 91 | Benioff-500 |
| | | 1000 | 11.6 | 356,631 | 282,837 | 123 | Benioff-1000 |
| 3 | Sismo en zona de Subducción | 100 | 4.4 | 5,573 | 106,732 | 47 | Subducción-100 |
| | | 500 | 10.7 | 327,388 | 261,289 | 114 | Subducción-500 |
| | | 1000 | 14.2 | 869,408 | 345,568 | 151 | Subducción-1000 |

*Nota: TRM promedio Oct/2005 = \$ 2292.7 / 1 Dólar

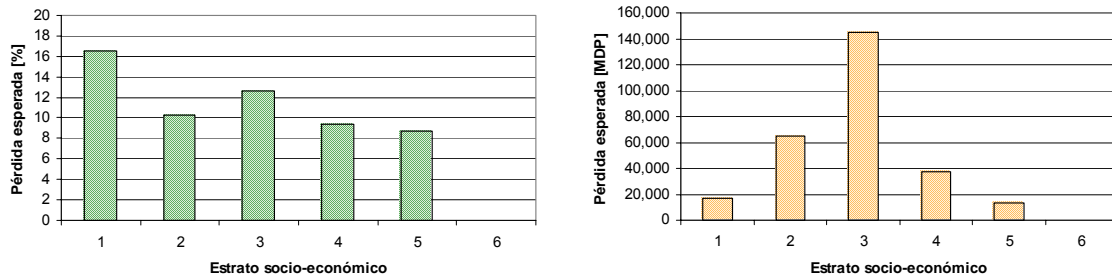


Figura 7.114 Distribución de daños en % y en pérdida económica directa por estrato socio-económicos para el escenario Cauca-500

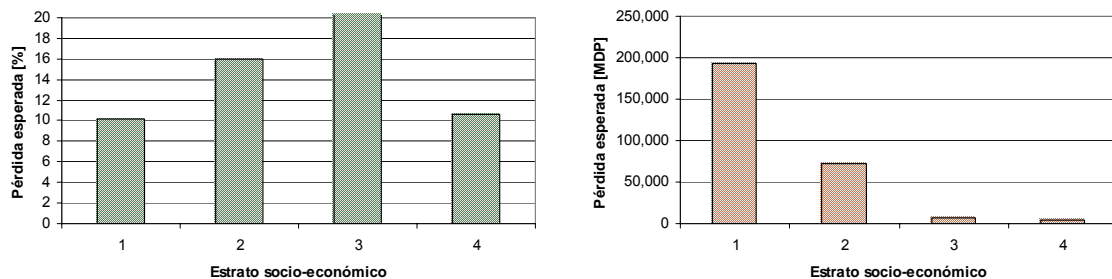


Figura 7.115 Distribución de daños en % y en pérdidas económicas directas por destinos de uso para el escenario Cauca-500

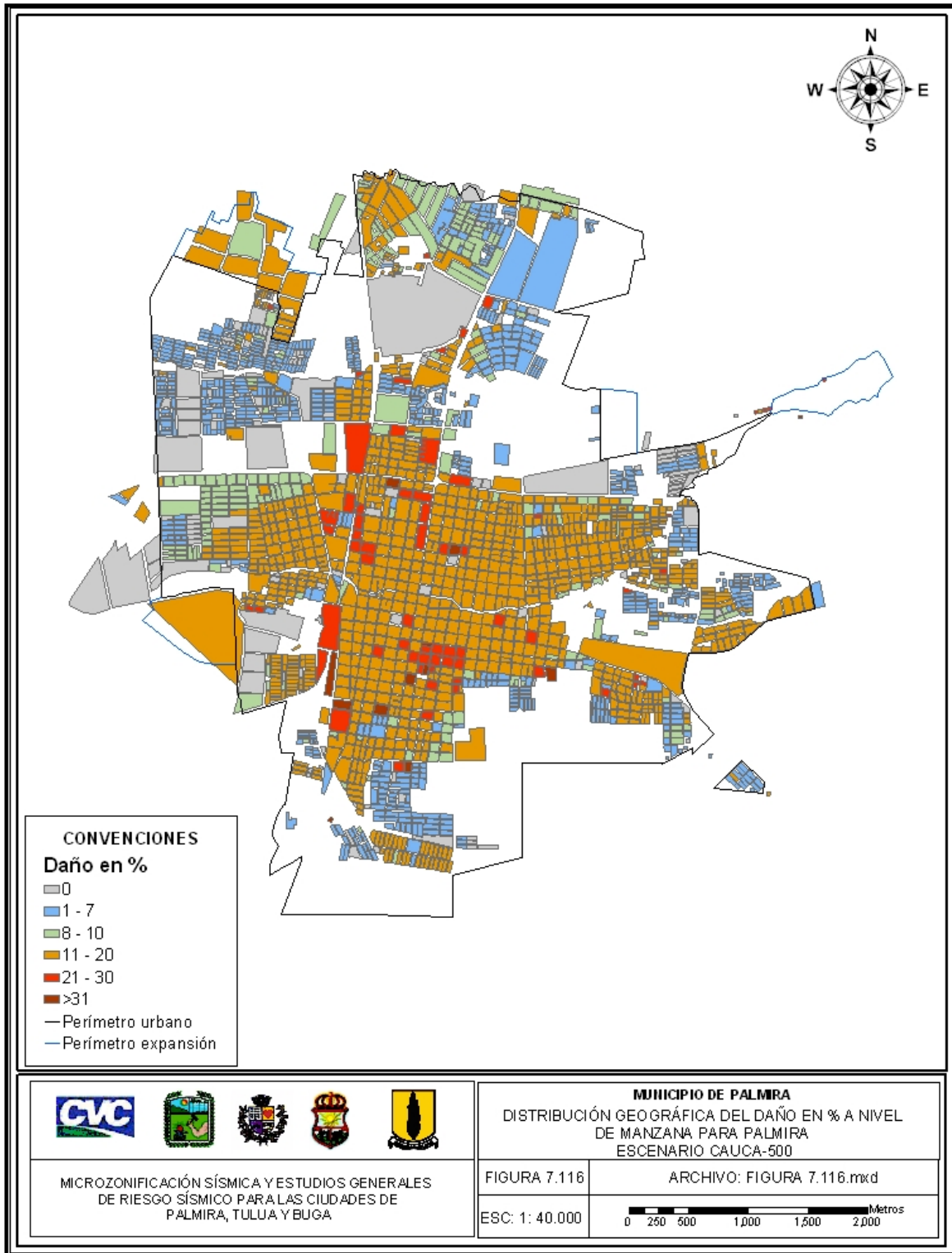


Figura 7.116 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para Palmira Escenario Cauca-500

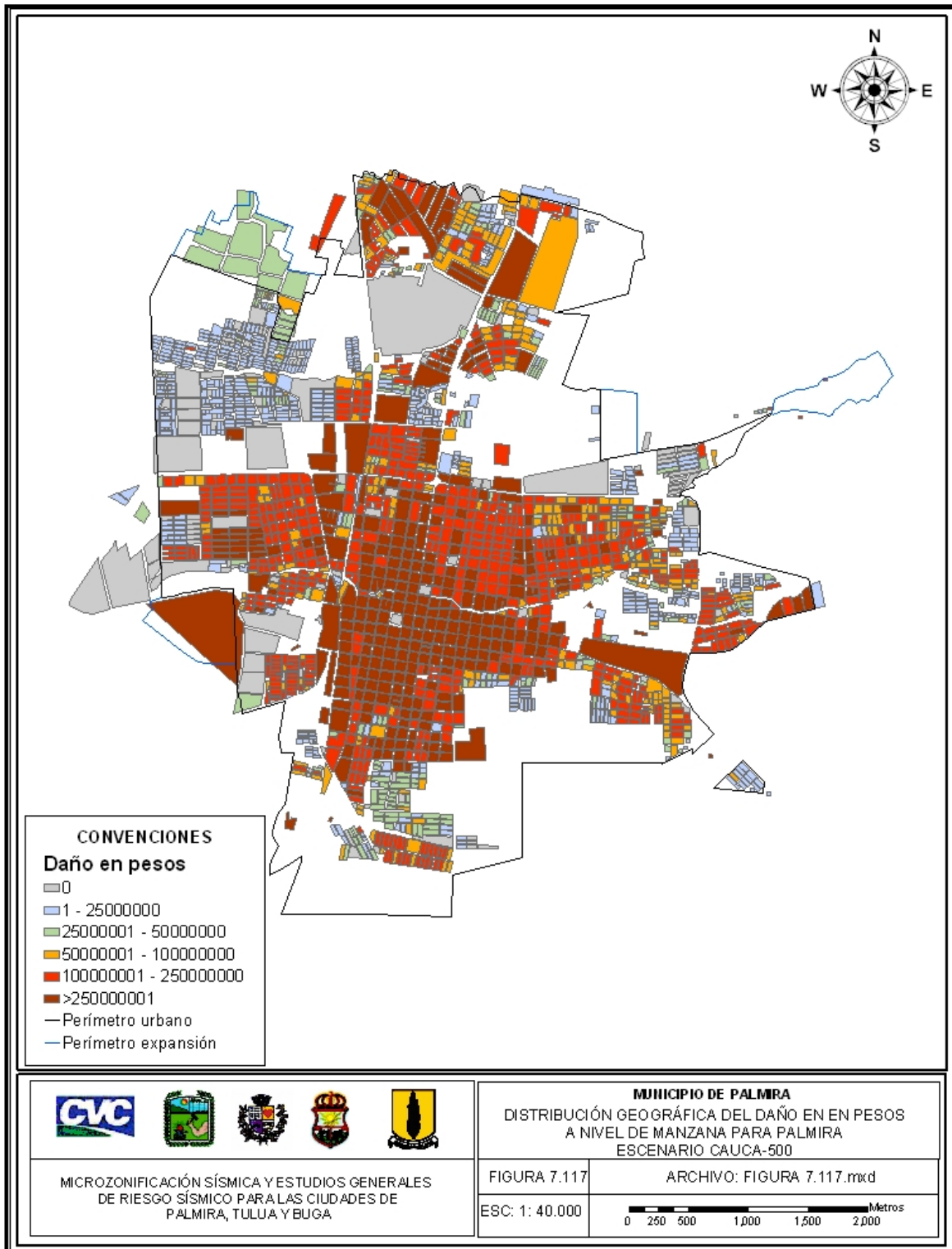


Figura 7.117 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Palmira Escenario Cauca-500

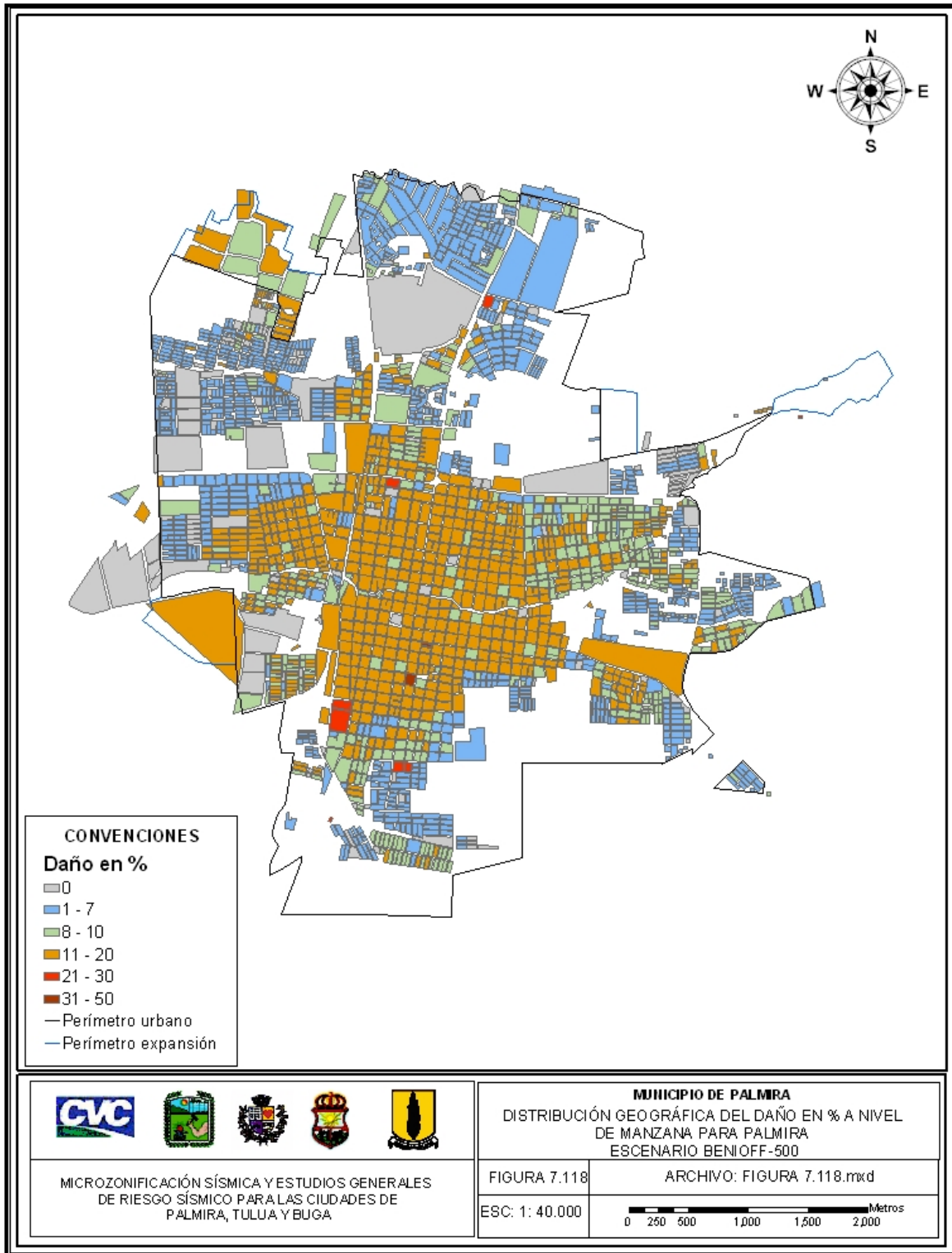


Figura 7.118 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para Palmira Escenario Benioff-500

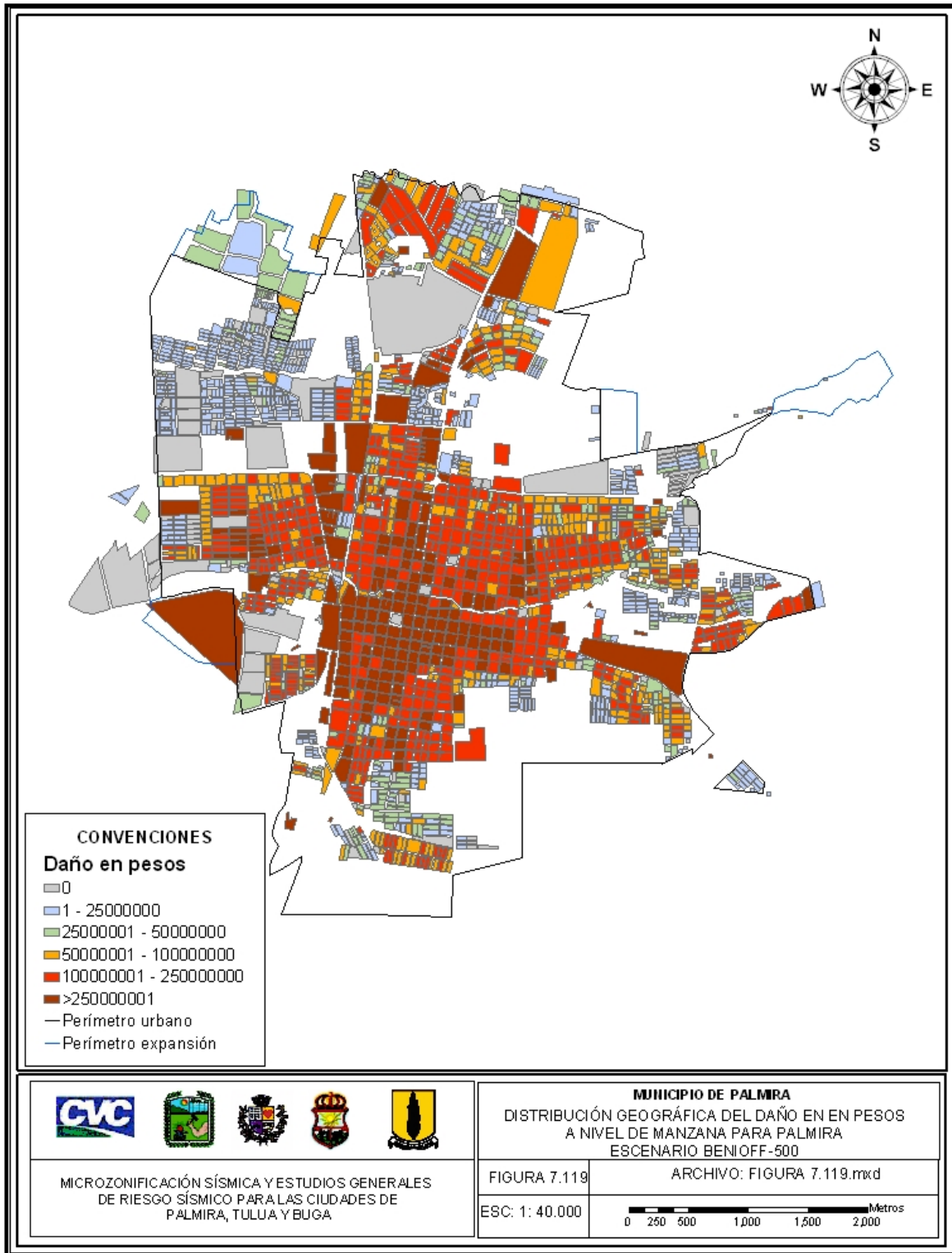


Figura 7.119 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Palmira Escenario Benioff-500

