

**MODELO DE EXPOSICIÓN SÍSMICA DE VIVIENDAS DEL  
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, COLOMBIA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster  
en Ingeniería

**Por  
FERNANDO ALEXIS OSORIO VERGARA**

**Asesores  
ANA BEATRIZ ACEVEDO JARAMILLO  
JUAN DIEGO JARAMILLO FERNANDEZ  
UNIVERSIDAD EAFIT**

**MEDELLÍN  
UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
Febrero de 2015**



## RESUMEN

El riesgo sísmico de una localidad es entendido como la probabilidad de que se presenten pérdidas humanas o económicas, estas últimas representadas en la infraestructura de la localidad, durante la ocurrencia de un sismo. Para la estimación de este riesgo es necesario generar tres modelos: modelo de exposición sísmica, que consiste en la cuantificación de personas y elementos expuestos (edificaciones, vías, líneas vitales, etc.) a los efectos de un sismo; modelo de vulnerabilidad sísmica que se define como la probabilidad de daño que presenta la infraestructura expuesta cuando es sometida a los efectos de un sismo; y modelo de amenaza sísmica que consiste en la probabilidad de ocurrencia de un sismo de una intensidad determinada en la localidad bajo estudio.

Debido a la constante amenaza sísmica a la que está sometido el país de Colombia se hace necesario la generación de modelos de riesgo sísmico que permitan cuantificar las esperanzas de pérdidas de cada una de sus regiones y diseñar planes de mitigación y contingencia.

Es por eso que en este trabajo de investigación se genera un modelo de exposición de viviendas para los 125 municipios del departamento de Antioquia, Colombia. El modelo tiene un mayor nivel de detalle para la ciudad de Medellín –capital del departamento– y los demás municipios del área metropolitana. Para la obtención del modelo se aplicó una metodología desarrollada durante la ejecución de este trabajo en el marco del proyecto *South America integrated Risk Assessment (SARA)* de la fundación *Global Earthquake Model (GEM foundation)*.

La metodología desarrollada en este trabajo permite la obtención de modelos de exposición sísmica de muy buena precisión dependiendo del nivel de detalle de la información de entrada que se tenga. En este trabajo se presentan tres modelos de exposición de acuerdo a la información disponible: modelo para la ciudad de Medellín, los municipios del Área Metropolitana (excluyendo Medellín) y los demás municipios del departamento. Los modelos de exposición presentados en este trabajo dan ejemplo de la aplicación de la metodología con diferentes fuentes de información y niveles de detalle en ésta.

El modelo de exposición de la ciudad de Medellín es el modelo más detallado puesto que se contó con dos mapas con información valiosa: área, localización y número de pisos de cada una de las edificaciones, además del nivel socioeconómico de las manzanas de la ciudad. A partir de información del número de pisos de las edificaciones y su nivel socioeconómico se infirió la distribución de los sistemas estructurales. Los costos de reposición y comerciales propuestos en el modelo de exposición son función del nivel socioeconómico de las edificaciones, y fueron consultados con los constructores de la región.

Para el caso de los demás municipios del Valle de Aburrá se contó con mapas de zonas homogéneas en términos de número de pisos predominantes de cada uno de los municipios y distribución de número de pisos de las zonas, obtenidos para el trabajo realizado por el Consorcio Microzonificación 2006 [1]. La distribución del nivel socioeconómico de estos municipios fue obtenida de las Encuestas de Calidad de Vida del

año 2011 [2] mientras que la distribución de sistemas estructurales y los costos de reposición y comerciales fueron obtenidos de la misma forma que para la ciudad de Medellín.

Para 80 de los 115 municipios por fuera del Valle de Aburrá se obtuvieron mapas que contenían el área, número de pisos (en algunos casos) y ubicación geográfica de sus construcciones. No fue posible obtener información alguna acerca del nivel socioeconómico de las viviendas, por lo que los costos de reposición y comerciales, y la distribución de sistemas estructural para estos municipios son independientes de esta variable.

Los modelos de exposición obtenidos con la metodología propuesta en este trabajo resultan en términos de áreas construidas en cada sistema estructural, en cada número de pisos y cuando se posee información, en cada nivel socioeconómico.

Para la ciudad de Medellín se obtuvo un área total de viviendas expuesta de 79.32 km<sup>2</sup>, los cuales tienen un costo de reposición de 77,202,741 millones de pesos colombianos (MLL COP), y un costo comercial de 198,012,414 MLL COP. El modelo de exposición de los municipios del Área metropolitana, sin incluir la ciudad de Medellín, dio como resultado un área total expuesta de 30.70 km<sup>2</sup>. Esta área tiene un costo de reposición de 21,059,837 MLL COP y un costo comercial de 58,073,595 MLL COP. Por su parte, el modelo de exposición del departamento de Antioquia, sin incluir la subregión del Valle de Aburrá, dio como resultado un área total de viviendas expuesta de 37.92 km<sup>2</sup> los cuales tienen un costo de reposición de 37,918,880 MLL COP y un costo comercial de 66,358,040 MLL COP. Se tiene entonces que el costo de reposición total de la infraestructura de vivienda del departamento de Antioquia, es la suma de los costos de reposición antes mencionados, es decir, 136,181,458 MLL COP, el costo comercial es de 322,408,049 MLL COP, correspondientes a un área total construida de 147.94 km<sup>2</sup>.

En los tres modelos generados se encontró que el sistema estructural con más presencia en el departamento de Antioquia es el de muros de mampostería no reforzada, representando más del 50% del total de área construida en viviendas, lo que da muestra del alto riesgo sísmico al que se encuentra sometida la población del departamento, toda vez que este sistema estructural es altamente vulnerable ante las fuerzas generadas durante un evento sísmico.

Palabras clave: Exposición sísmica, sistema estructural, riesgo sísmico, infraestructura.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero que todo a la fundación GEM (*Global Earthquake Model*) por la financiación de esta investigación, la cual hace parte del proyecto *America integrated Risk Assessment* (SARA). En particular agradezco a Catalina Yepes, Vitor Silva, Jairo Valcarcel y demás colaboradores de dicha fundación por su disposición y asesoría constante.

A los profesores Ana Beatriz Acevedo Jaramillo y Juan Diego Jaramillo Fernández de la Universidad EAFIT por seleccionarme para la ejecución de este proyecto, confiar en mis capacidades, asesorarme constantemente y corregir el contenido y la redacción de este trabajo.

Al departamento de investigación de la Universidad EAFIT por financiar parte de mi viaje a Europa, el cual tuvo como objetivo mi capacitación profesional para llegar a buen fin en la ejecución de este proyecto de investigación.

Agradezco a Alicia López Novoa, secretaria del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad EAFIT por su disposición constante a proceder con los requerimientos de tipo administrativo y logístico a los que hubo lugar durante estos meses.

Agradezco al señor Federico Bedoya del Departamento Administrativo de Planeación del municipio de Medellín y al señor Henry Hurtado del Departamento de Catastro del municipio de Medellín por suministrar parte de la información requerida para la ejecución del modelo de exposición de la Ciudad de Medellín.