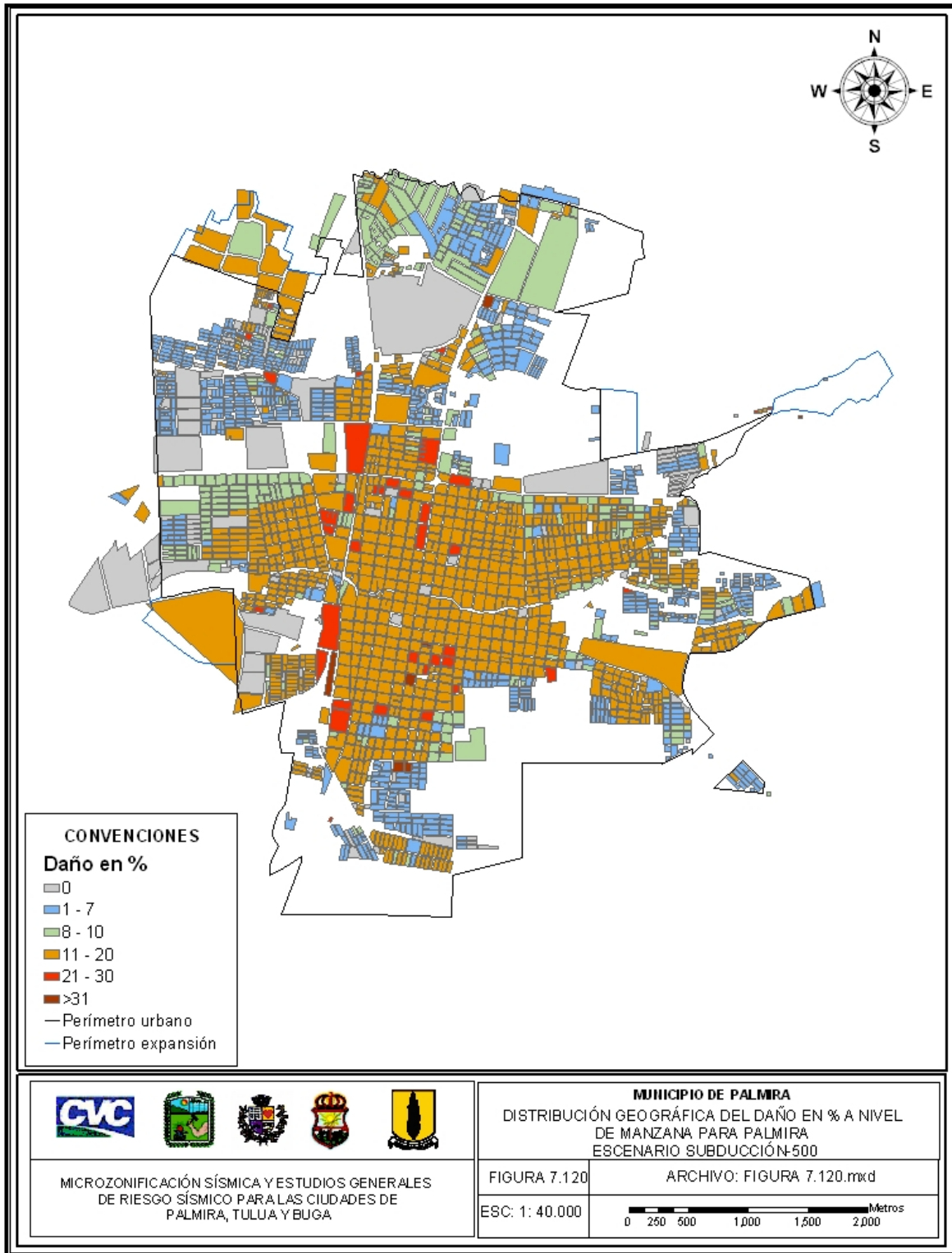
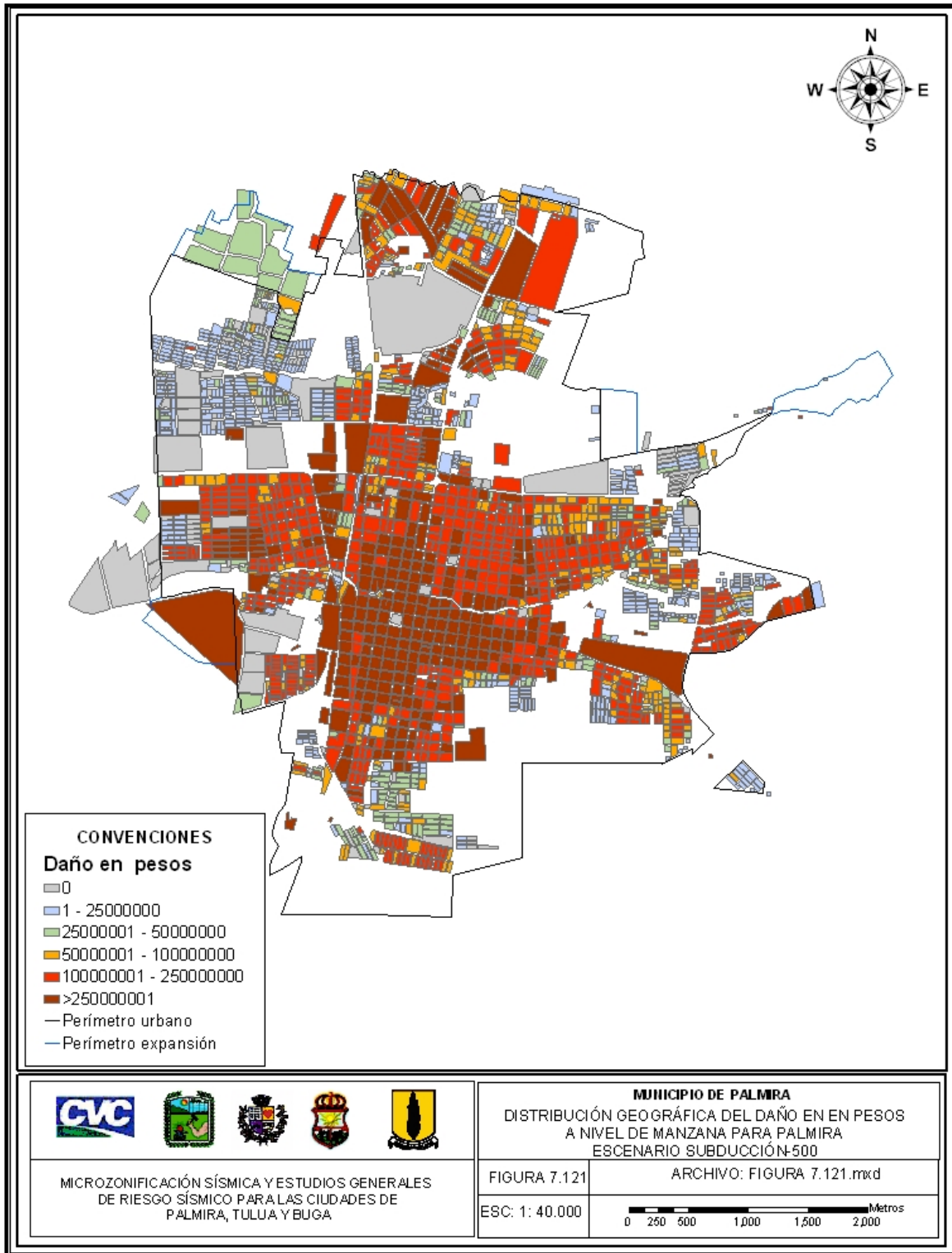


Figura 7.120 Distribución geográfica del daño en % a nivel de manzana para Palmira Escenario Subducción-500



**Figura 7.121 Distribución geográfica del daño en Pesos a nivel de manzana para Palmira
Escenario Subducción-500**

7.6.3 Pérdida anual esperada y prima pura de riesgo

Se evalúa la pérdida anual esperada o prima pura de riesgo para el portafolio completo. Se tienen en cuenta dos situaciones de análisis, la primera para cuantificar las pérdidas en función de los costos estimados de reposición que se calcula como 1.25 veces los valores catastrales y determinar la afectación directa a la población en el municipio con el fin de establecer las bases para futuros planes de contingencia y manejo de emergencias a nivel municipal; y la segunda con el objetivo de establecer las bases para una eventual estrategia de retención y transferencia del riesgo a nivel de todo el municipio lo cual solo puede llevarse a cabo con base en el valor catastral suministrado.

El análisis de riesgo se llevó a cabo con valores promedio de porcentajes de retención, límites máximos asegurados, deducibles y coaseguros de acuerdo con la Tabla 7.21.

Tabla 7.21 Condiciones de análisis para las situaciones planteadas

| | | Situación de Análisis | |
|---------------------------|-------|-------------------------------|---------------------------|
| | | Pérdidas y afectación directa | Retención y transferencia |
| Valor expuesto total | [MDP] | Costo Reposición Estimado | Valor Catastral |
| | | 2,437,488 | 1,949,990 |
| Porcentaje de retención | | 100% | 100% |
| Límite de responsabilidad | | 100% | 100% |
| Deducible | | 0% | 3% |
| Coaseguro | | 0% | 0% |

La Tabla 7.22 presenta los resultados finales obtenidos en términos de primas puras de riesgo en % y en valor.

Tabla 7.22 Primas puras de riesgo – Municipio de Palmira

| | | Situación de Análisis | |
|-----------------------------|-------|-------------------------------|---------------------------|
| | | Pérdidas y afectación directa | Retención y transferencia |
| Número de bienes analizados | | 44,697 | 44,697 |
| Valor expuesto total | [MDP] | 2,437,488 | 1,949,990 |
| Prima pura de riesgo | [‰] | 3.22 | 2.14 |
| | [MDP] | 7,849 | 4,173 |

7.6.4 Pérdidas máximas probables, PML

Se evalúan las pérdidas máximas probables para el portafolio completo del municipio en las mismas condiciones de análisis que para las primas puras de riesgo (ver numeral anterior). Los resultados se presentan en la Tabla 7.23 en la cual se indican valores de PML para tres periodos de retorno (500, 1000 y 1500 años) y en la Figura 7.122 que representa la variación del PML con el período de retorno.

Tabla 7.23 PML para el municipio de Palmira

| | | | Situación de Análisis | | |
|-----------------------------|---------------------------|-------|-------------------------------|---------------------------|---------|
| | | | Pérdidas y afectación directa | Retención y transferencia | |
| Número de bienes analizados | | | 44,697 | 44,697 | |
| Deducible Promedio | | [%] | 0 | 3 | |
| Valor expuesto total | | [MDP] | 2,437,488 | 1,949,990 | |
| PML | Período de retorno [años] | 500 | [%] | 13.56 | 11.14 |
| | | | [MDP] | 330,523 | 217,229 |
| | | 1000 | [%] | 16.76 | 14.22 |
| | | | [MDP] | 408,523 | 277,288 |
| | | 1500 | [%] | 19.51 | 16.89 |
| | | | [MDP] | 475,554 | 329,353 |

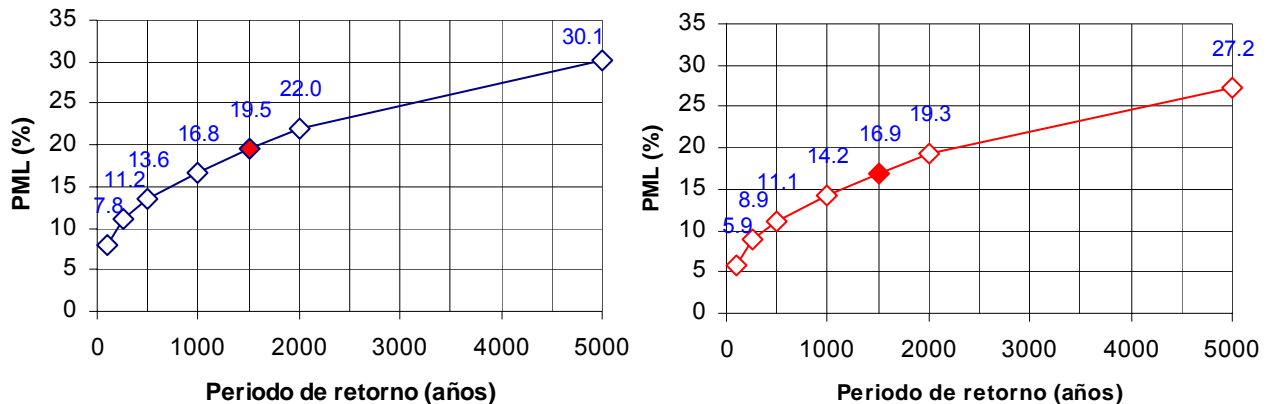


Figura 7.122 PML para el municipio de Palmira
Izq. Pérdidas y afectación directa - Der. Retención y transferencia

La Figura 7.123 presenta curvas de probabilidad de excedencia del PML para el portafolio analizado. Las curvas se presentan para diferentes tiempos de exposición (50, 100 y 200 años), con el fin de poder valorar en el tiempo el riesgo que se está asumiendo para efectos de toma de decisiones.

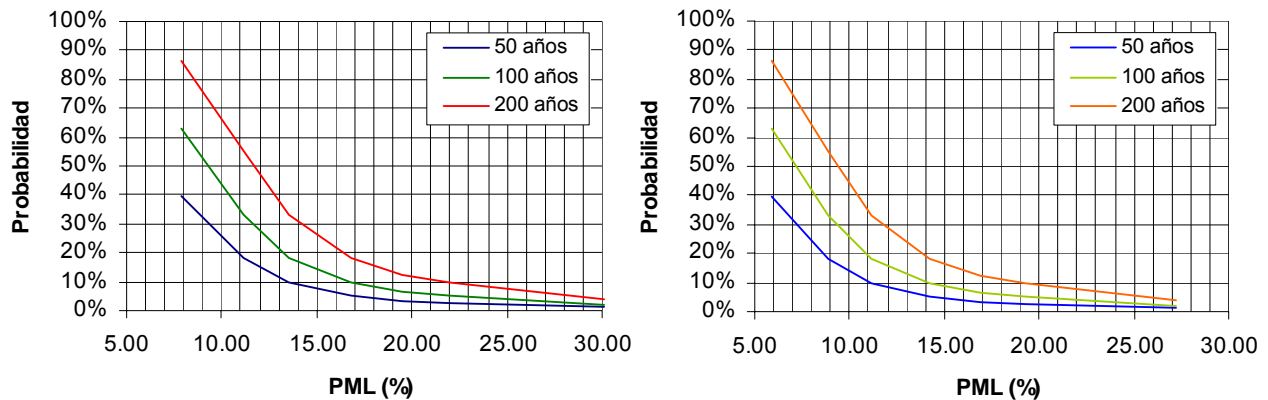


Figura 7.123 Probabilidades de excedencia de valores de PML para el portafolio analizado
Izq. Pérdidas y afectación directa - Der. Retención y transferencia

7.6.5 Afectación sobre la población

El análisis de riesgo se aplica directamente para evaluar el nivel de afectación sobre la población en términos de personas o familias afectadas (que quedan sin vivienda), número estimado de heridos y número estimado de muertes. Los resultados se presentan también de acuerdo con su distribución geográfica aproximada.

Para efectos de calcular el número de personas o familias afectadas solo se tiene en cuenta el número de viviendas afectadas y que requerirán de una y otra manera de una vivienda temporal mientras se adelantan obras de reconstrucción y asignación de nuevas viviendas. Por otro lado el cálculo aproximado de heridos y muertes se realiza para dos situaciones diferentes que consideran la ocupación relativa de los diferentes tipos de uso de las construcciones: sismo ocurriendo de día y sismo ocurriendo de noche. Para esta estimación se toman las consideraciones de la Tabla 7.1. Las Figuras 7.124 y 7.125 presentan la distribución geográfica por manzana del número de habitantes bajo techo para el escenario de día y el escenario de noche respectivamente.

De acuerdo con lo anterior se procede a realizar el análisis de riesgo para los diferentes escenarios críticos seleccionados teniendo en cuenta factores de incertidumbre en las estimaciones. La Tabla 7.24 resume las afectaciones en términos de número y porcentaje de viviendas con algún tipo de daño (daño superior al 20%), número y porcentaje de viviendas destruidas (viviendas no habitables con daño superior al 50%), número y porcentaje (con respecto al total de la población) de personas sin vivienda, y número y porcentaje (con respecto al total de la población) de personas afectadas en términos de comercio o industria (lo cual sería un estimativo de personas que pueden quedar sin trabajo al menos durante un tiempo). Para estos análisis se

Tabla 7.24 Afectaciones a las edificaciones y a la población para escenarios seleccionados

| Escenario No. | Identificación | Periodo de retorno [años] | Edificaciones con algún tipo de daño (Daño > 20%) | | Edificaciones destruidas (Daño > 50%) | | Personas sin vivienda | | Personas sin lugar de trabajo | |
|---------------|-----------------------------|---------------------------|---|------|---------------------------------------|-----|-----------------------|-------------|-------------------------------|---------------|
| | | | [Número] | [%] | [Número] | [%] | [Número] | [%] | [Número] | [%] |
| 1 | Sismo Superficial | 100 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | ≈ 0 | 0.0% - 0.0% | ≈ 0 | 0.0% - 0.0% |
| | | 500 | 1,520 | 3.4 | 20 | 0.0 | 3,400 - 4,000 | 1.3% - 1.6% | 12,000 - 14,100 | 4.7% - 5.5% |
| | | 1000 | 9,190 | 20.5 | 940 | 2.1 | 13,800 - 16,200 | 5.4% - 6.4% | 51,600 - 60,600 | 20.3% - 23.8% |
| 2 | Sismo en zona de Benioff | 100 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | ≈ 0 | 0.0% - 0.0% | ≈ 0 | 0.0% - 0.0% |
| | | 500 | 170 | 0.4 | 10 | 0.0 | 0 - 100 | 0.0% - 0.0% | 1,200 - 1,400 | 0.5% - 0.5% |
| | | 1000 | 1,660 | 3.7 | 10 | 0.0 | 3,600 - 4,200 | 1.4% - 1.6% | 13,300 - 15,700 | 5.2% - 6.2% |
| 3 | Sismo en zona de Subducción | 100 | 10 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 - 10 | 0.0% - 0.0% | 0 - 50 | 0.0% - 0.0% |
| | | 500 | 1,520 | 3.4 | 10 | 0.0 | 500 - 600 | 0.2% - 0.2% | 2,900 - 3,500 | 1.2% - 1.4% |
| | | 1000 | 4,030 | 9.0 | 810 | 1.8 | 5,500 - 6,500 | 2.2% - 2.5% | 24,900 - 29,300 | 9.8% - 11.5% |

Por otro lado la Tabla 7.25 presenta estimativos del número aproximado de personas con afectaciones personales en términos del número de heridos y del número estimado de muertes para el sismo ocurriendo en el día o en la noche, para cada uno de los escenarios críticos planteados.

Tabla 7.25 Afectaciones directas a la población para escenarios seleccionados

| Escenario No. | Identificación | Periodo de retorno [años] | Sismo en el día | | Sismo en la noche | |
|---------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | Número de heridos | Número de muertos | Número de heridos | Número de muertos |
| 1 | Sismo Superficial | 100 | 0 - 20 | ≈ 0 | 0 - 10 | ≈ 0 |
| | | 500 | 900 - 1,100 | 200 - 250 | 500 - 600 | 100 - 150 |
| | | 1000 | 2,800 - 3,300 | 600 - 700 | 1,650 - 1,950 | 300 - 400 |
| 2 | Sismo en zona de Benioff | 100 | ≈ 0 | ≈ 0 | ≈ 0 | ≈ 0 |
| | | 500 | 200 - 250 | 0 - 50 | 100 - 150 | 0 - 50 |
| | | 1000 | 900 - 1,050 | 200 - 250 | 500 - 600 | 100 - 120 |
| 3 | Sismo en zona de Subducción | 100 | 0 - 50 | 0 - 20 | 0 - 20 | 0 - 10 |
| | | 500 | 600 - 700 | 150 - 200 | 300 - 400 | 50 - 100 |
| | | 1000 | 1,750 - 2,100 | 400 - 500 | 1,000 - 1,200 | 200 - 250 |

Finalmente se presentan los resultados del análisis en forma de distribución geográfica por manzanas. Se presentan únicamente los resultados para los escenarios de 500 años de periodo de retorno. Las Figuras 7.124 a 7.131 resumen los resultados para el número de heridos de día y de noche para los tres escenarios. Las Figuras 7.132 a 7.137 resumen los resultados para el número de heridos de día y de noche para los tres escenarios.