Al señor Jaime Albeiro Zapata de la Secretaría de Planeación del municipio de Girardota por suministrar el mapa de alturas del municipio, el cual ayudó a generar un modelo preciso de esta localidad.

Agradezco a la Ingeniera Natalia Cardona Merino por toda la ayuda prestada durante la ejecución del proyecto, sus palabras de aliento y compañía en los ratos de esparcimiento en la Universidad.

Agradezco a la familia Herrera Gómez y en especial a la Ingeniera Verónica Herrera Gómez por ayudar a vencer mis miedos al inicio de este proyecto y por toda su comprensión, confianza y apoyo durante el primer año de ejecución del mismo.

A mi familia por apoyarme, comprenderme y alentarme en cada proyecto de vida que inicio, incluyendo éste.

A mis tíos Carlos Alberto López Vergara y María Rosalba Vergara por nunca perder la fe en mí, brindarme sus palabras constantes de aliento y el apoyo económico que necesitara.

Por último agradezco a Lina Marcela Garavito García por su apoyo comprensión y compañía durante los últimos meses de ejecución del proyecto.



## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	v
TABLA DE CONTENIDO .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABLAS .....	xi
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 SISMICIDAD DE ANTIOQUIA .....	5
1.2 TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA .....	7
1.3 GLOBAL EARTHQUAKE MODEL FOUNDATION (GEM) .....	12
1.4 OBJETIVOS .....	12
1.4.1 Objetivo general .....	12
1.4.2 Objetivos específicos.....	13
1.5 ESTRUCTURA DEL TRABAJO .....	13
2. METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE MODELOS DE EXPOSICIÓN.....	15
2.1 INFORMACIÓN REQUERIDA .....	15
2.2 CONSECUENCIA DE LA INFORMACIÓN .....	16
2.2.1 Área construida .....	16
2.2.2 Número de pisos .....	19
2.2.3 Sistemas estructurales .....	21
2.2.4 Costos de reposición y/o comerciales .....	21
2.3 OBTENCIÓN DEL MODELO DE EXPOSICIÓN .....	22
3. MODELOS DE EXPOSICIÓN DE VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN, LA SUBREGIÓN DEL VALLE DE ABURRÁ Y EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA .....	27
3.1 MODELO DE EXPOSICIÓN DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN .....	27
3.1.1 Información disponible.....	27
3.1.2 Manipulación de la información .....	31
3.1.3 Resultados del modelo de exposición de la ciudad de Medellín .....	33
3.1.4 Comparación de los resultados con trabajos previos.....	36
3.2 MODELO DE EXPOSICIÓN DEL VALLE DE ABURRÁ.....	36
3.2.1 Información disponible.....	37

3.2.2 Manipulación de la información .....	43
3.2.3 Resultados del modelo de exposición del Valle de Aburrá .....	44
3.2.4 Comparación de los resultados con trabajos previos .....	48
3.3 MODELO DE EXPOSICIÓN DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA .....	48
3.3.1 Información disponible .....	48
3.3.2 Manipulación de la información .....	51
3.3.3 Resultados del modelo de exposición de los municipios de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá.....	52
3.3.4 Comparación de los resultados con trabajos previos .....	56
4. CONCLUSIONES .....	59
5. REFERENCIAS.....	63
ANEXOS.....	65
A. ANEXO A – RESULTADOS DE LOS MODELOS DE EXPOSICIÓN.....	65

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Distribución de los sismos de magnitud mayor o igual a 6 en los últimos 4 años [5].....	2
Figura 1.2. Mapa de zonificación sísmica de Colombia [7] .....	3
Figura 1.3. Distribución geográfica de los sismos que han afectado el departamento de Antioquia [16].....	7
Figura 1.4. Construcciones presentes en el municipio de Copacabana [17].....	8
Figura 1.5. Construcciones presentes en el municipio de Bello .....	8
Figura 1.6. Construcciones presentes en el municipio de Medellín [17].....	8
Figura 1.7. Construcciones presentes en el municipio de Apartadó en la subregión de Urabá [17].....	9
Figura 1.8. Construcciones presentes en el municipio de Andes en la subregión del Suroeste [17] .....	9
Figura 1.9. Edificación en muros de mampostería estructural o reforzada .....	10
Figura 1.10. Edificación en muros de mampostería confinada .....	10
Figura 1.11. Edificación en pórticos de concreto reforzado .....	11
Figura 1.12. Edificación en muros de concreto reforzado .....	11
Figura 1.13. Edificación en sistema dual de muros y pórticos de concreto reforzado ....	11
Figura 2.1. Proceso de generación de áreas construidas .....	17
Figura 2.2. Resultado final de la generación de áreas construidas de uno de los municipios de Antioquia .....	17
Figura 2.3. Obtención de áreas construidas en localidades sin imágenes satelitales de alta resolución.....	18
Figura 2.4. Forma de obtención del factor de reducción de áreas .....	19
Figura 2.5. Vías seleccionadas para recorrido en uno de los municipios de Antioquia ..	20
Figura 2.6. Recorrido virtual en uno de los municipios de Antioquia.....	20
Figura 2.7. Imagen satelital de las zonas urbanas de Apartadó .....	23
Figura 2.8. Polígonos de las zonas construidas del municipio de Apartadó.....	23
Figura 2.9. Forma de obtención del factor de reducción de áreas .....	24
Figura 3.1. Polígonos de las construcciones de un sector de la ciudad de Medellín.....	27
Figura 3.2. Información asociada a cada polígono de las construcciones de la ciudad de Medellín.....	28
Figura 3.3. Nivel socioeconómico de un sector de la ciudad de Medellín .....	28
Figura 3.4. Modelo de exposición de la ciudad de Medellín.....	34

Figura 3.5. Características del sistema de coordenadas <i>Colombia_Bogotá_Zone</i> .....	35
Figura 3.6. Costo de reposición por barrios del municipio de Medellín .....	35
Figura 3.7. Resultados de valor de reposición [MLL COP] (izquierda) y área construida [m <sup>2</sup> ] (derecha) para cada sistema estructural para la ciudad de Medellín .....	35
Figura 3.8. Zonas homogéneas del municipio de Copacabana. ....	38
Figura 3.9. Comparación de imágenes para la obtención de los factores de reducción de las zonas homogéneas del municipio de La Estrella.....	44
Figura 3.10. Resultados de valor de reposición [MLL COP] (izquierda) y área construida [m <sup>2</sup> ] (derecha) para cada sistema estructural para El valle de Aburrá (no incluye Medellín) .....	46
Figura 3.11. Resultados de valor de reposición [MLL COP] (izquierda) y área construida [m <sup>2</sup> ] (derecha) para cada sistema estructural para El valle de Aburrá (incluye Medellín calculado según el numeral 3.1) .....	47
Figura 3.12. Costos de reposición del Valle de Aburrá (incluye Medellín calculado según el numeral 3.1) .....	47
Figura 3.13. Mapa de construcciones del municipio de Mutatá .....	49
Figura 3.14. Proceso de generación de polígonos de áreas construidas en planta .....	50
Figura 3.15. Forma de obtención del factor de reducción de áreas .....	50
Figura 3.16. Resultados de valor de reposición [MLL COP] (izquierda) y área construida [m <sup>2</sup> ] (derecha) para cada sistema estructural para los municipios de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá (no incluye Valle de Aburrá) .....	54
Figura 3.17. Resultados de valor de reposición [MLL COP] (izquierda) y área construida [m <sup>2</sup> ] (derecha) para cada sistema estructural para los municipios de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá (incluye Valle de Aburrá y ciudad de Medellín calculados según numerales 3.2 y 3.1 respectivamente) .....	55
Figura 3.18. Costos de reposición de los municipios del departamento de Antioquia (Incluye el Valle de Aburrá).....	55
Figura 3.19. Relación entre el número de viviendas obtenido en el modelo de exposición y el reportado en el Censo General del 2005 .....	57
Figura 3.20. Mapa de construcciones del municipio de Amagá.....	57