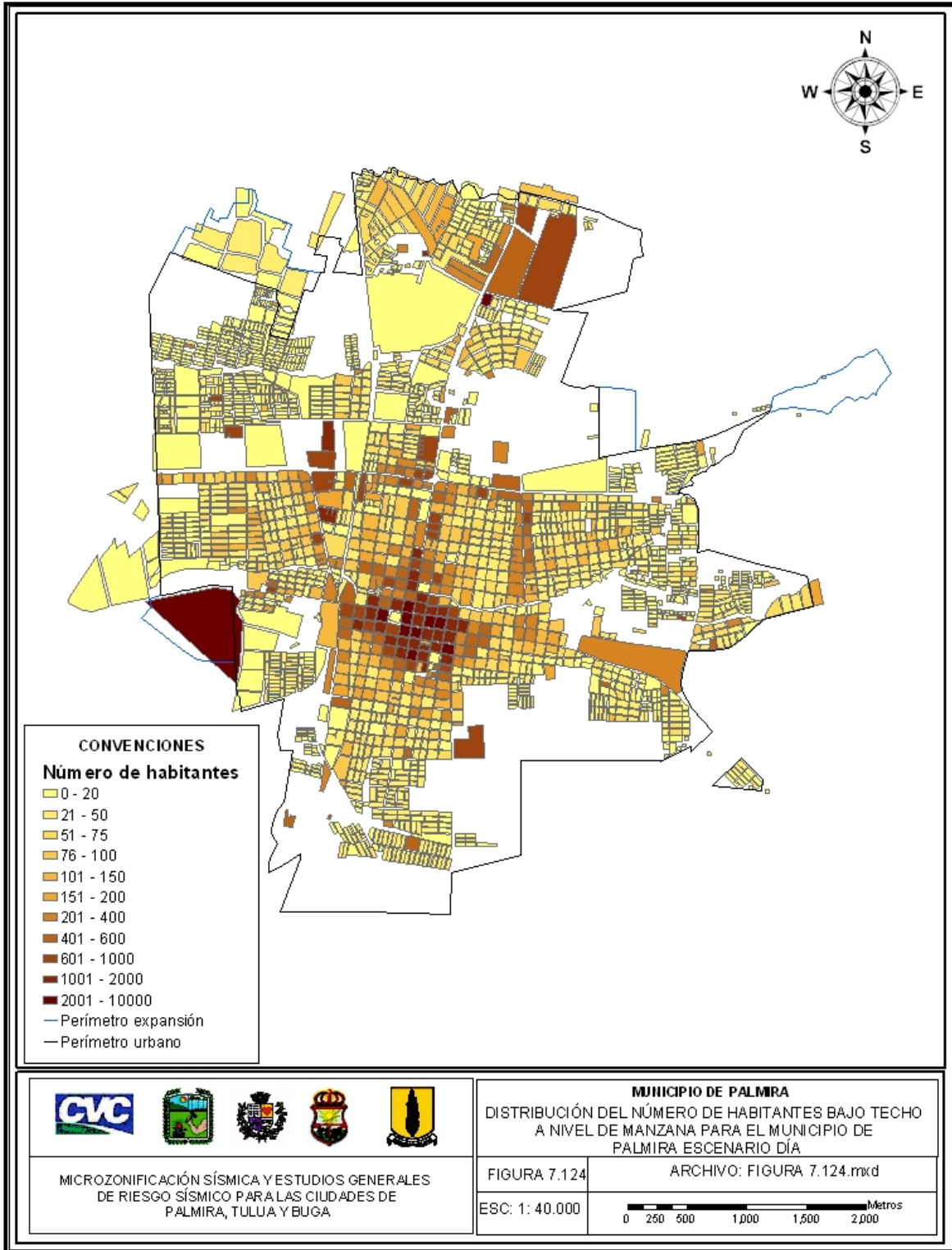


Figura 7.124 Distribución del número de habitantes bajo techo a nivel de manzana para Palmira Escenario Día

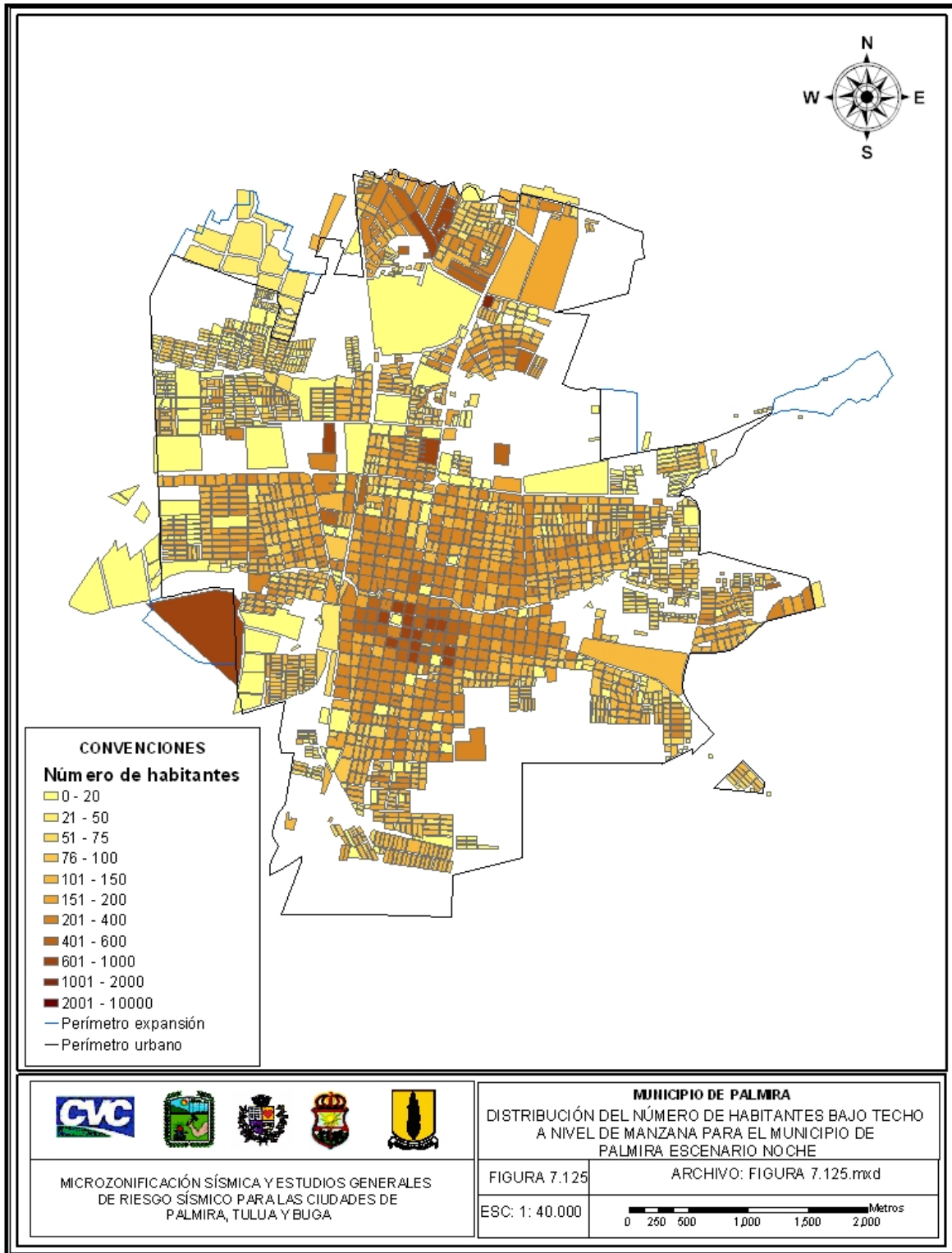


Figura 7.125 Distribución del número de habitantes bajo techo a nivel de manzana para Palmira Escenario Noche

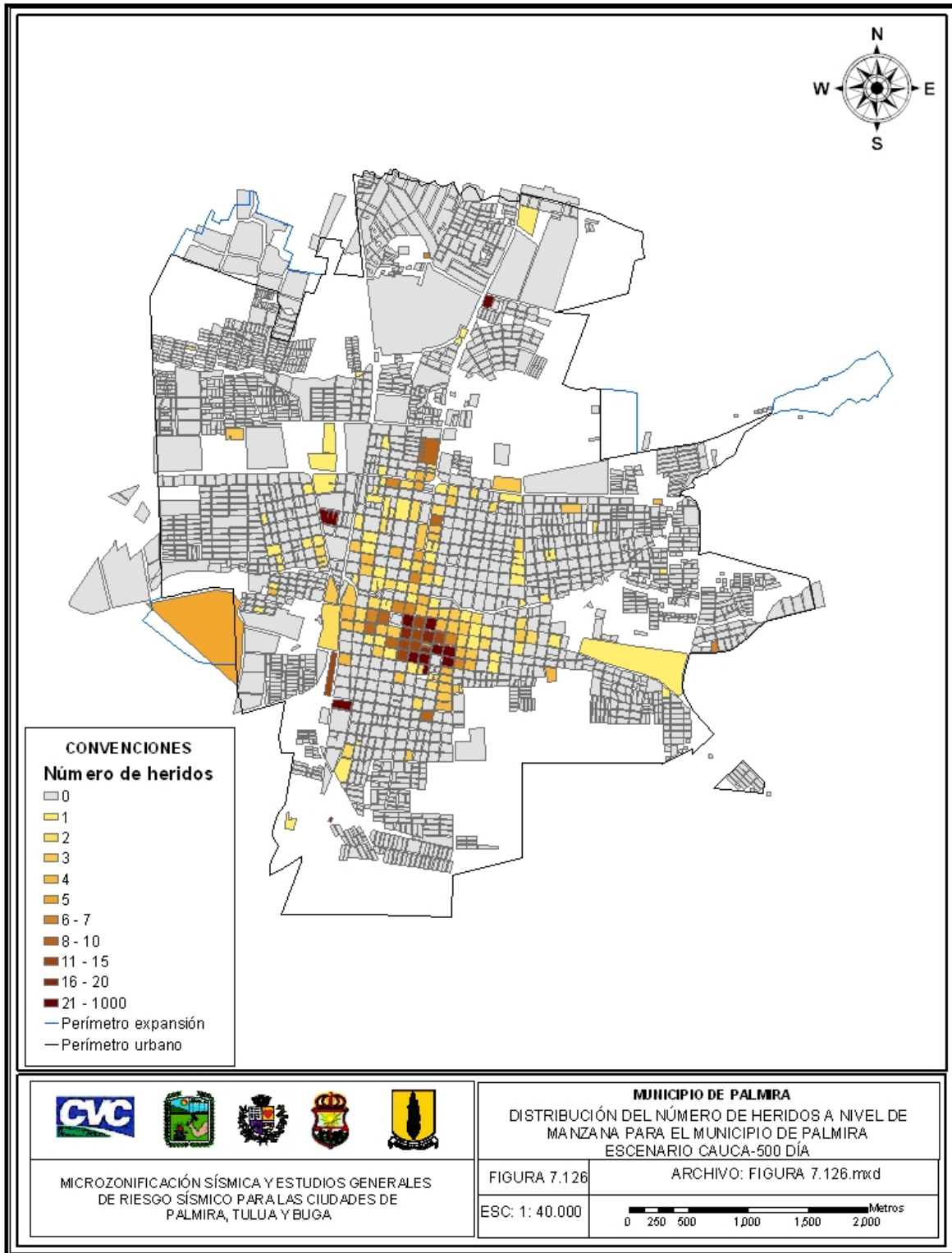


Figura 7.126 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Cauca-500 - Día

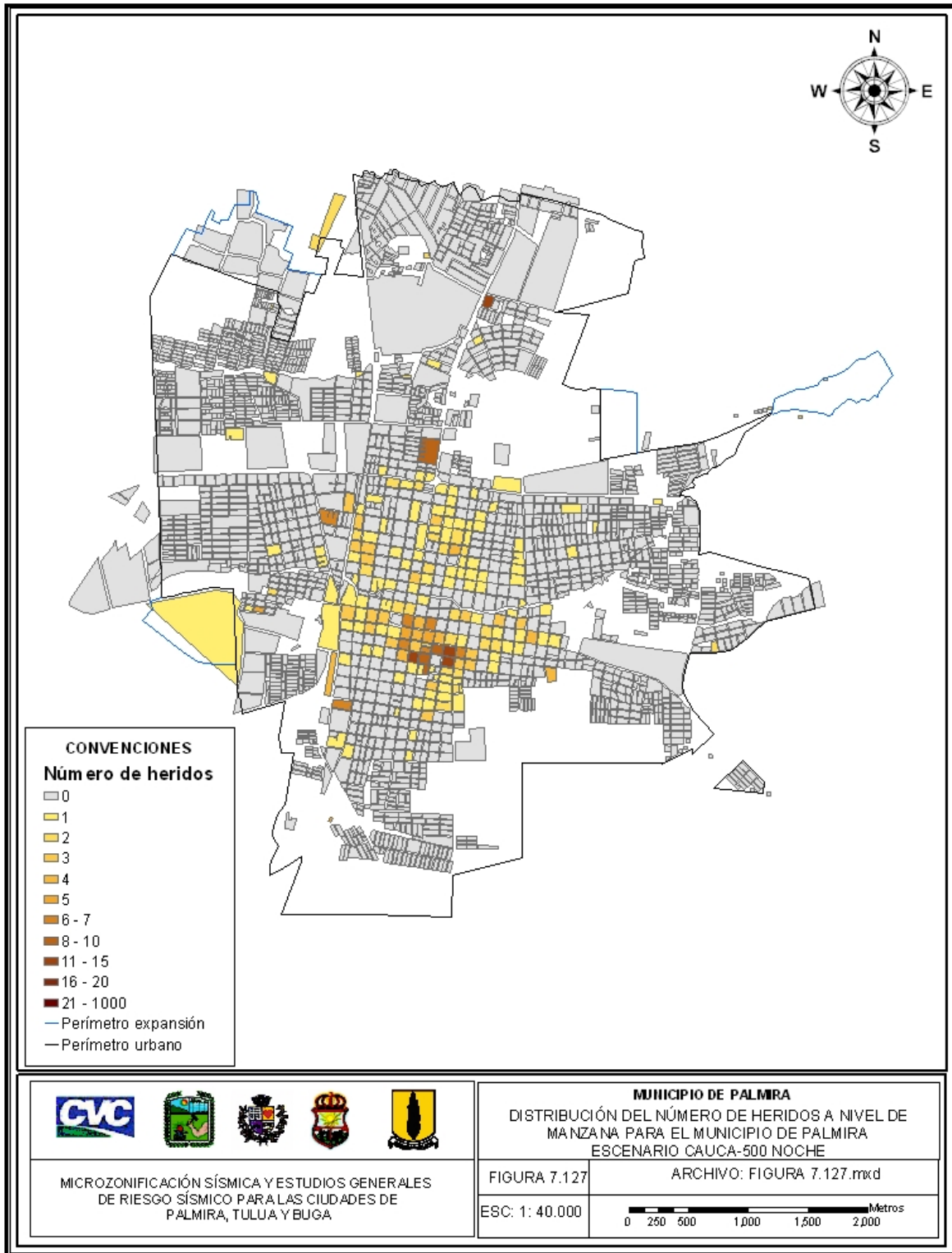


Figura 7.127 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Cauca-500 - Noche

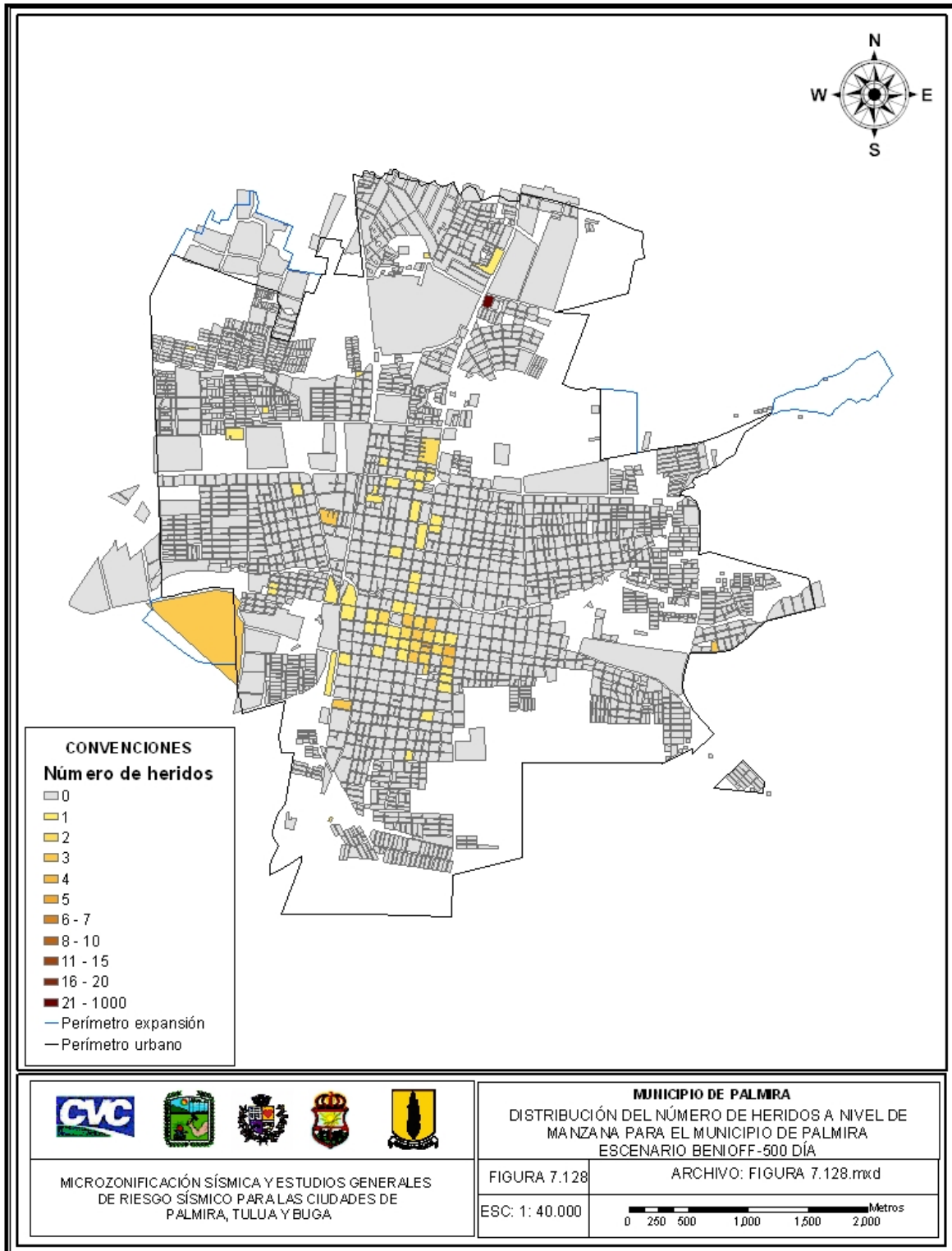


Figura 7.128 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Benioff-500 - Día

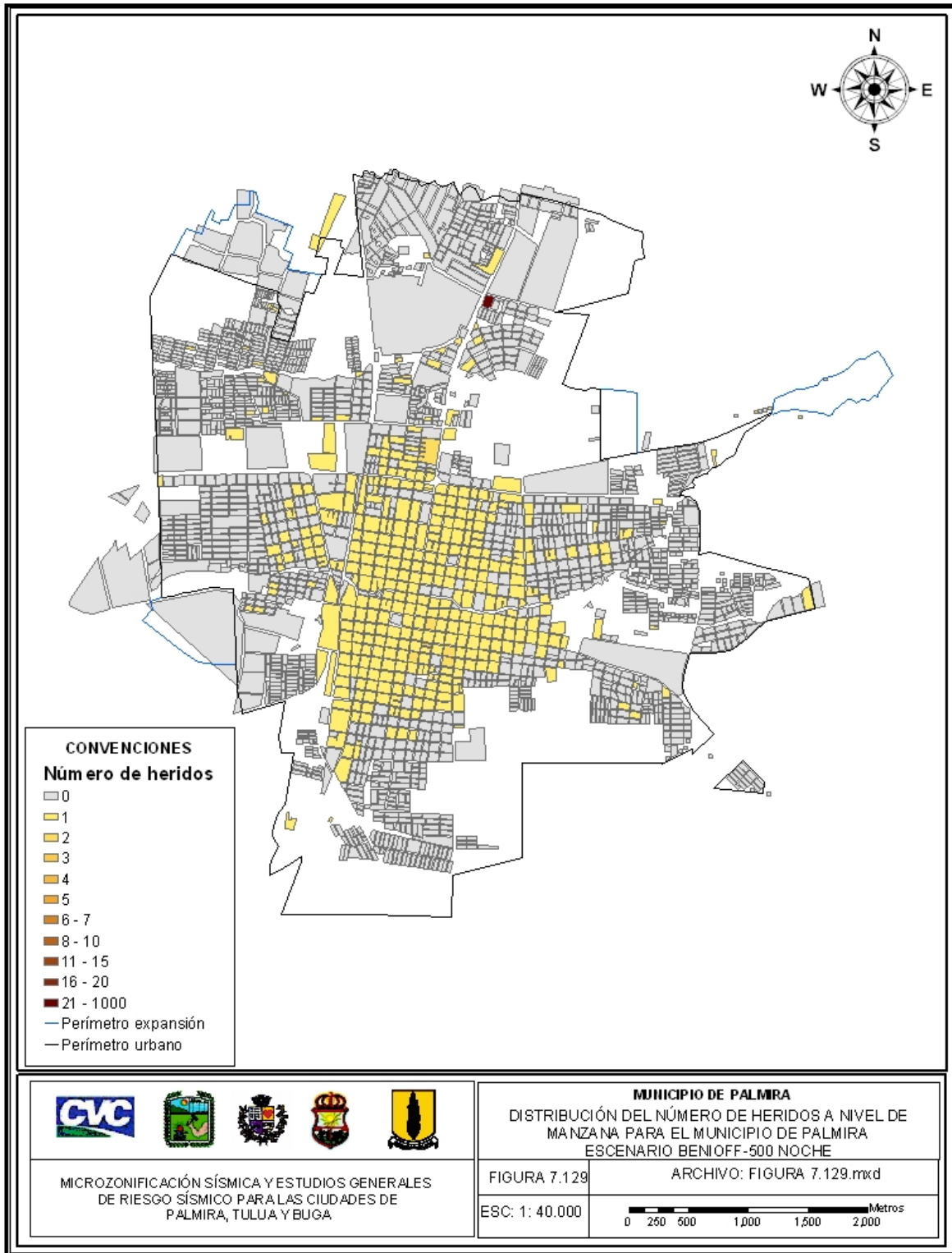


Figura 7.129 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Benioff-500 - Noche

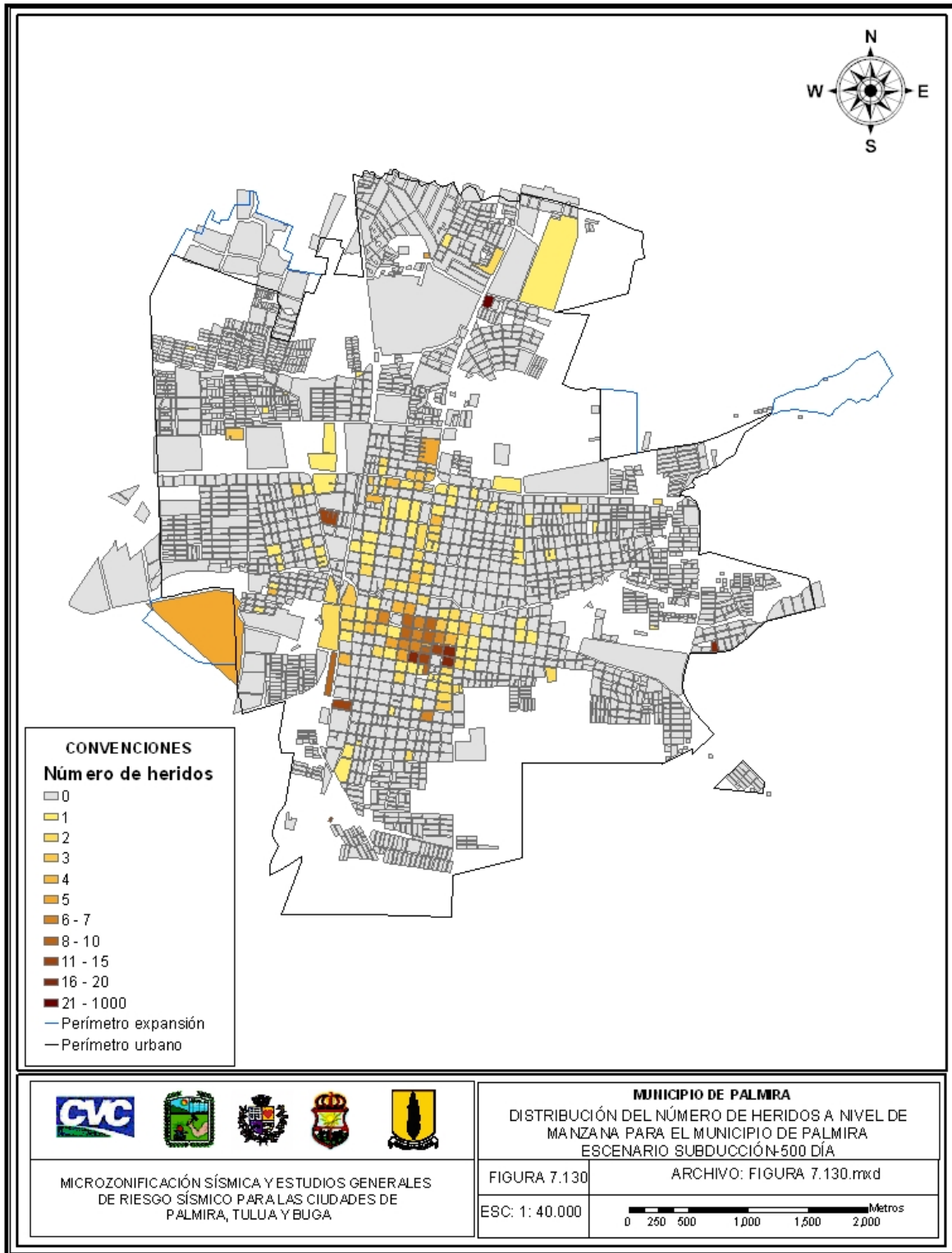


Figura 7.130 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Subducción-500 - Día

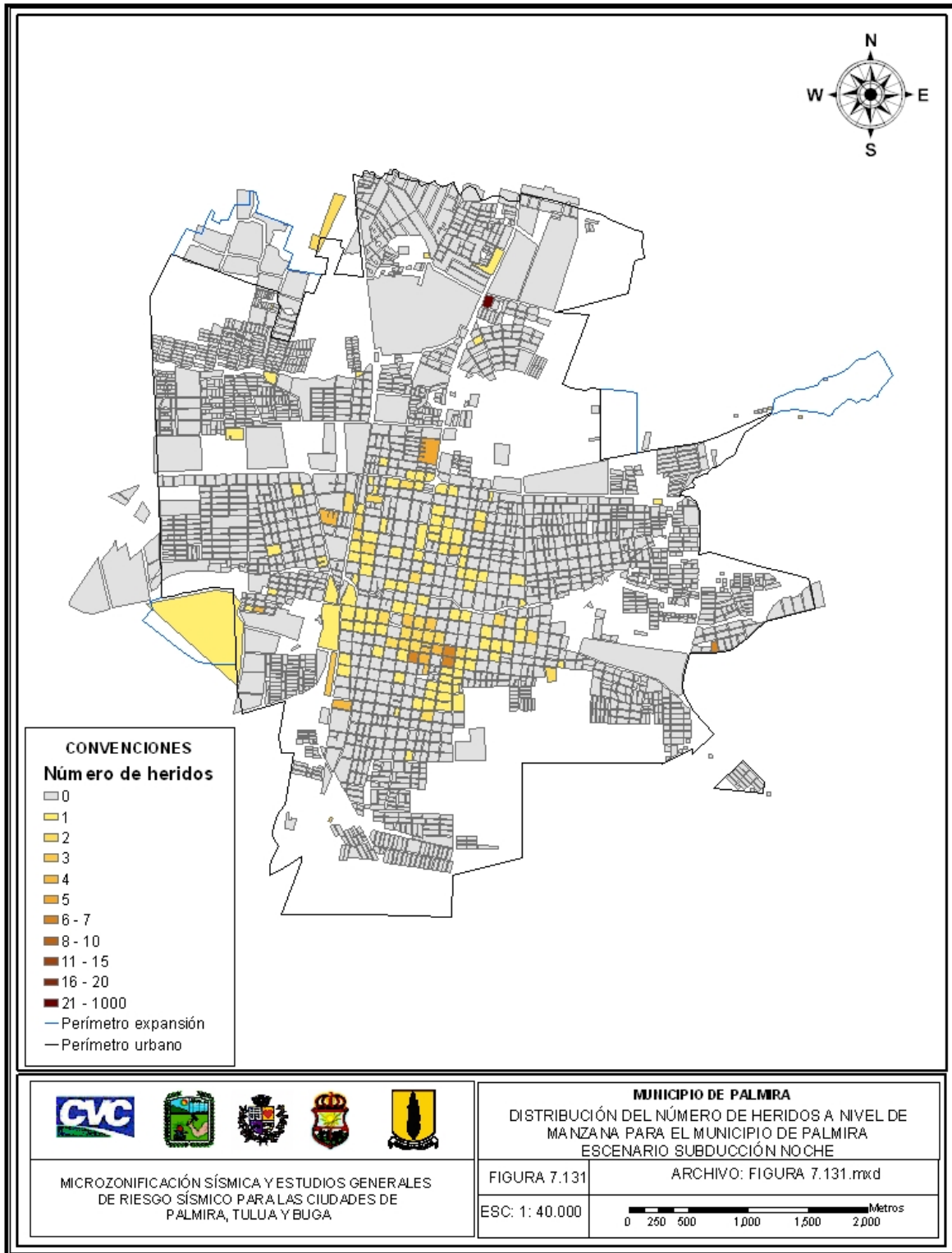


Figura 7.131 Distribución del número de heridos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Subducción-500 - Noche

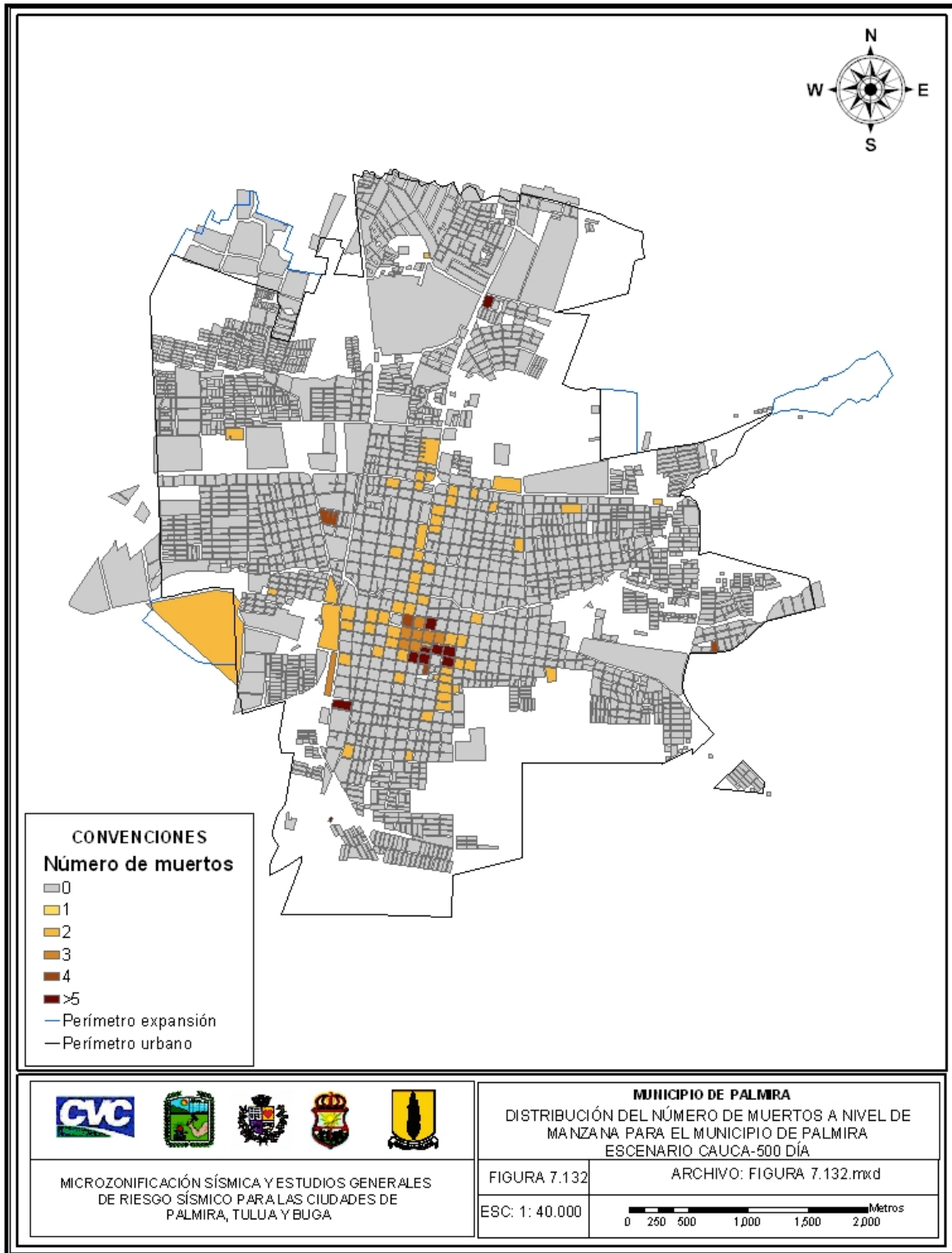


Figura 7.132 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Cauca-500 - Día

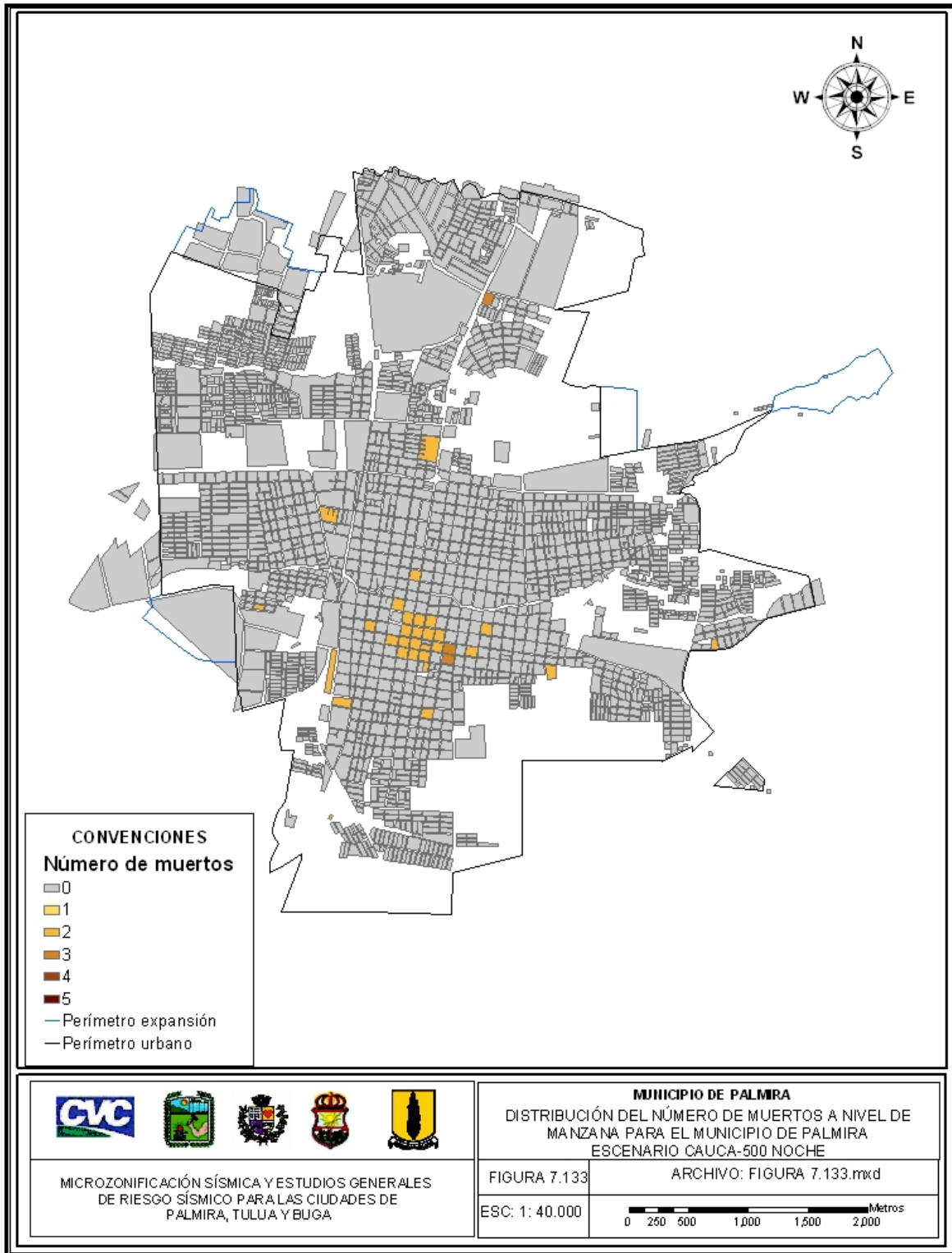


Figura 7.133 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Cauca-500 - Noche