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Distribución de la población colombiana por zonas geográficas [11] .....	4
Tabla 1.2. Actividad sísmica de Antioquia. Adaptada de [16] .....	6
Tabla 2.1. Distribución porcentual del número de pisos de uno de los municipios de Antioquia.....	20
Tabla 2.2. Distribución en porcentaje del sistema estructural según el número de pisos para las edificaciones de nivel socioeconómico 3 de la ciudad de Medellín.....	21
Tabla 2.3. Factor de reducción de áreas para el municipio de Apartadó. ....	24
Tabla 2.4. Número de edificaciones y distribución porcentual de cada número de pisos para el municipio de Apartadó .....	24
Tabla 2.5. Matriz de distribución porcentual de sistemas estructurales para el municipio de Apartadó .....	25
Tabla 2.6. Áreas por sistema estructural y número de pisos del modelo de exposición del municipio de Apartadó.....	25
Tabla 3.1. Códigos de los sistemas estructurales presentes en la ciudad de Medellín.....	29
Tabla 3.2. Matriz de distribución porcentual de sistemas estructurales de la ciudad de Medellín .....	30
Tabla 3.3. Valores de reposición y comerciales para la ciudad de Medellín .....	31
Tabla 3.4. Muestra de los datos exportados desde ArcGis de cada uno de los polígonos de las construcciones de Medellín .....	32
Tabla 3.5. Parte de los resultados en términos de áreas [m <sup>2</sup> ] por sistema estructural, número de pisos y nivel socioeconómico para el barrio 1 de la comuna 11 de la ciudad de Medellín.....	32
Tabla 3.6. Valores de reposición [millones de pesos (MLL COP)] para parte de las áreas del barrio 1 de la comuna 11 de la ciudad de Medellín.....	33
Tabla 3.7. Valores comerciales [MLL COP] para parte de las áreas del barrio 1 de la comuna 11 de la ciudad de Medellín.....	33
Tabla 3.8. Área construida [m <sup>2</sup> ] y costo de reposición [MLL COP] y costo comercial de cada uno de los sistemas estructurales de la ciudad de Medellín .....	34
Tabla 3.9. Número de viviendas por edificio y área por metro cuadrado para cada sistema estructural en la ciudad de Medellín.....	36
Tabla 3.10. Número de pisos predominantes en las zonas homogéneas definidas en la Microzonificación.....	37

Tabla 3.11. Distribución de número de pisos de las zonas homogéneas del municipio de Bello .....	39
Tabla 3.12. Distribución porcentual de niveles socioeconómicos de los municipios del Valle de Aburrá .....	39
Tabla 3.13. Distribución porcentual de los sistemas estructurales del grupo 1 .....	40
Tabla 3.14. Distribución porcentual de los sistemas estructurales del grupo 2 .....	41
Tabla 3.15. Distribución porcentual de los sistemas estructurales del grupo 3 .....	42
Tabla 3.16. Valores de reposición y comerciales para el Valle de Aburrá .....	43
Tabla 3.17. Factores de reducción para las zonas homogéneas de los municipios del Valle de Aburrá .....	43
Tabla 3.18. Área construida [m <sup>2</sup> ] en cada sistema estructura presente en los municipios del Valle de Aburrá .....	45
Tabla 3.19. Valor de reposición [MLL COP] de las áreas en cada sistema estructura presente en los municipios del Valle de Aburrá .....	45
Tabla 3.20. Valor comercial [MLL COP] de las áreas en cada sistema estructura presente en los municipios del Valle de Aburrá .....	46
Tabla 3.21. Número de viviendas obtenido en el modelo de exposición del Valle de Aburrá y presentado por las Encuestas de Calidad de Vida 2011 [2].....	48
Tabla 3.22. distribución porcentual de los sistemas estructurales del municipio de Cáceres .....	51
Tabla 3.23. Áreas construidas [m <sup>2</sup> ] en cada uno de los sistemas estructurales para cada una de las Subregiones del departamento de Antioquia .....	53
Tabla 3.24. Valores de reposición [MLL COP] de las áreas construidas en cada sistema estructural en las diferentes subregiones del departamento de Antioquia .....	53
Tabla 3.25. Valores de comerciales [MLL COP] de las áreas construidas en cada sistema estructural en las diferentes subregiones del departamento de Antioquia .....	54
Tabla 3.26. Áreas de vivienda por sistema estructural para cada subregión .....	56
Tabla A.1. Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m <sup>2</sup> ] construida por cada sistema estructural en cada municipio .....	65
Tabla A.2. Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m <sup>2</sup> ] construida por cada sistema estructural en cada barrio .....	77