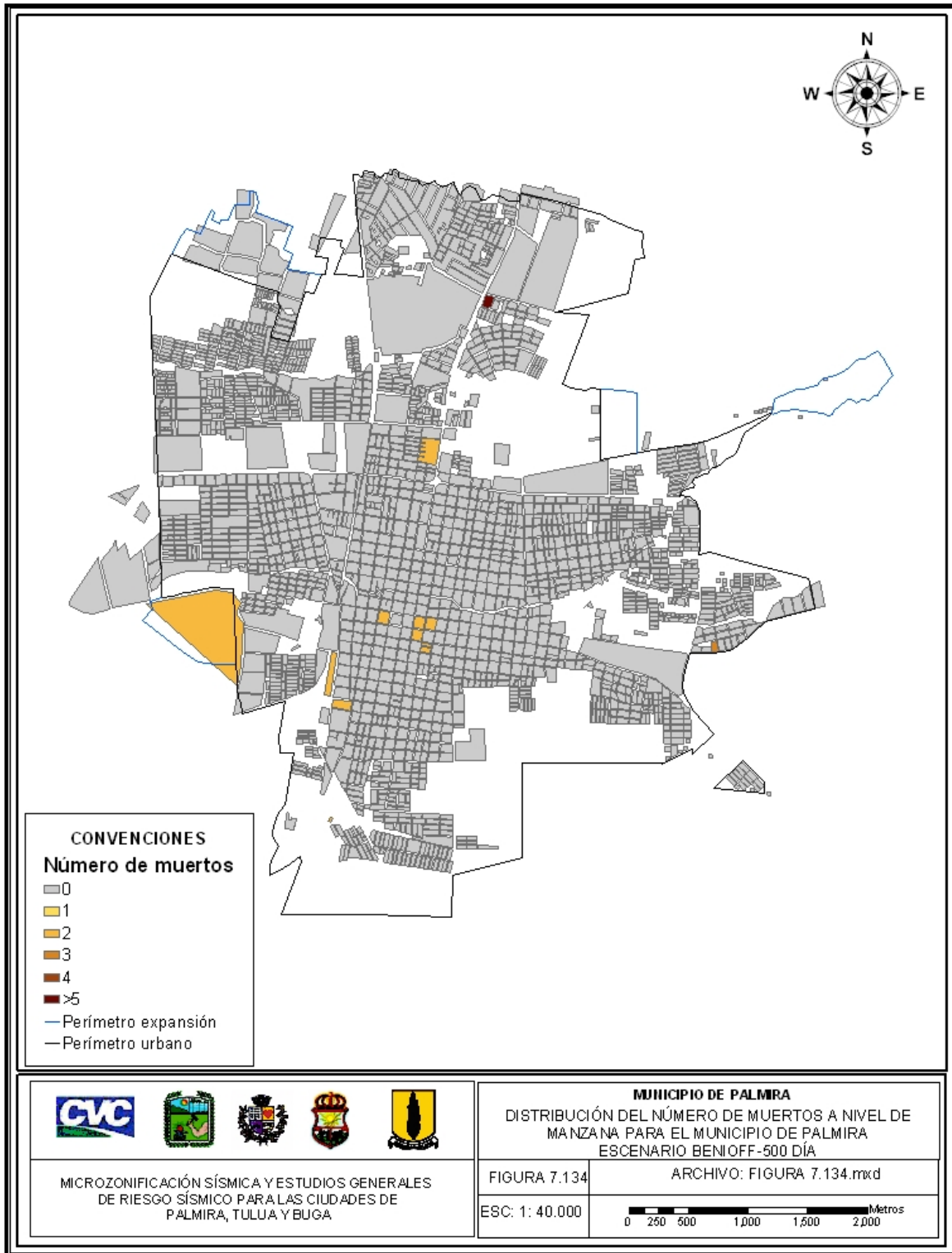


Figura 7.134 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Benioff-500 - Día

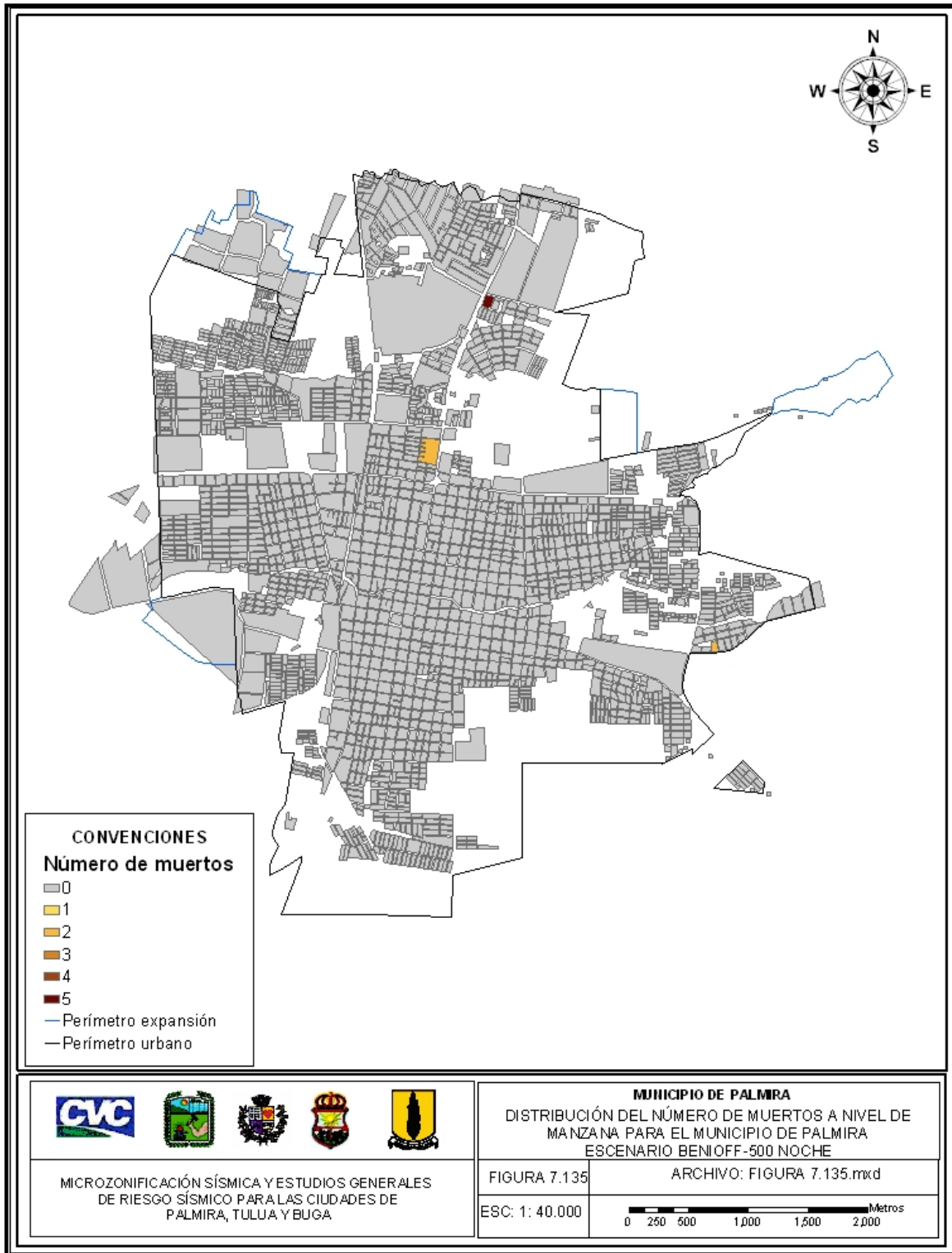


Figura 7.135 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Benioff-500 - Noche

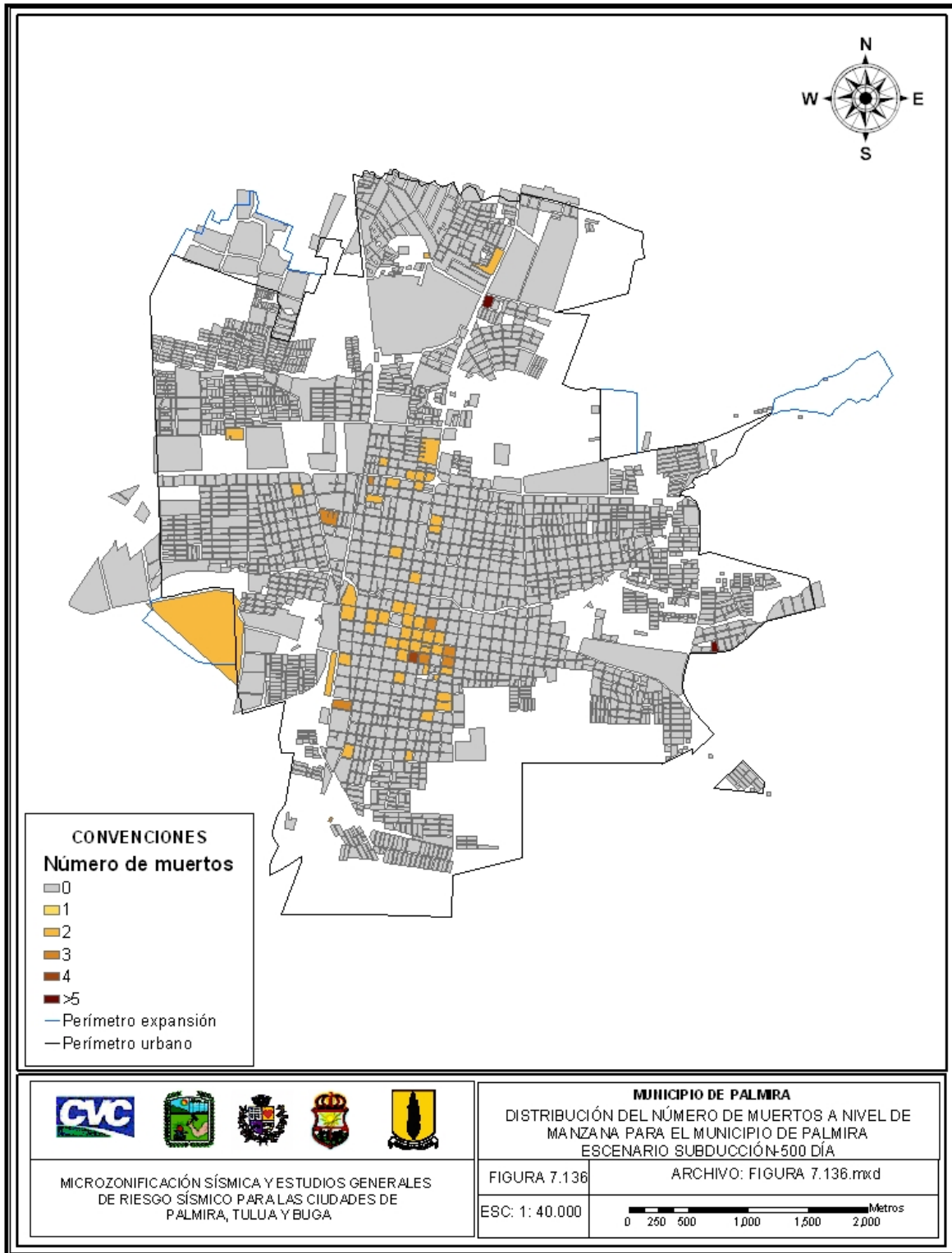


Figura 7.136 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Subducción-500 - Día

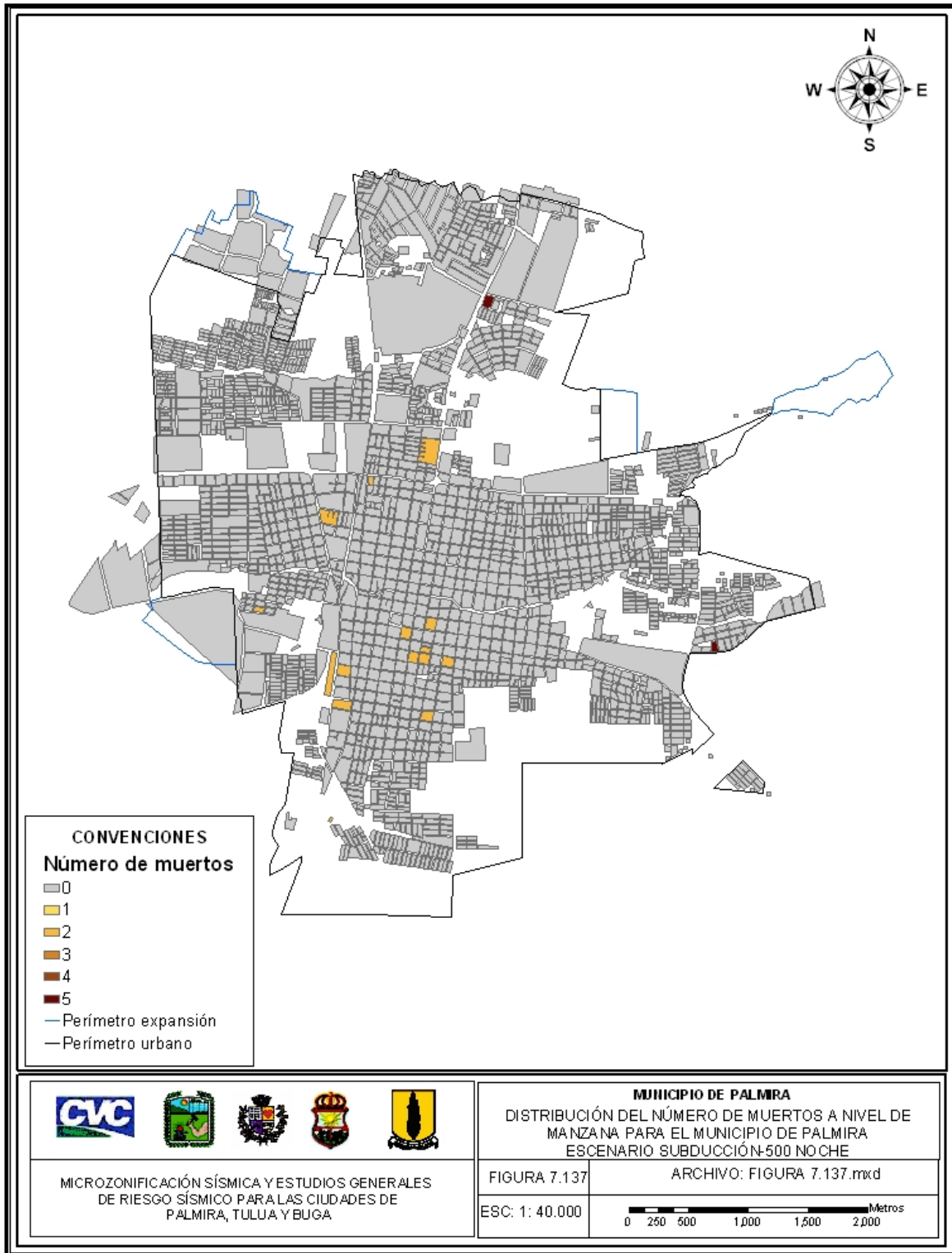


Figura 7.137 Distribución del número de muertos a nivel de manzana para el municipio de Palmira Escenario Subducción-500 - Noche

7.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados encontrados puede establecerse que los tres municipios analizados presentan situaciones de riesgo relativamente equivalentes las cuales pueden resumirse de acuerdo con la Tabla 7.42.

Tabla 7.42 Resumen de resultados para el escenario de riesgo de la fuente cercana con periodo de retorno de 500 años

| Aspecto | | Ciudad | | |
|--------------------------------------|-------|-----------------|---------------|----------|
| | | Palmira | Tuluá | Buga |
| Porcentaje global daño | [%] | 11.4 | 11.8 | 6.9 |
| Pérdidas económicas esperadas | [MDP] | 278,000 | 98,000 | 41,000 |
| Edificaciones con algún tipo de daño | | 1,500 | 1,000 | 110 |
| Edificaciones destruidas | | 20 | 20 | ≈ 0 |
| Personas sin vivienda | | 3,4000 – 4,000 | 1,200 – 1,400 | 0 – 50 |
| Personas sin lugar de trabajo | | 12,000 – 14,000 | 3,000 – 4,600 | 0 – 100 |
| Número de heridos | Día | 900 – 1,000 | 800 – 1,000 | 50 – 100 |
| | Noche | 500 - 600 | 400 – 450 | 0 – 50 |
| Número de muertos | Día | 200 – 250 | 400 – 500 | 0 – 20 |
| | Noche | 100 – 150 | 150 – 200 | 0 – 20 |

Por otro lado la Figura 7.192 presenta la correspondencia entre algunos resultados del modelo y resultados de sismos reales (Figura tomada de la referencia Coburn & Spence, 2002).

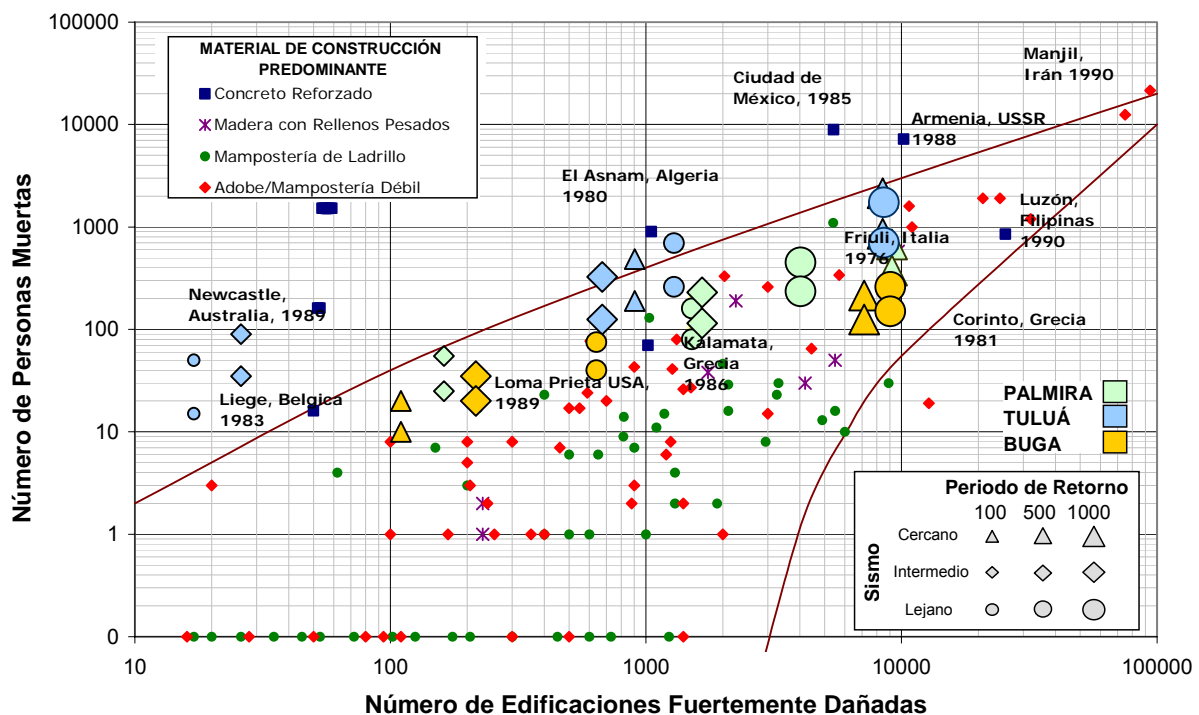


Figura 7.192 Relación entre el número de muertos y el número de edificaciones severamente dañadas

7.10 BIBLIOGRAFÍA

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, 2001. “Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería”. LA RED, FOREC.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, 2004. Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, 2004. Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada.

Alcaldía de Manizales, 2004. “Sistema de Información Sísmica de Manizales – SISMan”, ITEC Ltda.

Andersen, T. J, “Managing economic exposures of natural disasters: Analyzing applications of risk financing techniques”, Inter-American Development Bank, Sustainable Development Department. Washington, DC.

Andersen, T. J, “Innovative Financial Instruments for Natural Disaster Risk Management”, Technical service series, Sustainable Development Department. Washington, DC.

Arámbula, S., Ordaz, M., Yamin, L.E., Cardona, O.D., 2001. “Evaluación de Pérdidas por Sismo en Colombia: Aplicación a la Industria Aseguradora”, VII Seminario Internacional y Primer Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Bogotá D.C.

Banco Mundial, DNP, 2002. “Retención y Transferencia del Riesgo Sísmico en Colombia – Evaluación Preliminar de una Posible Estrategia Financiera y del Mercado Potencial”, Centro de Estudios Sobre Desastres y Riesgos, CEDERI, Universidad de Los Andes. Bogotá DC.

Cardona O.D., Yamín L.E., 1997. “Seismic Microzonation and Estimation of Earthquake Loss Scenarios: Integrated Risk Mitigation”. Project of Bogotá, Colombia. EERI.