## 1. INTRODUCCIÓN

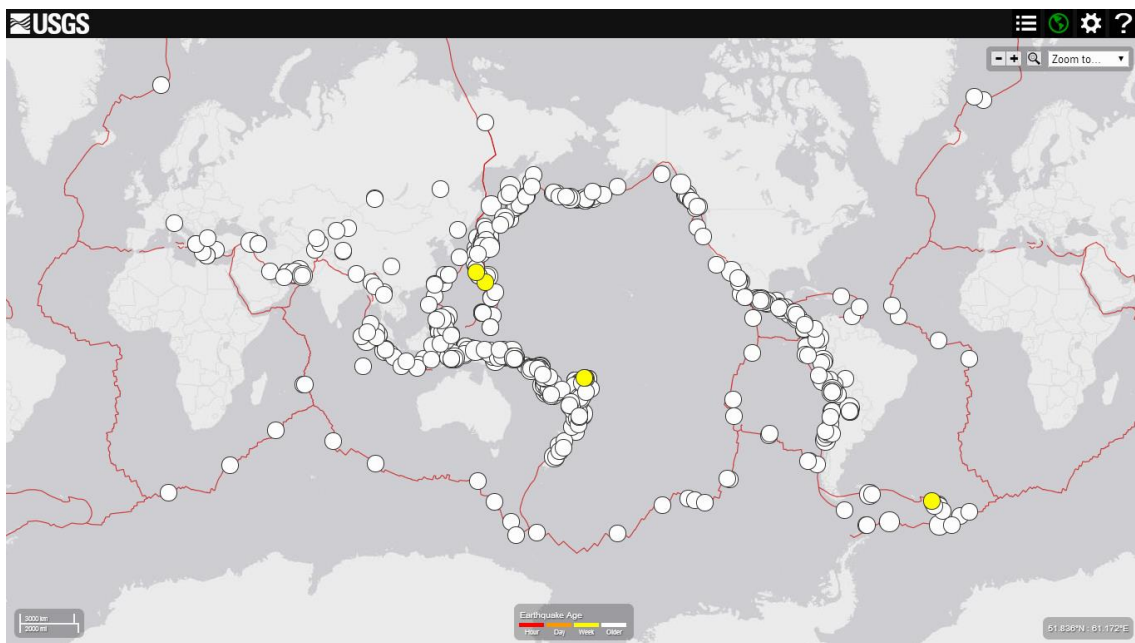
El riesgo sísmico es entendido como la probabilidad de que se presenten pérdidas humanas, sociales y/o económicas a causa de terremotos. Dicho riesgo se debe a la combinación de tres factores: amenaza sísmica, exposición y vulnerabilidad [3]. El primero de estos factores, la amenaza, se refiere a la probabilidad de ocurrencia de sismos en un lugar determinado. Uno de los sitios donde ocurren más sismos al año es el denominado cinturón de fuego del Pacífico, donde se libera en promedio el 85% del total anual de la energía sísmica en el mundo. Este cinturón rodea el océano Pacífico pasando por la costa occidental del continente Americano, desde el sur de Chile en Suramérica hasta Alaska en Norteamérica, las islas Aleutianas y Rusas, Japón, Filipinas, Indonesia, Papúa Nueva Guinea y Nueva Zelanda [4]. La Figura 1.1 muestra la distribución de los sismos de magnitud mayor o igual a 6 ocurridos en 4 años (02 de Julio de 2010 - 02 de Julio de 2014) [5] alrededor del mundo. En ésta se puede ver claramente que la mayoría de los sismos ocurrieron en el cinturón de fuego, definido por la aglomeración de círculos blancos a lo largo de las costas de los países e islas mencionados anteriormente.

Colombia es uno de los países afectados por la energía liberada en el cinturón de fuego, ya que se encuentra ubicado en un lugar crítico de Suramérica y en su territorio tiene lugar la interacción de cuatro placas tectónicas: Nazca, Suramericana, Caribe y la micro-placa de Panamá. La interacción de estas placas genera acumulación de energía en las masas elasto-plásticas del suelo y una posterior y súbita liberación [4]; por ende, una gran cantidad de sismos ocurren cada año en las inmediaciones de las placas. Además, al interior del territorio colombiano existe un extenso sistema de fallas geológicas activas que constituyen otra fuente importante de movimientos telúricos [4]. Dentro de la actividad sísmica reciente de Colombia se pueden destacar 3 movimientos fuertes que tuvieron repercusiones considerables; ellos son:

*Sismo de Quindío:* El 25 de enero de 1999, tan sólo un año después de la actualización de las Normas Sismo Resistentes del país —Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes (NSR-98) [6]—, ocurrió en el eje cafetero un sismo de magnitud  $M_L = 6.2$ , el cual causó graves daños en muchas edificaciones de las ciudades de Armenia y Pereira, y un amplio número de poblaciones cercanas, siendo Armenia la más afectada debido a la superficialidad del sismo, a la cercanía del epicentro a la ciudad y la presencia de suelos blandos favorables para efectos de amplificación. Durante el sismo de Quindío se evidenció la fragilidad de las construcciones de mampostería no reforzada, las malas prácticas de construcción en cuanto al detalle de refuerzo transversal y longitudinal de los elementos estructurales y sus secciones insuficientes. Se pudo constatar la influencia adversa de los elementos no estructurales y de las irregularidades de masa y rigidez en las estructuras [7].

*Sismo de Pizarro:* El 15 de noviembre de 2004 se registraron aceleraciones de hasta  $100 \text{ cm/s}^2$  en algunos lugares de la ciudad de Cali debido a un sismo de magnitud  $M_L = 6.7$ , cuyo epicentro se localizó en el océano Pacífico, en el segmento central de la zona de subducción del Pacífico colombiano. El sismo generó daños, en su mayoría en elementos no estructurales y algunos mínimos en elementos estructurales [7].

*Sismo de Quetame:* El 24 de mayo de 2008 se registró un sismo de magnitud local  $M_L = 5.7$  que fue sentido en todo el país. El sismo fue localizado a 35 km al sur-oriente de la ciudad de Bogotá, cerca de la población de Quetame, Cundinamarca. Un acelerógrafo sobre roca ubicado en Quetame registró una aceleración máxima de  $605 \text{ cm/s}^2$ ; el movimiento telúrico produjo daños en edificaciones de localidades cercanas al epicentro [7].



**Figura 1.1. Distribución de los sismos de magnitud mayor o igual a 6 en los últimos 4 años [5]**

Siendo la amenaza sísmica la probabilidad de ocurrencia de un temblor de tierra debido a un sismo, o efectos tales como: ruptura de la superficie terrestre, deslizamientos o efectos de licuefacción, causados por dicho temblor; los movimientos telúricos antes descritos, y todos aquellos otros que ocurren a diario en el territorio colombiano, constituyen la amenaza sísmica del país.

De acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) [7], el territorio colombiano se puede dividir en zonas de tres niveles de amenaza sísmica: baja, media y alta. Dichas zonas se limitan dependiendo de las aceleraciones horizontales probables en roca para cada punto del territorio. La Figura 1.2 muestra las diferentes zonas de amenaza sísmica del país definidas en dicha norma. Además, la NSR-10 [7], apoyándose en datos obtenidos del Censo General del año 2005 [8], menciona que el 39.7% de la población colombiana se encuentra asentada en municipios con una



Notablemente existen muchas edificaciones en el país que fueron construidas antes de entrar en vigencia las normas mencionadas, ya que en Colombia se ha edificado desde los tiempos de la colonia y muchas de esas construcciones se conservan en pie hoy en día. Adicionalmente, una gran parte de la población colombiana construye sus viviendas sin tener en cuenta las normas sismoresistentes, por ende muchas de las edificaciones construidas aun después de entrar en vigencia dichas normas, probablemente presentarán un comportamiento inadecuado durante la ocurrencia de un sismo.

Según Mejía [10], el 60% de las edificaciones de uso residencial existentes en los departamentos de la zona andina colombiana son de mampostería no reforzada y sin diseño ingenieril. En dicha zona se concentra la mayor parte de la población del país, tal como lo muestra la Tabla 1.1 tomada de la Revista de la Información Básica *ib* [11], en la cual se resume la información del censo general del año 2005.

**Tabla 1.1. Distribución de la población colombiana por zonas geográficas [11]**

Zona geográfica	% de población
Atlántica	21.2
Andina Central	29.8
Andina Occidental	18.9
Andina Oriental	7.5
Pacífica	17.3
Piedemonte	4.0
Amazonía	0.9
Orinoquía	0.4

La vulnerabilidad sísmica es la probabilidad de daño que presenta una estructura cuando se somete a un efecto particular de un sismo [3]. Colombia es entonces un país con una alta vulnerabilidad debido a que gran parte de sus construcciones presentarán, probablemente, un comportamiento inadecuado durante la ocurrencia de un movimiento telúrico fuerte, y por ende sufrirán daños considerables y posibles colapsos.