Cardona, O.D., Yamin, L.E., Arámbula, S., Molina, L.F., 2002. “Retención y Transferencia de Riesgo Sísmico en Colombia”, Primer Simposio Colombiano de Sismología, Bogotá D.C.

Coburn A. and Spence R.J.S, 2002. “Earthquake Protection (2nd edition)”, Wiley, ISBN 0-471-49614

Durkin, M. and Ohashi, H. 1988. "Casualties, Survival and Entrapment in Heavily Damaged Buildings." Pp. 2-8 (vol. 3) in Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokoyo-Kyoto, Japan.

GAO, 2002. “Catastrophe Insurance Risk - The role of risk-linked securities and factors affecting their use”, Report to the Chairman, Committee on Financial Services, House of Representatives.

Henghian L., Kohiyama M., Horie K, Maki N., Hayashi H and Tanaka S., 2003. “Building Damage and Casualties after an Earthquake”, Natural Hazards.

República de Colombia, 1998. Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes – NSR-98, Ley 400 de 1997. Decreto 33 de 1998.

Miranda, E., 1999. "Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings", Journal of Structural Engineering.

Miranda, E., 2000. "Inelastic Displacement Ratios for Structures on Firm Sites", Journal of Structural Engineering.

Miranda, E., 2001. "Estimation of Inelastic Deformation Demands of SDOF Systems", Journal of Structural Engineering.

Ordaz, M., 2002. "Metodología para la Evaluación del Riesgo Sísmico Enfocada a la Gerencia de Seguros por Terremoto", Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

Pomonis, A., Sakai, Coburn, A.W., Spence, R.J.S., 1991. "Assessing human casualties caused by building collapse in earthquakes", International Conference on the Impact of Natural Disasters, UCLA.

Spence, R.J.S. "Managing economic exposures of natural disasters: Analyzing applications of risk financing techniques", Inter-American Development Bank, Sustainable Development Department. Washington, DC.

Spence R. J. S., Pomonis A., Dowrick D. J. and Cousins W. J., 2004. "Estimating human casualties in earthquakes: the case of Wellington".

Universidad de los Andes, Ladrillera Santafé, Sika Andina de Colombia, 2004. Nuevos sistemas para el diseño y construcción de muros divisorios.

Yamín L. E., García L. E., Galeano J., Reyes G., 1993. "Estudio del Comportamiento Sísmico de Muros de Mampostería Confinada y Recomendaciones para el Diseño", VI Seminario Internacional sobre Ingeniería Sísmica, Universidad de los Andes.

Yamin, L.E., Cardona, O. D., Gallego, M., Phillips, C., Arámbula, S., 2004. "Recent Advances in Seismic Microzonation Studies in Colombia: The Manizales City Case", 13th World Conference on Earthquake Engineering – Paper No 2840, Vancouver, Canadá.

Yamin, L.E., Phillips, C., Reyes, J.C., Ruiz, D.M., 2004. "Seismic Behavior and Rehabilitation Alternatives for Adobe and Rammed Earth Buildings", 13th World Conference on Earthquake Engineering – Paper No 2942, Vancouver, Canadá.

ANEXO 7.1 DATOS DE ENTRADA SISTEMA DE CÁLCULO DE RIESGO SÍSMICO

Generalidades

Los campos se agrupan por las características de los datos que contienen:

- Datos de referencia
- Datos técnicos de la póliza
- Datos de localización
- Datos de la estructura
- Datos opcionales de referencia

Estos campos corresponden a una ubicación ya sea que pertenezca a una póliza individual o a una agrupada (un renglón por ubicación).

Datos de referencia

Número de póliza (NUM_POLIZA)

Se refiere al número de póliza que utilice el usuario para identificar sus pólizas en vigor que integrarán la base de datos para la valuación de las pérdidas. Este dato sólo es de referencia.

Número de registro (NUM_REGISTRO)

Este número tiene por objeto ordenar y llevar un control dentro del sistema sobre los inmuebles cuyo riesgo sísmico será evaluado. No podrá haber dos ubicaciones con el mismo número.

En el caso de inmuebles independientes, NUM_REGISTRO será un número consecutivo que se asigne a cada uno de los registros (renglones) de la base de datos.

Para el caso de inmuebles agrupados, dado que la cartera deberá estar organizada por capas o bloques, se puede numerar la cartera de dos formas, una es numerar consecutivamente todos los inmuebles de la cartera y la otra es numerar cada capa o bloque independientemente. Se recomienda la primera opción ya que así cada registro tiene un número único y así no existe confusión al observar el archivo de resultados. En el primer renglón de cada bloque NUM_REGISTRO será el número total de registros que contiene dicho bloque.

Datos técnicos de la póliza

En este grupo de datos se establecen las definiciones y características de los campos de la póliza a la que pertenece la ubicación o inmueble.

Fecha de inicio (FECHA_INICIO)

Será la fecha de inicio de vigencia de la póliza. Al capturarse el año deberá tener 4 dígitos, un ejemplo es el siguiente: si la fecha de inicio de la póliza es el 24 de septiembre de 1999 deberá ingresarse 24/09/1999 en la celda correspondiente. El Sistema considera el día de inicio de la vigencia de 24 horas. Si la fecha de corte coincide con la fecha de inicio de una póliza, el Sistema considera como vigente dicha póliza. Si la ubicación pertenece a una póliza agrupada, este campo podría estar vacío pues el sistema tomará el dato del encabezado de la póliza.

Fecha de terminación (FECHA_FIN)

Será la fecha de fin de vigencia de la póliza. Al capturarse el año deberá tener 4 dígitos, un ejemplo es el siguiente: si la fecha de finalización de la póliza es el 27 de mayo de 2000 deberá ingresarse 27/05/2000 en la celda correspondiente. El Sistema considera el último día de vigencia de la póliza de 0 horas. Si la fecha de corte coincide con la fecha de finalización de una póliza, el Sistema considera como fuera de vigencia dicha póliza. Si la ubicación pertenece a una póliza agrupada, este campo podría estar vacío pues el sistema tomará el dato del encabezado de la póliza.

Valor asegurable del inmueble (INM_VALOR_ASEGURABLE)

Para el caso de planes que no sean a primer riesgo, INM_VALOR_ASEGURABLE será la suma asegurada establecida en la póliza. En el caso de seguros a primer riesgo, se deberá registrar el valor del inmueble.

Valor asegurable de los contenidos (CONT_VALOR_ASEGURABLE)

Mismo caso que el anterior para los contenidos del inmueble.

Valor asegurable de las pérdidas consecuenciales (CONSEC_VALOR_ASEGURABLE)

Mismo caso que el anterior para las pérdidas consecuenciales del inmueble.

Porcentaje de retención del valor asegurable del inmueble (INM_PORCENTAJE_RETENCION)

Es el porcentaje retenido en la cobertura de daños del valor asegurable del inmueble. Si la ubicación pertenece a una póliza agrupada, este campo podría estar vacío pues el sistema tomará el dato del encabezado de la póliza.

Porcentaje de retención del valor asegurable de los contenidos (CONT_PORCENTAJE_RETENCION)

Es el porcentaje retenido en la cobertura de daños del valor asegurable de los contenidos. Si la ubicación pertenece a una póliza agrupada, este campo podría estar vacío pues el sistema tomará el dato del encabezado de la póliza.

Porcentaje de retención del valor asegurable de las pérdidas consecuenciales (CONSEC_PORCENTAJE_RETENCION)

Es el porcentaje retenido en la cobertura de daños del valor asegurable de pérdidas consecuenciales. Si la ubicación pertenece a una póliza agrupada, este campo podría estar vacío pues el sistema tomará el dato del encabezado de la póliza.

Límite de responsabilidad hacia los daños del inmueble

(INM_LIMITE_MÁXIMO)

Es el límite de responsabilidad de la aseguradora para la cobertura de daños al inmueble. Puesto que se trata de la pérdida máxima posible para la institución o sociedad mutualista de seguros, esta cantidad debe ser menor o igual a la suma asegurable. Si la ubicación pertenece a una póliza agrupada, este campo podría estar vacío pues el sistema tomará el dato del encabezado de la póliza.

Límite de responsabilidad hacia los daños de los contenidos

(CONT_LIMITE_MÁXIMO)

Mismo caso que el anterior para los contenidos del inmueble.

Límite de responsabilidad hacia las pérdidas consecuenciales

(CONSEC_LIMITE_MÁXIMO)

Mismo caso que el anterior para las pérdidas consecuenciales del inmueble.

Deducible aplicable al inmueble (INM_DEDUCIBLE)

Se refiere al deducible aplicable al inmueble asegurado expresado en términos porcentuales de la suma asegurada. En caso de contratos que prevean deducibles expresados en otras modalidades, la aseguradora deberá reexpresarlo mediante criterios técnicos en términos porcentuales de la suma asegurable. Si la ubicación pertenece a una póliza agrupada, los campos de deducibles y coaseguros globales podrían estar vacíos, ya que el sistema tomará el dato del encabezado de la póliza.

Deducible aplicable a los contenidos (CONT_DEDUCIBLE)

Mismo caso que el anterior para los contenidos del inmueble.

Deducible aplicable a las pérdidas consecuenciales

(CONSEC_DEDUCIBLE)

Mismo caso que el anterior para las pérdidas consecuenciales del inmueble.

Coaseguro aplicable al inmueble (INM_COASEGURO)

Se deberá registrar el coaseguro previsto en el contrato expresado en términos porcentuales de participación del asegurado en el riesgo. Si la ubicación pertenece a una póliza agrupada, los campos de deducibles y coaseguros globales podrían estar vacíos, ya que el sistema tomará el dato del encabezado de la póliza.

Coaseguro aplicable a los contenidos (CONT_COASEGURO)

Mismo caso que el anterior para los contenidos del inmueble.

Coaseguro aplicable a las pérdidas consecuenciales

(CONSEC_COASEGURO)

Mismo caso que el anterior para las pérdidas consecuenciales del inmueble.

A continuación se muestran tres ejemplos en los que se pretende representar la manera en que el Sistema considera la pérdida de la compañía (cuadro rojo) en función de las variables de la póliza como son: la suma asegurable, el porcentaje de retención, el límite máximo de responsabilidad, el deducible y el coaseguro.

Ejemplo 1:

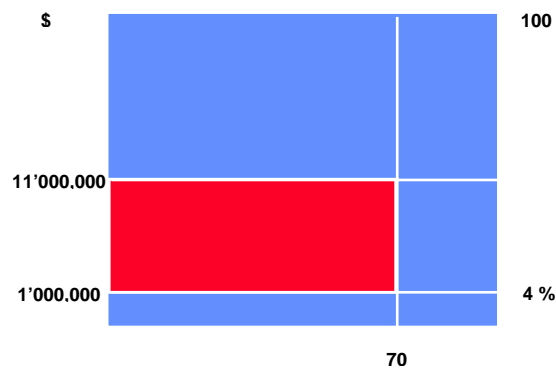
INM_VALOR_ASEGURABLE 25'000,000
 INM_PORCENTAJE_RETENCION 100 %
 INM_LIMITE_MAXIMO 25'000,000
 INM_DEDUCIBLE 4 %
 INM_COASEGURO 30 %

PÉRDIDA Total 11'000,000

Pérdida para la aseguradora

$$Pa = (11'000,000 - 1'000,000) \times 0.7$$

$$Pa = 7'000,000$$



Ejemplo 2:

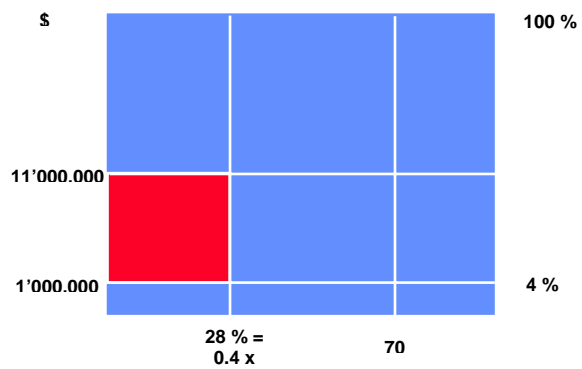
INM_VALOR_ASEGURABLE 25'000,000
 INM_PORCENTAJE_RETENCION 40 %
 INM_LIMITE_MAXIMO 25'000,000
 INM_DEDUCIBLE 4 %
 INM_COASEGURO 30 %

PÉRDIDA Total 11'000,000

Pérdida para la aseguradora

$$Pa = (11'000,000 - 1'000,000) \times 0.7 \times 0.4$$

$$Pa = 2'800,000$$



Ejemplo 3:

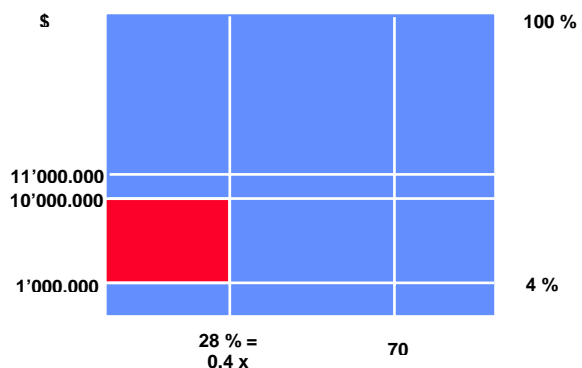
INM_VALOR_ASEGURABLE 25'000,000
 INM_PORCENTAJE_RETENCION 40 %
 INM_LIMITE_MAXIMO 10'000,000
 INM_DEDUCIBLE 4 %
 INM_COASEGURO 30 %

PÉRDIDA Total 11'000,000

Pérdida para la aseguradora

$$Pa = (10'000,000 - 1'000,000) \times 0.7 \times 0.4$$

$$Pa = 2'520,000$$



Datos de localización

El siguiente grupo de datos permitirá que el Sistema determine la ubicación de cada edificio o nave industrial. Se debe tener especial atención para que la localización que se indica en la base de datos sea precisamente la del inmueble asegurado y no la oficina matriz de la empresa o la dirección a donde se envía la póliza. Con dicha localización se calculará el peligro sísmico, incluyendo las características del suelo donde la estructura está desplantada.

El Sistema considera cuatro posibles formas para localizar la estructura. Estas son, en orden de precisión:

1. Coordenadas geográficas: Latitud y Longitud
2. Microzona sísmica (en ciudades disponibles)
3. Municipio
4. Departamento

El Sistema define las características del tipo de suelo para las ciudades de Armenia, Bogotá, Los municipios estudiados, Medellín, Pereira y Popayán que cuentan con estudios de microzonificación sísmica. Dicha definición se realiza en función de la ubicación proporcionada por cualquiera de las formas anteriores. Sin embargo, para otros sitios de la República de Colombia será necesario indicar el tipo de suelo. Con esta información las características del movimiento sísmico en el sitio donde se ubica la estructura quedarán completamente establecidas.

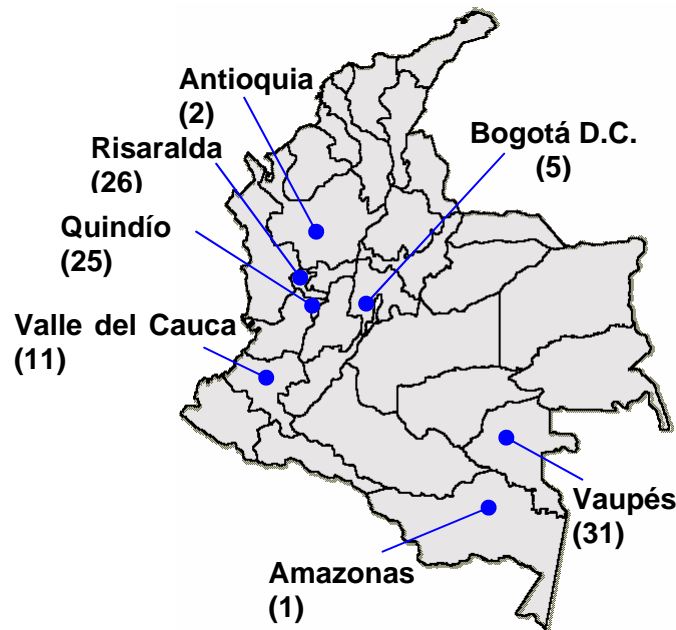
Clave del departamento (CLAVE_DEPARTAMENTO)

Se refiere al número asignado a cada departamento de la República de Colombia. Cada uno de estos tiene un valor numérico que va desde 1 hasta 32, conforme al catálogo 1 indicado a continuación.

CATÁLOGO 1, CLAVE Y NOMBRE DE LOS DEPARTAMENTOS

| | | | | | |
|----|-------------|----|--------------|----|-----------------|
| 1 | Amazonas | 12 | Cesar | 23 | Norte Santander |
| 2 | Antioquia | 13 | Córdoba | 24 | Putumayo |
| 3 | Arauca | 14 | Cundinamarca | 25 | Quindío |
| 4 | Atlántico | 15 | Chocó | 26 | Risaralda |
| 5 | Bogotá D.C. | 16 | Guainía | 27 | Santander |
| 6 | Bolívar | 17 | Guaviare | 28 | Sucre |
| 7 | Boyacá | 18 | Huila | 29 | Tolima |
| 8 | Caldas | 19 | La Guajira | 30 | Valle |
| 9 | Caquetá | 20 | Magdalena | 31 | Vaupés |
| 10 | Casanare | 21 | Meta | 32 | Vichada |
| 11 | Cauca | 22 | Nariño | | |

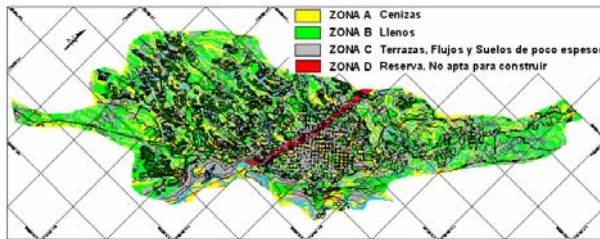
Nota: sólo se incluye la parte continental del país



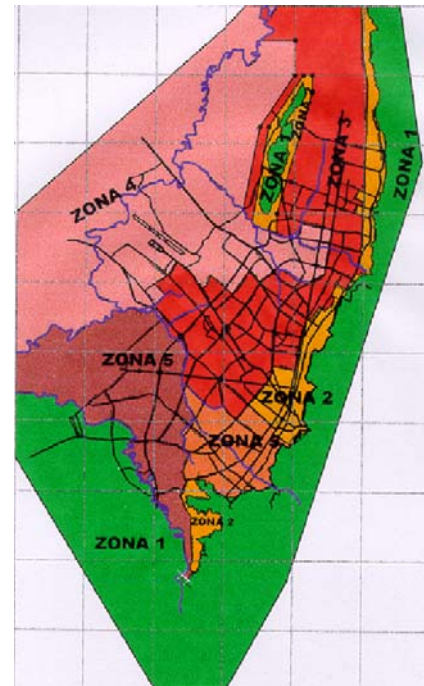
Microzona sísmica (ZONA_MICRO)

Corresponde a la zona o microzona donde se ubica la edificación dentro del mapa de microzonificación sísmica de la ciudad o municipio cuando exista dicha información. En la actualidad el sistema incluye información para las ciudades de Armenia, Bogotá, Los municipios estudiados, Medellín, Pereira y Popayán. En las figuras siguientes se incluyen los mapas de microzonificación respectivos para las ciudades indicadas con la nomenclatura correspondiente a las microzonas establecidas. El Sistema verifica que la microzona asignada exista en el municipio y departamento indicados en los campos CLAVE_DEPARTAMENTO y CLAVE_MUNICIPIO.

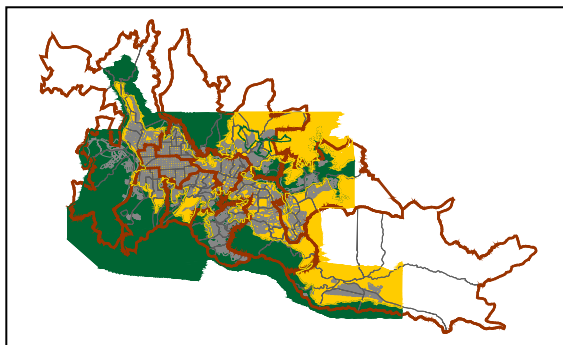
Microzonificación sísmica de Armenia



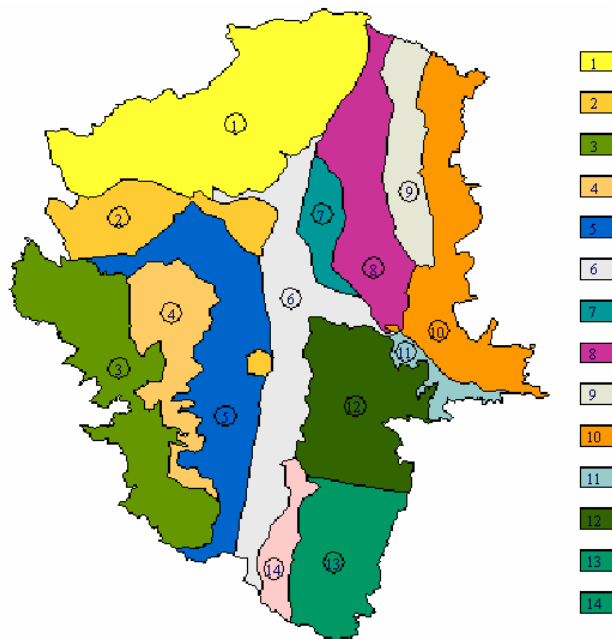
Microzonificación sísmica de Bogotá



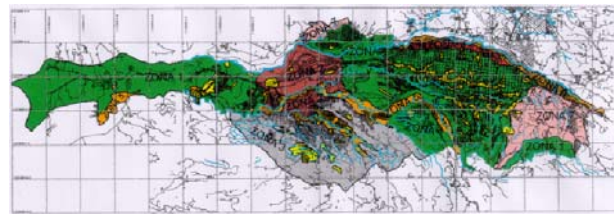
Microzonificación sísmica de Manizales



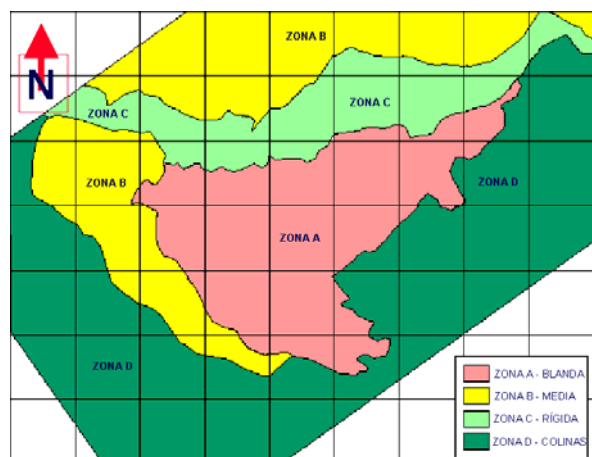
Microzonificación sísmica de Medellín



Microzonificación sísmica de Pereira



Microzonificación sísmica de Popayán



Clave de municipio (CLAVE_MUNICIPIO)

Es el número asignado a cada municipio dentro del estado donde se ubica el inmueble asegurado de acuerdo al catálogo 2.

Cada departamento está dividido políticamente en municipios. El Sistema verifica que el municipio seleccionado pertenezca al departamento especificado y cuando se indica zona sísmica también verifica la existencia de dicha zona en el municipio.



Cruce (CRUCE)

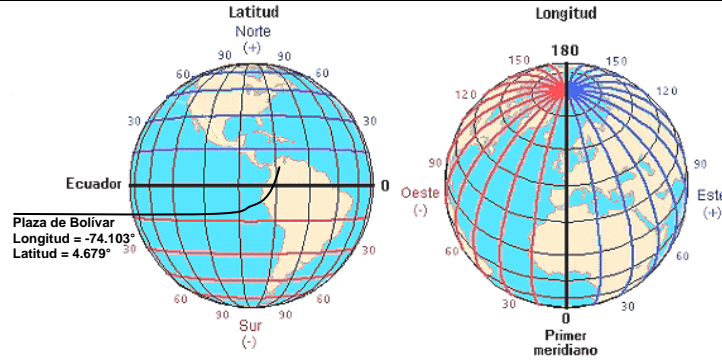
En este campo se indica el número de cruce correspondiente a la base de datos del municipio en el cual se encuentra ubicado el inmueble. Se utiliza el sistema CCD (Cálculo de Coordenadas a partir de Direcciones) para determinar el número de cruce a partir de la dirección del inmueble. Esta opción aún no se incluye en la versión 2.1.

Coordenada geográfica de longitud (LONGITUD)

Se refiere a la ubicación del inmueble asegurado dada en términos de coordenadas geográficas de longitud. Se puede obtener con ayuda de planos muy detallados o con ayuda de dispositivos GPS (Global Positioning System). Para Colombia la coordenada de longitud es negativa por ubicarse al oeste del primer meridiano. Debido a que en Colombia un grado es aproximadamente equivalente a 110 km, deben incluirse por lo menos tres decimales para tener una precisión de ± 110 m.

Coordenada geográfica de latitud (LATITUD)

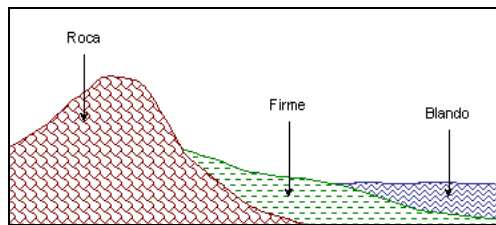
Se refiere a la ubicación del inmueble asegurado dada en términos de coordenadas geográficas de latitud. Se puede obtener con ayuda de planos muy detallados o con ayuda de dispositivos GPS (Global Positioning System). Para Colombia la coordenada de latitud puede ser positiva o negativa por verse atravesada por el Ecuador. Debido a que en Colombia un grado es aproximadamente equivalente a 110 km, deben incluirse por lo menos tres decimales para tener una precisión de ± 110 m.



Si la combinación de coordenadas latitud-longitud se encuentra fuera de Colombia, el Sistema lo indicará y localizará la estructura con alguna de las otras opciones. Lo mismo sucederá si las coordenadas geográficas no se ubican en el departamento indicado.

Tipo de suelo (EDI_SUELO)

Se deberá especificar el tipo de suelo donde se ubica el edificio de acuerdo al catálogo 4. No es necesario incluir este dato para las ciudades microzonificadas, en donde el tipo de suelo está dado por la ubicación del inmueble.



CATÁLOGO 4, TIPO DE SUELO

- 1 Roca
- 2 Firme
- 3 Blando
- 4 Desconocido

Para fines de este Sistema, los tipos de suelo contenidos en el catálogo 4 quedan definidos de la siguiente manera:

Roca

Basalto o material uniforme de gran resistencia que aflora del subsuelo de sitios montañosos. En este tipo de suelo solo se pueden hacer excavaciones con martillos neumáticos y explosivos.

Suelo firme

Sitios de suelo seco y compacto y con materiales de mediana resistencia en los cuales se dificulta su excavación con herramientas (pico y pala), por lo que muchas veces se requiere de equipos especiales como martillos neumáticos y retroexcavadoras. En estos sitios las cimentaciones generalmente son superficiales como zapatas y losa de cimentación.

Suelo blando

Sitios en zonas planas, con suelo húmedo y con materiales de muy poca resistencia en los cuales se puede excavar muy fácilmente con herramientas (pico y pala). En estos sitios las cimentaciones son profundas con pilas y pilotes de cimentación. Estos suelos están formados por arcillas, limos y arena suelta.

Datos de la estructura

El siguiente grupo de datos permitirá al Sistema determinar la vulnerabilidad de la estructura asegurada. El Sistema calcula el riesgo para dos tipos de edificaciones: industriales y no industriales, pero cada una de estas pudo haber sido construida con distintos tipos estructurales y tener características particulares que arrojarán un riesgo también distinto.

Existen dos grupos de datos que ayudarán a definir esta vulnerabilidad.

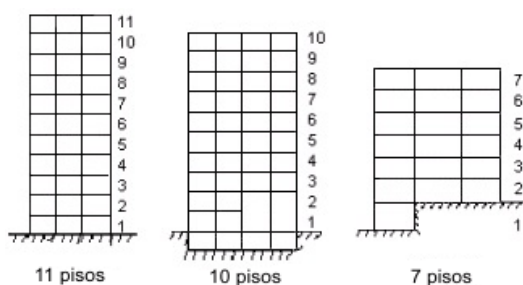
1. Datos técnicos para conocer el tipo estructural
2. Datos de otras características estructurales

El primer grupo aporta información para conocer el sistema estructural. Algunos ejemplos de estos sistemas son estructuras formadas por marcos de concreto, marcos de acero, losa plana, muros de concreto y muros de mampostería, entre otros. El segundo grupo de datos brinda información adicional sobre algunas características particulares que definen con mucho mayor precisión el riesgo sísmico de la estructura asegurada. Algunos ejemplos de estas características son inmuebles que presentan irregularidad en planta y en elevación, si se encuentra en esquina, si presentan hundimientos diferenciales y si presenta sobrepeso, entre otros.

Datos técnicos para conocer el tipo estructural

Número de pisos (NUM_PISOS)

Corresponde al número de pisos que tiene el edificio que se quiere evaluar. El número de pisos se debe contar a partir de la planta baja, sin incluir sótanos. En caso de que el edificio se ubique en zona de lomas y por la pendiente del terreno esté escalonado, el número de pisos debe de contarse a partir del piso más bajo. Cuando existan mezanines se deben contar estos como pisos.



Tipo de inmueble (ES_INDUSTRIAL)

Se deberá especificar si el edificio es de uso industrial, de acuerdo al siguiente criterio:

- (1) inmueble tipo industrial,
- (2) inmueble no industrial

El objetivo de esta clasificación es distinguir aquellas edificaciones industriales cuyo sistema estructural, y por lo tanto su respuesta ante sismos, difiere de otras edificaciones residenciales o comerciales.



Residencial



Comercial

Algunas edificaciones típicas que podrían clasificarse como industriales son: fábricas, talleres, almacenes, bodegas y plantas de ensamble, entre otras. Algunas edificaciones de uso comercial pueden tener una estructura que pertenece a la clasificación de edificio industrial. Tal es el caso, por ejemplo, de tiendas de autoservicio cuyos locales están formados por estructuras de grandes claros de un solo nivel.



Edificaciones industriales

Uso del inmueble (EDI_USO)

Se debe seleccionar el uso principal del edificio de acuerdo al catálogo 5. Si en el catálogo 5 no se encuentra la opción exacta, se deberá seleccionar la que más se aproxime al uso de la estructura. La importancia de indicar el uso es porque el diseño de las estructuras está en función del mismo, por lo que el Sistema toma en cuenta las diversas consideraciones que se hicieron al diseñarse la estructura según su uso.

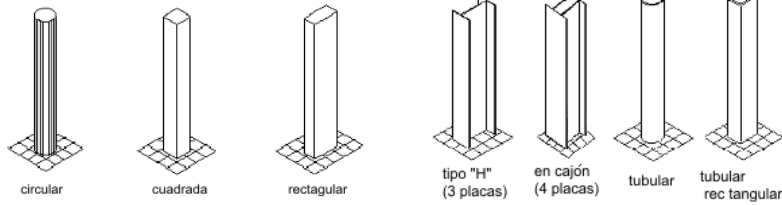
CATÁLOGO 5, USO DE ESTRUCTURA

| | | | | | |
|----|------------------------------------|----|-----------------|----|-------------------------|
| 1 | Almacén | 11 | Escuela | 21 | Museo |
| 2 | Banco | 12 | Estacionamiento | 22 | Oficina Gubernamental |
| 3 | Biblioteca | 13 | Fábrica | 23 | Oficina Privada |
| 4 | Central de Comunicaciones | 14 | Funeraria | 24 | Restaurante |
| 5 | Central Eléctrica | 15 | Hangar | 25 | Servicios de Emergencia |
| 6 | Centro Comercial | 16 | Hospital | 26 | Terminal de Transporte |
| 7 | Comercio | 17 | Hotel | 27 | Tienda de Departamentos |
| 8 | Depósito de Sustancias Explosivas | 18 | Industria | 28 | Vivienda |
| 9 | Depósito de Sustancias Inflamables | 19 | Laboratorio | 29 | Otro |
| 10 | Depósito de Sustancias Tóxicas | 20 | Librería | | |

Tipo de columnas (EST_COLUMNAS)

Se deberá especificar el material con que se construyeron las columnas de acuerdo al siguiente criterio:

- (1) columnas de concreto
- (2) columnas de acero
- (3) sin columnas



Columnas de concreto

Columnas de acero

Las columnas de concreto reforzado tienen sección rectangular, cuadrada o circular. La dimensión de su sección transversal es como mínimo de 20 cm y llega a tener hasta poco más de 1.0 m por lado.

Las columnas de acero estructural pueden tener sección rectangular, cuadrada, circular o sección I o H. Normalmente están formadas por placas soldadas, aunque puede haber casos en que sean de perfiles comerciales.



Columnas de concreto reforzado

Columna de acero

En algunas ocasiones no será fácil distinguir el material de las columnas debido a los acabados que pueden rodear a las mismas o a la posible protección contra fuego que tienen las columnas de acero estructural. Es conveniente, en la medida de lo posible, levantar los plafones para observar la estructura principal y determinar los materiales con las que estén construidas.

La siguiente tabla muestra la comparación del riesgo de un inmueble no industrial de siete pisos ubicado en Bogotá en la microzona 1 cuando éste tiene columnas de concreto y cuando no tiene columnas. Los porcentajes de retención, deducible y coaseguro son de 70, 2 y 10, respectivamente, y los demás datos opcionales no son empleados.

| Tipo de columna | Suma asegurada | Prima pura total | Prima al millar | Prima a Retención | PML | PML (%) |
|-----------------|----------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------|---------|
| Concreto | \$455,000,000 | \$290,361 | 0.45 | \$203,252 | \$43,243,200 | 9.5 |
| Sin columnas | \$455,000,000 | \$279,972 | 0.43 | \$195,980 | \$58,890,461 | 12.9 |

Las diferencias en las pérdidas se deben a que el Sistema considera el tipo estructural más utilizado, es decir, en el caso en que se tienen columnas de concreto el Sistema considera marcos de concreto reforzado y en el caso en que no se tienen columnas el sistema considera que existirán muros de carga de mampostería. Debido a las condiciones de número de pisos y de zona sísmica, para este caso las pérdidas de la estructura con columnas de concreto son menores que cuando no se tienen columnas.

Tipo de columnetas (EST_COLUMNETAS)

En el caso de que la estructura cuente con muros estructurales de mampostería (ladrillo) se debe revisar el tipo de mampostería para determinar de buena forma el sistema estructural del inmueble asegurado.

Se deberá especificar si la estructura:

- (1) Tiene columnetas de confinamiento
- (2) No tiene columnetas de confinamiento

En algunos casos puede resultar bastante difícil determinar si existen muros estructurales de mampostería.



Mampostería confinada (con columnetas)



Mampostería confinada (con columnetas)

Para saber si hay muros de mampostería estructural, se debe localizar sitios en los que no se colocó pañete o acabados, tales como las zonas de los núcleos de ascensores, escaleras y fachadas de colindancia. Se recomienda revisar los planos estructurales. En general, los edificios de baja altura (hasta cinco pisos aproximadamente) tendrán muros de mampostería. Asimismo, los muros variarán entre 12 y 20 cm. En caso de duda se deberá dejar la casilla en blanco.

Tipo de vigas (EST_VIGAS)

Se deberá especificar la forma en que se construyeron las vigas, de acuerdo al siguiente criterio:

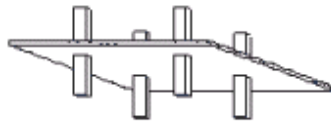
- (1) vigas fundidas en sitio
- (2) vigas prefabricadas
- (3) no tiene vigas



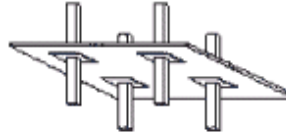
Vigas prefabricadas



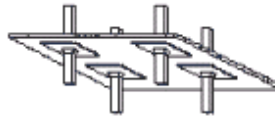
Vigas fundidas en sitio



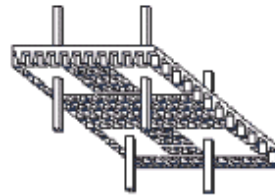
Losas planas sin capiteles



Losas planas con capiteles



Losas planas con ábacos y capiteles

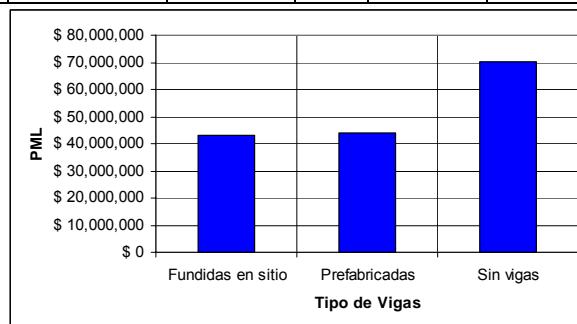


Losas reticular

Estructuras sin vigas, de losa plana o reticular

La siguiente tabla muestra la comparación del riesgo en las tres opciones de vigas. Los datos son los mismo que en el ejemplo anterior a excepción de los datos opcionales en los cuales sólo se llenó el campo de tipo de vigas.

| Tipo de viga | Suma asegurada | Prima pura total | Prima a millar | Prima a Retención | PML | PML (%) |
|-------------------|------------------|------------------|----------------|-------------------|--------------|---------|
| Fundidas En sitio | \$455,000,000.00 | \$290,361 | 0.45 | \$203,252 | \$43,243,200 | 9.5 |
| Prefabricadas | \$455,000,000.00 | \$218,673 | 0.34 | \$153,071 | \$43,990,057 | 9.7 |
| Sin vigas | \$455,000,000.00 | \$614,365 | 0.94 | \$430,034 | \$70,123,907 | 15.4 |



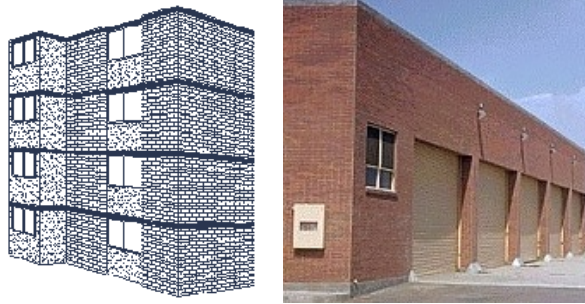
Muros de carga (EST_MUROS)

Se deberá especificar si el edificio:

- (1) sí tiene muros de concreto
- (2) no tiene muros de concreto

Los muros de carga de una estructura pueden ser de mampostería (ladrillo o bloque) o de concreto. Estos muros proporcionan gran rigidez lateral, ayudando a un adecuado comportamiento estructural ante la acción de un sismo.