Como el riesgo sísmico lo constituye la combinación de la amenaza, la vulnerabilidad y la exposición sísmica, se deduce que Colombia tiene un alto riesgo sísmico ya que en su territorio están presentes de forma latente los tres factores que lo componen.

Antioquia, departamento de Colombia bajo estudio en este trabajo, tiene todo su territorio en zonas de amenaza sísmica intermedia o alta [7], lo que significa que se esperan aceleraciones en roca superiores a 0.2 g para un periodo de retorno de 475 años según la NSR-10 [7]. Teniendo en cuenta que estas aceleraciones son en roca, es decir, no incluye la posible amplificación debido a las propiedades mecánicas del suelo, Antioquia puede ser considerado un departamento con una amenaza sísmica considerable.

Antioquia es el segundo departamento más poblado de Colombia después de Cundinamarca, con cerca de 6.1 millones de habitantes, los cuales representan el 13.3% de la población total de Colombia [8]. 16.8% de la población reside en municipios de amenaza sísmica alta, y el 83.2% restante en municipios de amenaza sísmica intermedia [7]; [8]. Esta

población y la infraestructura requerida para su habitabilidad en el departamento, constituyen la exposición sísmica de Antioquia.

Como ya se mencionó, aproximadamente el 60% de las viviendas de la zona andina de Colombia están construidas en mampostería y sin criterios de ingeniería estructural [10] y por ende son vulnerables ante los efectos sísmicos. Siendo Antioquia uno de los departamentos que constituyen dicha zona geográfica, y teniendo en cuenta lo mencionado por Mejía [10], podemos afirmar que cerca del 60% de las viviendas del departamento son de mampostería no reforzada. Tiene Antioquia entonces un alto grado de los tres factores que componen el riesgo sísmico, lo que hace necesario tomar medidas para la reducción de dicho riesgo.

Se hace indispensable entonces estimar de forma precisa el riesgo sísmico de aquellas localidades en las que éste es más elevado, con el objetivo de estimar pérdidas humanas y económicas, para así diseñar planes de contingencia y reacción inmediata. Existe ya en la literatura modelos de amenaza sísmica para Colombia, e incluso éstos hacen parte del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente [7]. Para el caso de los modelos de vulnerabilidad, son pocos los que se han desarrollado, y han sido para algunas tipologías estructurales específicas [12]; [13]. Los modelos de exposición son también escasos, pues la recolección de la información necesaria para su elaboración es dispendiosa, toma tiempo y en muchos casos dicha información simplemente no existe, por lo que es necesario levantarla en campo o utilizando alguna metodología [14].

## **1.1 SISMICIDAD DE ANTIOQUIA**

Dentro de la sismicidad de una región se puede diferenciar entre la sismicidad histórica y la instrumentada. Se entiende como sismicidad histórica de una región aquella actividad sísmica ocurrida durante el periodo de tiempo en el cual no se contaba con instrumentación para el registro de movimientos fuertes y sus posteriores análisis, y de la cual se tiene información sólo por los escritos o investigaciones realizadas por las personas que la vivieron o recopilaron datos en los lugares donde se sintieron los movimientos telúricos. Por otro lado, la sismicidad instrumentada es aquella de la cual se tiene información del movimiento fuerte, ya sea registrada por sismógrafos, acelerógrafos o cualquier otro instrumento diseñado para tal fin. Se puede decir que la primera investigación de la sismicidad histórica de Colombia de la cual se tiene registro es “La Cronología Sísmica de Don Francisco Javier Vergara y Velasco”, la cual fue publicada en el año 1898 en la revista Anales de Ingeniería de la Sociedad Colombiana de Ingenieros [15]. Trabajos posteriores fueron desarrollados por los llamados pioneros de la sismicidad histórica de Colombia, grupo de historiadores regionales o nacionales quienes dieron los primeros pasos de un trabajo que terminó siendo permanente y sistemático [15].

Para el caso de la sismicidad instrumentada, en el año 1994 se inauguró oficialmente la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), la cual, desde entonces, es la encargada de llevar a cabo el registro de los sismos intensos que ocurren en el territorio nacional. Aunque la RSNC sólo se inauguró hasta 1994, en el año 1922 se instaló el primer sismógrafo en el país, por lo tanto la sismicidad histórica de Colombia está compuesta por

todos los sismos ocurridos hasta ese año. Actualmente la RSNC cuenta con 50 estaciones sismológicas transmitiendo datos en tiempo real vía satélite y por medio de una red de área local LAN (Local Area Network). Además, la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC) cuenta con 81 estaciones permanentes activas con equipos instalados, 25 estaciones inactivas que dejaron de funcionar por diversas razones y 61 estaciones portátiles que son instaladas durante periodos específicos con los objetivos de recolectar información de réplicas después de un sismo fuerte, realizar estudios de microzonificación, entre otros. Para mayor información acerca de las redes antes mencionadas se recomienda visitar los sitios web de éstas: <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/> (RSNC), <http://seisan.sgc.gov.co/RNAC/> (RNAC).

No todos los sismos ocurridos en el territorio nacional han afectado el departamento de Antioquia. Zora [16] en su trabajo, presenta una serie de eventos sísmicos que han afectado a la ciudad de Medellín y por consiguiente, al departamento de Antioquia. Dichos eventos se presentan en la Tabla 1.2 y su distribución geográfica en la Figura 1.3.

**Tabla 1.2. Actividad sísmica de Antioquia. Adaptada de [16]**

Fecha	Magnitud	Localización	Intensidad.	Profundidad (km)
13 de abril de 1792	-	6.2° N, 75.6°W	I	-
15 de septiembre de 1868	-	6.2° N, 75.5°W	I	-
31 de octubre de 1906	M <sub>s</sub> 8.2	1.0°N, 81.5°W	X	25
31 de octubre de 1928	-	6.3°N, 75.5°W	I	-
30 de julio de 1962	M <sub>s</sub> 6.9	5.40°N, 75.6°W	-	69
11 de octubre de 1966	-	6.7°N, 75.8°W	I	-
23 de noviembre de 1979	M <sub>w</sub> 7.2	4.81°N, 76.2°W	VIII	108
17 y 18 de octubre de 1992	M <sub>s</sub> 6.8	6.88°N, 76.8°W	X	32
	M <sub>s</sub> 7.3	7.15°N, 76.8°W		
6 y 8 de marzo de 1998	M <sub>L</sub> 5.4	6.3°N, 73.9°W	-	-
	M <sub>L</sub> 5.5	6.27°E, 73.9°W		

M<sub>s</sub> = Magnitud de onda superficial, M<sub>w</sub> = Magnitud de momento, M<sub>L</sub> = Magnitud local

Esta información permite identificar la amenaza a la que ha estado sometido el departamento durante los últimos 200 años, además de demostrar que, contrario a lo que piensa la mayoría de los habitantes del departamento, en Antioquia sí ocurren terremotos. Además de los sismos que ya han afectado el territorio del departamento de Antioquia, es importante tener en cuenta que existe la probabilidad de que ocurran nuevos eventos sísmicos debido a su localización. Como ya se mencionó, Colombia está ubicada al noroccidente de Suramérica, justo en la zona de interacción de cuatro placas tectónicas. Esta interacción genera esfuerzos en el interior de las placas, provocando así fracturas más conocidas como fallas geológicas. Para el caso del Bloque Andino, zona en la que se encuentra el departamento de Antioquia, se han generado grandes fracturas, algunas de ellas de varios cientos de kilómetros y actividad sísmica variada, siendo las más sobresalientes aquellas que hacen parte de los sistemas Espíritu Santo, Romeral, Cauca, Palestina y las fallas Murrí, Murindó y Mutatá [1].