Para saber si los muros de carga son de concreto o de mampostería se debe localizar sitios en los que no se colocó el pañete y el acabado tales como núcleos de ascensores, escaleras y fachadas de colindancia. Se recomienda revisar los planos estructurales. En general, los edificios modernos y altos que tienen muros están hechos de concreto. Los edificios de baja altura (hasta cinco pisos aproximadamente) tendrán en general muros de mampostería. Asimismo, los muros de concreto tendrán espesores que podrán variar entre 15 y 25 cm, mientras que los muros de mampostería variarán entre 12 y 20 cm. En caso de duda se deberá seleccionar la opción 2 la cual indica que no tiene muros de concreto.



Estructuras de mampostería con muros de carga

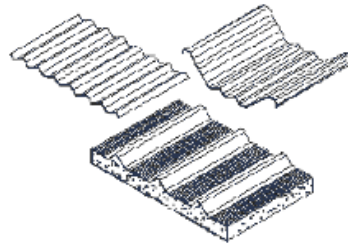
La siguiente tabla muestra la comparación del riesgo del ejemplo mostrado en Tipo de columnas, pero haciendo una comparación con Muros de concreto y sin muros.

| Tipo de muro | Suma asegurada | Prima pura total | Prima al millar | Prima a Retención | PML | PML (%) |
|----------------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------|---------|
| Muro de concreto | \$455,000,000.00 | \$4,206,382 | 9.24 | \$31,548 | \$2,157,297 | 0.47 |
| No tiene muros de concreto | \$455,000,000.00 | \$5,984,799 | 13.15 | \$44,886 | \$2,612,608 | 0.57 |

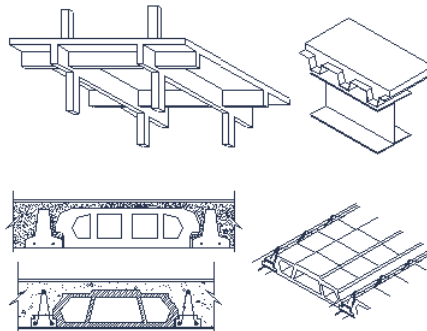
Tipo de cubierta (EST_CUBIERTA)

Se deberá especificar el tipo de estructura que tiene la cubierta, de acuerdo al siguiente criterio:

- (1) cubierta ligera
- (2) cubierta pesada



Cubierta ligera



Cubierta pesada

La cubierta se considera ligera si está construida por alguno de los siguientes elementos: lámina metálica, lámina translúcida, lámina de asbesto, sistemas prefabricados de láminas y aislantes térmicos y láminas engargoladas, entre otros. La cubierta se considera pesada si está construida a base de alguno de los siguientes elementos: losas de concreto, elementos prefabricados de concreto y láminas tipo steel deck con capa de compresión de concreto, entre otros.

Longitud de las luces (EST_LUCES)

Se deberá especificar la longitud de las luces de acuerdo al siguiente criterio:

- (1) cortas
- (2) medianas
- (3) largas

Esta longitud será la distancia que existe entre elementos de apoyo vertical, tales como columnas y muros de carga. En la gran mayoría de los edificios se distinguen dos direcciones principales en la planta de los mismos, y la longitud de las luces generalmente es diferente en esas dos direcciones. Además, es posible que aún para la misma dirección existan diferentes longitudes. Para cada dirección, se debe escoger la longitud que sea dominante (la que más veces se repita) y la mayor de las dos longitudes dominantes será la longitud que se utilizará para llenar este campo.



Luces cortas



Luces medianas

Una recomendación general para edificaciones industriales es tomar luces cortas como menores de 7 m, luces largas las mayores a 12 m y medianas las que se encuentran entre las dos anteriores.

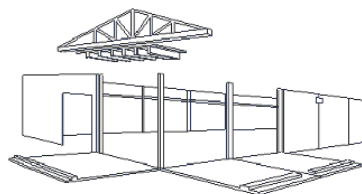
Muros prefabricados (EST_MUROS_PRE)

Se deberá especificar si los muros son prefabricados de acuerdo al siguiente criterio:

- (1) estructura con muros prefabricados
- (2) sin muros prefabricados

Las estructuras con muros prefabricados son cada vez más comunes en Colombia. Consisten en elementos perimetrales que se ligan entre sí mediante columnas de concreto reforzado fundidas en el sitio o mediante columnas de acero estructural. Han sido utilizadas en edificaciones del tipo industrial y en edificaciones comerciales de pocos pisos.

La capacidad de estos muros para resistir cargas laterales por sismo no es tan eficiente como los muros de concreto fundidos en sitio, por lo que será importante no confundir las estructuras con muros prefabricados de este tipo con aquellas que tengan muros de concreto.



Estructura con muros prefabricados

Arriostramiento (EST_ARRIOSTRAMIENTO)

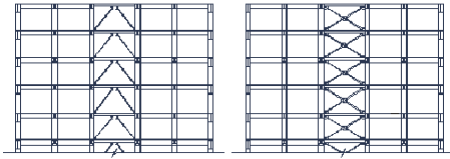
Se deberá definir si la estructura tiene arriostramiento de acuerdo al siguiente criterio:

- (1) estructura arriostrada
- (2) estructura no arriostrada

Se refiere a la existencia de riostras o diagonales de acero en estructuras de concreto o de acero. Estos elementos proporcionan gran rigidez y resistencia a la estructura, por lo que es importante identificar su posible existencia.

Por consideraciones de orden arquitectónico, es poco probable que estas riostras o diagonales estén aparentes en la estructura, aunque en algunas edificaciones sí son visibles en fachadas o en el interior del edificio. Se pueden localizar en sitios tales como núcleos de ascensores o de

escaleras, fachadas, divisiones de espacios y colindancias, entre otros. Otra opción para conocer si el inmueble tiene este tipo de elementos es consultar los planos estructurales.



*Edificación con
contraventeo*



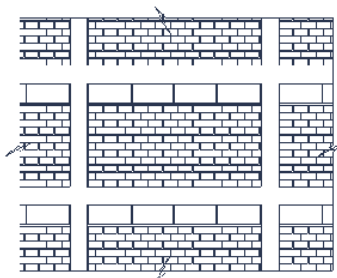
Datos de otras características estructurales

Columna corta (OTR_COLUMNS_CORTAS)

Se deberá definir si la estructura:

- (1) tiene columnas cortas
- (2) no tiene columnas cortas

Se le llama columna corta a aquella cuya altura se reduce por la presencia de elementos arquitectónicos adosados a ella. Estos elementos arquitectónicos generalmente son antepechos, bordillos, muros baranda, faldones o muros de media altura que están ligados a la columna y pueden ser de mampostería (ladrillo o bloque) o de concreto. Generalmente las columnas cortas, si existen, se pueden identificar en las fachadas, aunque pudieran existir en el interior del edificio. Se presentan muy comúnmente en salones de aulas de colegios, universidades y edificaciones institucionales.



Columnas cortas



Para que una columna se clasifique como columna corta deberá haber una relación entre la altura del muro adosado y la altura del entrepiso mayor o igual que 0.25, es decir, la altura del muro adosado deberá ser de al menos una cuarta parte de la altura de la columna. Además, el muro adosado y la columna deberán estar en íntimo contacto.

La existencia de columnas cortas en una estructura aumenta su vulnerabilidad considerablemente, por lo que será de vital importancia que se identifique su posible existencia, lo que puede resultar relativamente sencillo.

Sobrepeso (OTR_SOBREPESO)

Se deberá definir si el edificio:

- (1) tiene sobrepeso
- (2) no tiene sobrepeso

Las estructuras son diseñadas para un nivel de carga de acuerdo al uso que se le dará al inmueble. Sin embargo, algunos cambios en el uso durante su vida útil pueden implicar un cambio importante en la carga que se le impone a la estructura. Ejemplo de esto es el caso de un edificio que fue diseñado en los años 60 para oficinas y hoy se ocupa como bodega de almacenamiento de telas.

Otra situación que implicaría sobrepeso, en aquellas oficinas en las que existen archivos de papeles y documentos abundantes en gran parte del área del edificio y en los niveles superiores del mismo.

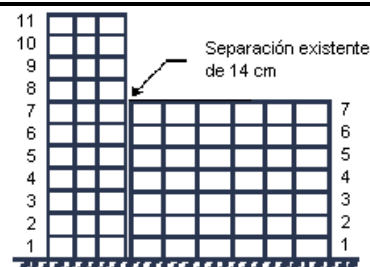
Se deberá indicar que el inmueble tiene sobrepeso sólo cuando éste se encuentre en un área mayoritaria de su superficie.



Edificaciones con sobre peso

Posibilidad de golpeteo (OTR_GOLPETEO)

Se definirá si el edificio tiene posibilidades de golpeteo durante un sismo, de acuerdo al catálogo 6. El golpeteo entre edificios puede causar daños importantes a uno o ambos de los edificios que intervienen en el mismo. Para que estos no se golpeen entre sí durante un sismo intenso, la separación libre entre dos edificios debe ser aproximadamente 3 cm por cada piso en el edificio de menor altura. Si la separación libre entre ambos edificios es menor, se debe indicar al Sistema que sí existe la posibilidad de golpeteo del edificio con algún edificio vecino.



CATÁLOGO 6, POSIBILIDAD DE GOLPETEO

- 1 Con edificios de menor altura
- 2 Con edificios de igual o de mayor altura
- 3 Con edificios de menor y mayor altura
- 4 No hay posibilidad de golpeteo

Para ejemplificar una manera de predecir si existirá golpeteo se muestra en esta página una figura de dos edificios, uno de 11 niveles y otro de 7 niveles. La separación libre existente entre ellos es de 14 cm, pero se estima que el edificio pequeño tendrá un desplazamiento máximo de 7 niveles x 3 cm/nivel = 21 cm. Durante un sismo intenso, como la separación existente es de 14 cm, menor que 21 cm, entonces existe la posibilidad de golpeteo entre estos dos edificios.



Edificio dañado por golpeteo



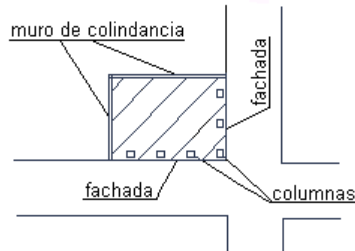
Edificios sin posibilidad de golpeteo

Edificio en esquina (OTR_ESQUINA)

Se deberá definir si el edificio se ubica en esquina de acuerdo con el siguiente criterio:

- (1) inmueble ubicado en esquina
- (2) no ubicado en esquina

Un edificio localizado en esquina es más vulnerable ante la acción de los sismos si los muros colindantes con las edificaciones vecinas son mucho más resistentes que los marcos de las fachadas y no están adecuadamente desligados unos de los otros. De ser así, se tendrá un edificio con una gran irregularidad en planta, produciendo torsiones y un comportamiento indeseable, sobre todo en las fachadas que son más flexibles y menos resistentes.



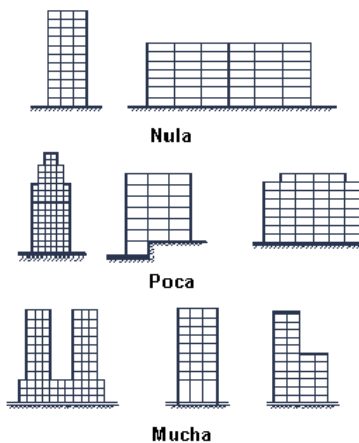
Edificio en esquina

Cuando el edificio en esquina es simétrico o tiene los muros colindantes adecuadamente desligados de la estructura principal se deberá contestar indicar 2 en este campo.

Irregularidad en altura (OTR_IRRE_ELEVACIÓN)

Se deberá especificar si el inmueble es irregular en su altura de acuerdo con el siguiente criterio:

- (1) irregularidad nula
- (2) poca irregularidad
- (3) mucha irregularidad



La estructura es más vulnerable cuando la distribución de los elementos resistentes en la altura del edificio no es uniforme.

Configuraciones típicas que calificarían a un edificio con alta irregularidad en elevación son:

- Edificios con un primer entresuelo muy alto en comparación con el resto de los pisos
- Edificios con un entresuelo cualquiera mucho más alto que el resto de los pisos
- Edificios en los que se suspende la altura en algún nivel y no ha sido desligado del resto de la estructura
- Edificios en los que elementos estructurales importantes (columnas o muros) se suspenden antes de llegar a la cimentación

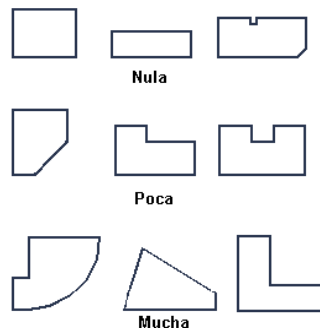


Irregularidad en planta (OTR_IRRE_PLANTA)

Se deberá definir la irregularidad en planta del inmueble de acuerdo con el siguiente criterio:

- (1) irregularidad nula
- (2) poca irregularidad
- (3) mucha irregularidad

Las estructuras simples, simétricas y regulares han presentado en términos generales mejor comportamiento que aquellas que no lo son. Bajo la acción de los sismos las estructuras irregulares y asimétricas tienden a presentar movimientos de torsión que causan daños severos.



La irregularidad en planta se refiere a una distribución asimétrica de los elementos resistentes (columnas, muros, arriostramientos, etc.). En ocasiones puede tenerse una distribución simétrica desde el punto de vista arquitectónico, pero no lograrse una distribución simétrica de los elementos estructurales, como el caso de edificios en esquina. Configuraciones típicas con alta irregularidad en planta son:

- Edificios asimétricos (desde el punto de vista estructural)
- Edificios asimétricos por su forma en planta, como triangulares y con frentes curvos, entre otras
- Edificios muy alargados en planta. Se considera que un edificio es alargado (irregular) cuando la relación largo/ancho excede de 2.0
- Edificios con proyección en planta en forma de L, T, H o similares, en los que la proyección de la parte saliente excede el 20% de la dimensión total del edificio



Nula

Poca

Mucha

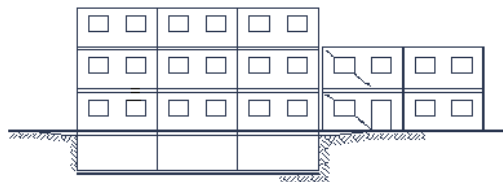
Hundimientos diferenciales (OTR_HUNDIMIENTOS)

Se deberá definir si el inmueble:

- (1) tiene hundimientos diferenciales
- (2) no tiene hundimientos diferenciales

Los hundimientos diferenciales generan efectos que pueden ser apreciables a simple vista ya sea por los desplomes de la estructura (inclinación con respecto a la vertical) o por agrietamientos diagonales en muros divisorios o muros de carga. Si los asentamientos son pequeños sólo afectarán a elementos no estructurales y acabados, con poca posibilidad de afectar la estabilidad de la estructura. Sin embargo, cuando los hundimientos diferenciales son grandes, y se aprecian a simple vista, sus efectos sobre los elementos de la estructura pueden ser considerables.

Los hundimientos diferenciales son más probables en zona de suelos blandos y pueden ser producidos a causa de un sismo, como consecuencia de la construcción de una edificación vecina o por defectos de la cimentación.



Hundimientos diferenciales



Daños previos (OTR_DA_PREVIOS)

Se deberá definir si el inmueble ha sufrido daños previos de acuerdo con el siguiente criterio:

- (1) inmueble sin daños previos
- (2) daños previos ligeros
- (3) daños previos severos

Una estructura que se ha dañado durante algún sismo ha manifestado su gran vulnerabilidad. Existe una clara evidencia de que aquellos edificios que colapsan o que tienen daños graves durante sismos intensos, es porque ya se habían dañado durante temblores previos.

En términos generales, será muy difícil identificar los daños estructurales de una edificación si es que ésta ha tenido un adecuado programa de mantenimiento. No obstante el buen mantenimiento no es señal de que la estructura vaya a tener un comportamiento satisfactorio en sismos futuros.

Es posible encontrar indicios de daños previos en aquellos lugares o partes de la estructura que no se ven como muros de colindancia, ductos de instalaciones, núcleos de escaleras o ascensores, sótanos y elementos estructurales tapados por plafones o acabados. La mejor manera de conocer si ha habido daños es preguntando a los dueños o ocupantes, aunque esta información está limitada a los años más recientes. Si no se identifican claramente señales de daño estructural por sismos previos, se deberá contestar con el número 1 en este campo.

Reparación (OTR_DA_REPARADO)

Si ha habido daños previos se deberá indicar si estos:

- (1) sí fueron reparados
- (2) no fueron reparados

Cuando una estructura ha sido dañada puede haber tenido reparaciones estructurales y no estructurales. En términos generales no será sencillo identificar el tipo de reparación que tuvo la edificación, aunque esto puede conocerse mediante la consulta de memorias de cálculo o realizando una inspección en sitios como muros de colindancia, ductos de instalaciones, núcleos de escaleras o ascensores, sótanos, elementos estructurales tapados por plafones, etc. Si la reparación solo consistió en el resane superficial de grietas se deberá de contestar que no fueron reparados, es decir, con el número 2. Reparar implica proveer de nuevo a la estructura de su capacidad sismorresistente.



Daños reparados

Reforzamiento (OTR_REFORZADA)

Se deberá definir si la estructura:

- (1) sí ha sido reforzada
- (2) no ha sido reforzada

Desde el punto de vista estructural, reforzar es un paso más que reparar. Reforzar implica modificar y mejorar las características sismorresistentes de la edificación.

En la práctica profesional en Colombia, las maneras más comunes que se han utilizado para el refuerzo de las estructuras han sido utilizando muros de concreto adosados a estructuras aporticadas, diagonales de arriostramiento de perfiles de acero o cables, y encamisado de columnas y vigas de concreto mediante celosías de acero. Normalmente estas reparaciones son tan generalizadas que no se pueden ocultar del todo, por lo que su identificación es relativamente fácil, aunque en algunos casos podrán estar ocultas por acabados arquitectónicos. Es recomendable revisar núcleos de escaleras, fachadas laterales y posteriores.

Fecha de construcción (EDI_FECHA_CONSTRUCCIÓN)

Se deberá especificar la fecha de construcción del inmueble. El año de construcción refleja indirectamente el reglamento de construcción que se empleó para su diseño. Con el paso del tiempo, los reglamentos de construcción han tenido modificaciones importantes, especialmente para algunos tipos estructurales en lo relativo al diseño por sismo. Para conocer el año de construcción del edificio se puede preguntar al dueño o recurrir a los planos estructurales o arquitectónicos.



Definir fecha de construcción del inmueble

Fecha de reforzamiento (OTR_FECHA)

En caso de que la estructura haya sido reforzada, se deberá indicar la fecha en que se realizó el refuerzo ya que en ella se encuentra implícito el código o reglamento de construcción vigente durante el refuerzo.

Datos opcionales de referencia

Este grupo de datos permitirá al usuario colocar información adicional acerca de las pólizas. Estos datos no serán considerados en los cálculos del sistema.

Prima emitida (PRIMA_EMITIDA)

Es el valor de la póliza cobrada al cliente sin incluir utilidades, costos indirectos, comisiones, etc., de la empresa.

Descripción (COLUMNA_EXTRA_1)

El usuario podrá colocar la información que desee

Comentarios (COLUMNA_EXTRA_2)

El usuario podrá colocar la información que desee