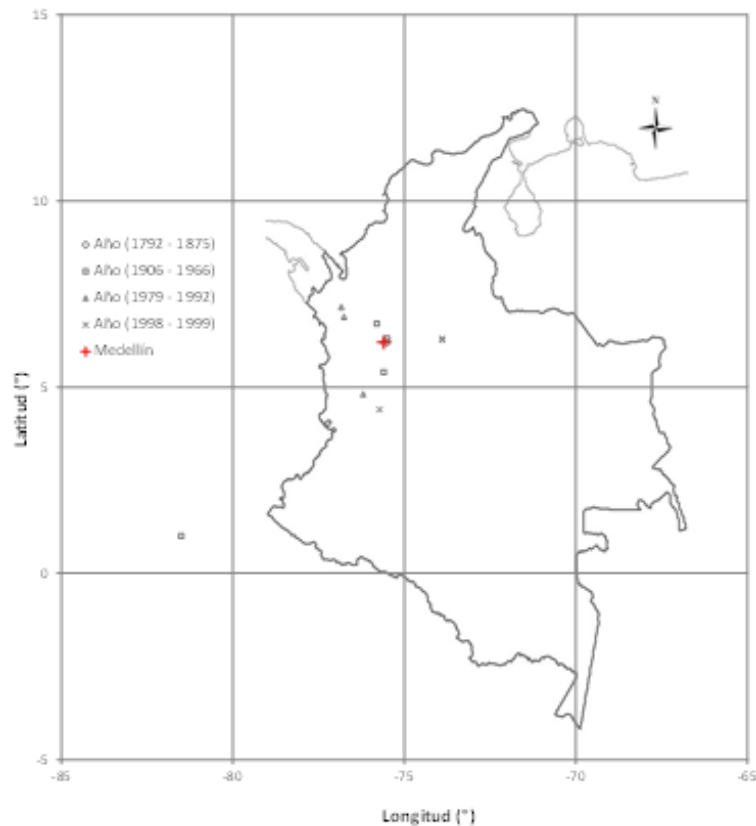


Figura 1.3. Distribución geográfica de los sismos que han afectado el departamento de Antioquia [16]

## 1.2 TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

En el departamento de Antioquia se pueden encontrar construcciones de diversos materiales que van desde tierra (tapia o bahareque), madera, ladrillos de concreto, ladrillos de arcilla (huecos o macizos), rocas, concreto, entre otros. En cuanto a los sistemas estructurales las opciones son pocas, encontrando pórticos, muros y sistemas combinados, siendo el sistema de muros el predominante en el territorio antioqueño, particularmente en las edificaciones de uso residencial. El material empleado para la construcción de edificaciones en dichos sistemas estructurales puede ser cualquiera de los mencionados con anterioridad, presentándose en mayores proporciones uno u otro dependiendo del municipio o región que se estudie. Si se analiza todo el departamento en conjunto, como se verá más adelante en este trabajo, el material que se emplea con mayor frecuencia para la construcción de viviendas es el ladrillo de arcilla agujereado o hueco, con la gran desventaja de que no se realiza, en la mayoría de los casos, ningún tipo de diseño sismo resistente para las construcciones.

Mejía [10], menciona que aproximadamente el 60% de las viviendas existentes en la zona andina de Colombia, a la cual pertenece el departamento de Antioquia, tienen como sistema estructural los muros de mampostería de ladrillo no reforzada y sin ingeniería.

Viendo el panorama de los municipios del Valle de Aburrá, subregión del departamento de Antioquia y conformada por los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Envigado, Itagüí, La Estrella, Sabaneta y Caldas, se comprueba lo acertado de dicha afirmación, toda vez que gran parte de las construcciones que se encuentran allí, presentan dicho sistema estructural. Las Figuras 1.4, 1.5 y 1.6 muestran algunas construcciones de los municipios de Copacabana, Bello y Medellín respectivamente.



**Figura 1.4. Construcciones presentes en el municipio de Copacabana [17]**



**Figura 1.5. Construcciones presentes en el municipio de Bello**

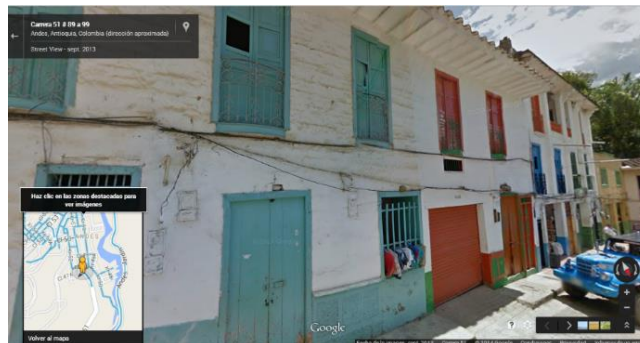


**Figura 1.6. Construcciones presentes en el municipio de Medellín [17]**

El departamento de Antioquia está dividido en nueve subregiones (Urabá, Oriente, Occidente, Suroeste, Norte, Nordeste, Bajo Cauca, Magdalena Medio y Valle de Aburrá), que a su vez están conformadas por diferentes números de municipios. En algunas subregiones como Urabá y Noroeste, existe una gran cantidad de construcciones en otros materiales, tales como madera y tierra [8], debido a que éstos son los recursos presentes en dichas regiones. A pesar de que la madera es un material que cuenta con las propiedades físico-mecánicas necesarias para un buen comportamiento estructural, se requiere de la asesoría de un experto para lograr un buen desempeño del material. La tierra por su parte, es un material con el cual se podrían construir edificaciones con una buena resistencia sísmica, pero es necesario aplicar las técnicas adecuadas y tener en cuenta cuales son los lugares y las geometrías más favorables para su construcción [18]. Las Figuras 1.7 y 1.8 muestran algunas construcciones de las regiones del Urabá y el Suroeste Antioqueño.



**Figura 1.7. Construcciones presentes en el municipio de Apartadó en la subregión de Urabá [17]**

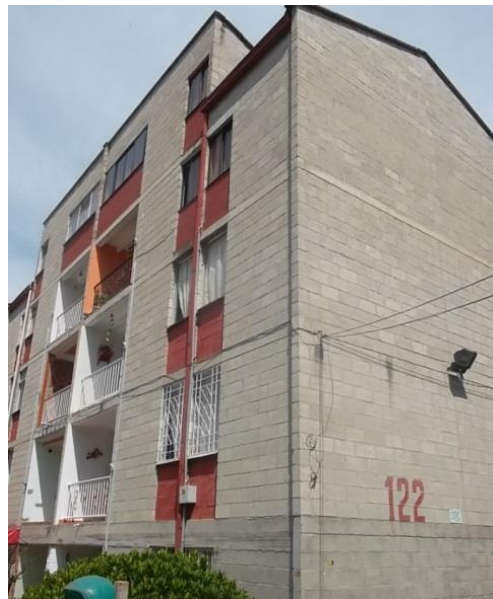


**Figura 1.8. Construcciones presentes en el municipio de Andes en la subregión del Suroeste [17]**

Las posibles razones de las prácticas constructivas deficientes o ineficaces que revelan las imágenes antes mostradas son la falta de educación o información en términos de riesgo sísmico de los habitantes, sus bajos recursos y su necesidad de vivienda. En el caso particular del área metropolitana del Valle de Aburrá, muchos de los barrios han ido creciendo a causa de los asentamientos informales de grupos de familias desplazadas de sus municipios de origen. Estas familias se ven obligadas a tomar territorios baldíos en las periferias de las ciudades y allí construyen sus viviendas sin tener la supervisión y/o asesoría de un experto.

Del inventario de edificaciones existentes en la actualidad en el departamento, son pocas las que tienen capacidad de comportarse adecuadamente durante la ocurrencia de un evento sísmico, esto se debe a los planteamientos antes propuestos y al poco tiempo de existencia de las normas sismo-resistentes del país. Desde la Figura 1.9 hasta la 1.13 se muestran algunas edificaciones, con los sistemas estructurales capaces de soportar la demanda sísmica esperada, que se pueden encontrar en el departamento de Antioquia.

Es evidente entonces la vulnerabilidad de una gran cantidad de las edificaciones del departamento de Antioquia y se hace necesario estimar las posibles zonas más afectadas durante la ocurrencia de un sismo y el costo de reposición de las construcciones para la preparación de planes de contingencia y reacción.



**Figura 1.9. Edificación en muros de mampostería estructural o reforzada**



**Figura 1.10. Edificación en muros de mampostería confinada**



**Figura 1.11. Edificación en pórticos de concreto reforzado**



**Figura 1.12. Edificación en muros de concreto reforzado**



**Figura 1.13. Edificación en sistema dual de muros y pórticos de concreto reforzado**

El riesgo sísmico no es un problema localizado sólo en Colombia. Como se muestra en la Figura 1.1, los sismos ocurren en muchos lugares del mundo. Es por esto que organizaciones de tipo privado, público y mixto, emplean sus recursos en la mitigación del riesgo sísmico, diseño de planes estratégicos post-temblor y desarrollo de modelos de riesgo sísmico lo más precisos posible. Es este último, el caso de *Global Earthquake Model Foundation* (GEM) organización de la que se expondrá a continuación.

### **1.3 GLOBAL EARTHQUAKE MODEL FOUNDATION (GEM)**

La *Global Earthquake Model Foundation*, GEM, tiene como misión “construir una mejor comprensión y conciencia pública del riesgo sísmico para generar un aumento en la capacidad de resiliencia de las comunidades ante los terremotos, además de generar modelos a través de la plataforma OpenQuake. También tiene la misión de aplicar las herramientas desarrolladas por la organización para informar acerca de la toma de decisiones para la mitigación y gestión de riesgos” [19].

OpenQuake es un software de fuente abierta que comprende la plataforma, el motor y una variedad de herramientas para la modelación del riesgo sísmico. También permite compartir y actualizar datos y nuevos hallazgos en el área del riesgo sísmico. Dicha herramienta está disponible desde principios del año 2015 y ofrece una plataforma de ambiente interactivo para modelar y visualizar el riesgo sísmico [19].

Gracias a la colaboración entre científicos y demás interesados, entre 2009 y 2013 GEM ha hecho contribuciones significativas en los campos de recolección de datos, modelación y estimación del riesgo sísmico a escala global, regional, nacional y local.

La mayoría de los recursos necesarios para el funcionamiento de GEM provienen de organizaciones de carácter público y privado que se han unido como patrocinadores. Dichos recursos son empleados en el presupuesto de las actividades programadas por la fundación. Dentro de estas actividades, se encuentra la generación de modelos de exposición y vulnerabilidad en diferentes países a nivel mundial, siendo uno de ellos Colombia, particularmente, el departamento de Antioquia. Es por esto que GEM destinó parte de sus recursos para financiar la totalidad de este trabajo y los resultados serán parte de la materia prima para la generación del modelo de riesgo sísmico global de la fundación.

En este trabajo se presenta el desarrollo del modelo de exposición para el departamento de Antioquia, el cual se realizó de modo que fuera compatible con la plataforma OpenQuake desarrollada por la fundación GEM. A continuación se indican los objetivos del presente trabajo y la manera como está estructurado el informe.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Generar un modelo de exposición para el departamento de Antioquia, Colombia.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar una metodología rápida y replicable para la generación de modelos de exposición sísmica.
- Recopilar la información disponible de las viviendas existentes en el departamento de Antioquia.
- Clasificar las viviendas del departamento de Antioquia según su sistema estructural y material de éste, número de pisos y estrato socioeconómico.
- Cuantificar el área construida en cada uno de los sistemas estructurales de uso residencial del departamento de Antioquia usando herramientas computacionales.
- Determinar los costos de reposición y comercial de las construcciones de uso residencial existentes en el departamento de Antioquia basándose en la información recolectada.

#### **1.5 ESTRUCTURA DEL TRABAJO**

El trabajo aquí presentado se divide en cuatro capítulos, siendo el primero la introducción, objetivos y demás generalidades del proyecto. En el segundo capítulo se expone la metodología desarrollada para la generación de modelos de exposición sísmica. En el tercero se aplica la metodología desarrollada para generar un modelo de exposición del departamento de Antioquia, la información recopilada y las asunciones realizadas, así como los resultados obtenidos de dicho modelo. Por último se exponen las conclusiones, recomendaciones y aplicaciones del modelo.



## **2. METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE MODELOS DE EXPOSICIÓN**

Los modelos de exposición son parte de la materia prima fundamental para la estimación del riesgo sísmico. Es por eso que se hace indispensable el desarrollo de metodologías que permita su generación de forma rápida y precisa.

Actualmente en la literatura existen pocas metodologías que permitan la generación de modelos de exposición sísmica. Una de ella es presentada por Velásquez et al. [14]. Los autores de dicha metodología proponen la utilización de una plataforma en línea con la que se pueden digitalizar más de mil elementos georreferenciados al día. Para ello es necesario el trabajo de varios profesionales entrenados y con conocimiento de la localidad para la cual se está generando el modelo de exposición.

La metodología propuesta en este trabajo permite la generación de un modelo de exposición de una ciudad completa en cuestión de días, dependiendo del tamaño de la ciudad y la información con la que se cuente. La precisión del modelo obtenido depende de que tan riguroso sea el profesional que aplica la metodología, pues debe realizar algunas suposiciones o llevar a cabo encuestas en campo para verificar ciertas propiedades de las edificaciones.

En este capítulo se presenta la metodología aplicada para la generación del modelo de exposición de las viviendas del departamento de Antioquia, se expone cual es la información requerida para la generación de un modelo de exposición de viviendas de cualquier localidad, las posibles formas de obtenerla y la manera en que ésta debe ser procesada para llegar al modelo de exposición en términos de áreas construidas. Al final del capítulo se presenta la información y los resultados del modelo de exposición de uno de los municipios de Antioquia para ejemplificar la metodología.

### **2.1 INFORMACIÓN REQUERIDA**

La información requerida para la generación de un modelo de exposición sísmica depende del tipo de modelo que se quiera generar, pues éste puede ser en términos de área construida o número de elementos expuestos, es decir, para el caso de modelos de viviendas, la cantidad de edificaciones destinadas a tal uso. La metodología usada en este trabajo para generar el modelo de exposición de las viviendas del departamento de Antioquia presenta como resultado área construida de las viviendas de cada municipio, por lo que la información requerida para su desarrollo es área en planta de las construcciones.

Además del área construida, es necesario tener el número de pisos, sistemas estructurales, nivel socioeconómico (necesario para la definición de costos) y localización geográfica. Debido a que el modelo generado en este trabajo es sólo de las viviendas del departamento, no se requiere el uso de las edificaciones, pues sólo se tendrán en cuenta aquellas usadas para tal fin.

## 2.2 CONSECUCCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Es posible que en algunos casos, gran parte de la información requerida para la generación del modelo de exposición de una ciudad se encuentre almacenada en las oficinas gubernamentales de ésta. Es por eso que se recomienda hacer solicitud de ella a la entidad encargada de administrarla, pues se puede ahorrar esfuerzo y tiempo en la generación o consecución de esta información. Es poco probable que exista algún tipo de información acerca de los sistemas estructurales de todas las edificaciones de la ciudad en las oficinas gubernamentales, pues ya se mencionó que aun después de la expedición de las normas sismoresistentes (CCCSR-84 [9], NSR-98 [6], NSR-10 [7]), en algunos casos las personas siguen construyendo sus viviendas sin tener en cuenta las normas, y por ende sin tramitar lo correspondiente a licencias de construcción y radicación de planos en las entidades gubernamentales y de control.

En caso de no encontrar una respuesta positiva a la solicitud de la información requerida en las oficinas gubernamentales, a continuación se presentan las posibles formas de obtenerla empleando sistemas de información geográfica (SIG) y algunas plataformas virtuales de uso libre.

### 2.2.1 Área construida

Los sistemas de información geográfica, SIG, permiten el procesamiento de imágenes satelitales de alta resolución, y de ellas es posible obtener, empleando alguna metodología sencilla, el área construida en planta de las edificaciones de una ciudad, pues es fácil identificar las zonas construidas y diferenciarlas de las zonas verdes. Se puede, incluso, diferenciar entre tipos de construcciones por su tamaño o forma, pues por lo general las viviendas o construcciones destinadas para tal fin, tiene formas regulares.

Una vez se tenga la imagen satelital en SIG, ésta debe ser georreferenciada. Existen extensiones en los sistemas de información geográfica que permiten importar imágenes desde *Google Earth*, *Google Maps* o *Bing Maps*, siendo la primera una herramienta de escritorio para la visualización de imágenes satelitales, y las demás, herramientas del mismo tipo, pero con plataformas virtuales. Si se utilizan dichas extensiones, las imágenes importadas estarán ya georreferenciadas, por lo que es recomendable tomarse el tiempo para investigar acerca de las herramientas apropiadas para el sistema de información que se esté usando y de esta manera ahorrar trabajo referenciando las imágenes.

Cualquier edición realizada sobre la imagen satelital, estará también georreferenciada, es decir que si se crean *shapes* (capas de sistemas de información geográfica), puntos, líneas y polígonos, estos tendrán coordenadas dentro del sistema de referencia geográfico en el que esté la imagen. Así, entonces, se pueden dibujar polígonos que contengan las áreas construidas de la ciudad. Éstos pueden ser tan detallados o discretos como se quiera, es decir, se pueden abarcar grandes zonas de construcciones o dibujar una por una cada construcción que se visualice en la imagen, lo que tomaría, por supuesto más tiempo y esfuerzo.

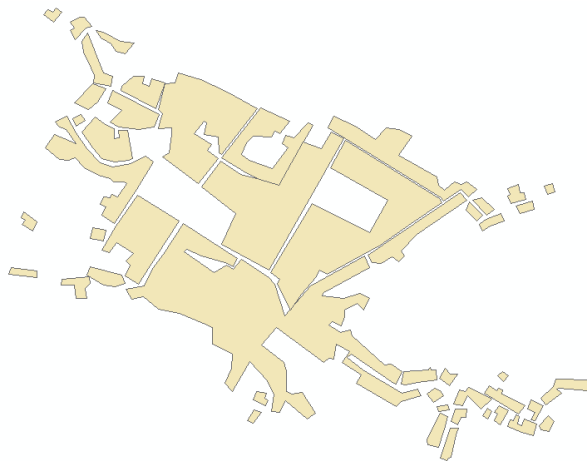
En este trabajo se optó por dibujar polígonos que abarcaran grandes zonas de construcciones y que tuvieran una distribución homogénea y uniforme, con el fin de hacer más rápido el proceso de obtención de áreas construidas en planta. Dichos polígonos

incluyeron áreas que realmente no están construidas, tales como calles, patios internos, solares, etc., a pesar de que se tuvo la precaución de incluir la menor cantidad posible de estas áreas dentro de los polígonos. En La Figura 2.1 se muestra el proceso de dibujo de los polígonos abarcando grandes zonas de uno de los municipios del departamento de Antioquia. En la Figura 2.2 se muestra el resultado final de la generación de los polígonos de áreas construidas del mismo municipio.

Se pueden presentar casos en los que las imágenes satelitales son de tan baja resolución que no permiten identificar las áreas construidas, pero es posible que se puedan descargar mapas de las vías de la localidad, escalarlas y georreferenciarlas. Apoyándose en fotografías aéreas o panorámicas es posible encontrar un aproximado del área construida. Las figuras 2.3 (a) y 2.3 (b) muestran un ejemplo de este tipo de casos.



**Figura 2.1. Proceso de generación de áreas construidas**



**Figura 2.2. Resultado final de la generación de áreas construidas de uno de los municipios de Antioquia**

Para corregir el error en el que se incurre al dibujar polígonos que incluyen zonas que realmente no están construidas, se debe encontrar un factor de reducción de áreas de

éstos. El factor propuesto en esta metodología se halla con una relación entre el área construida y el área total de los polígonos. Para ello se seleccionan uno o más polígonos que representen las diferentes zonas homogéneas de la ciudad, a los cuales se les encuentra el área que realmente está construida y ésta se divide por el área total del polígono, obteniendo un valor menor que la unidad para cada polígono seleccionado. En el caso de que se hayan seleccionado varios polígonos, se debe hacer un promedio ponderado entre los diferentes factores resultantes, asignándoles pesos con algún criterio. La Figura 2.4 muestra parte del proceso de obtención del factor de reducción de áreas de los polígonos para uno de los municipios de Antioquia. Los polígonos sin relleno y de borde negro constituyen las áreas homogéneas de zonas construidas y los polígonos sin borde y relleno blanco las áreas realmente construidas dentro de los anteriores.

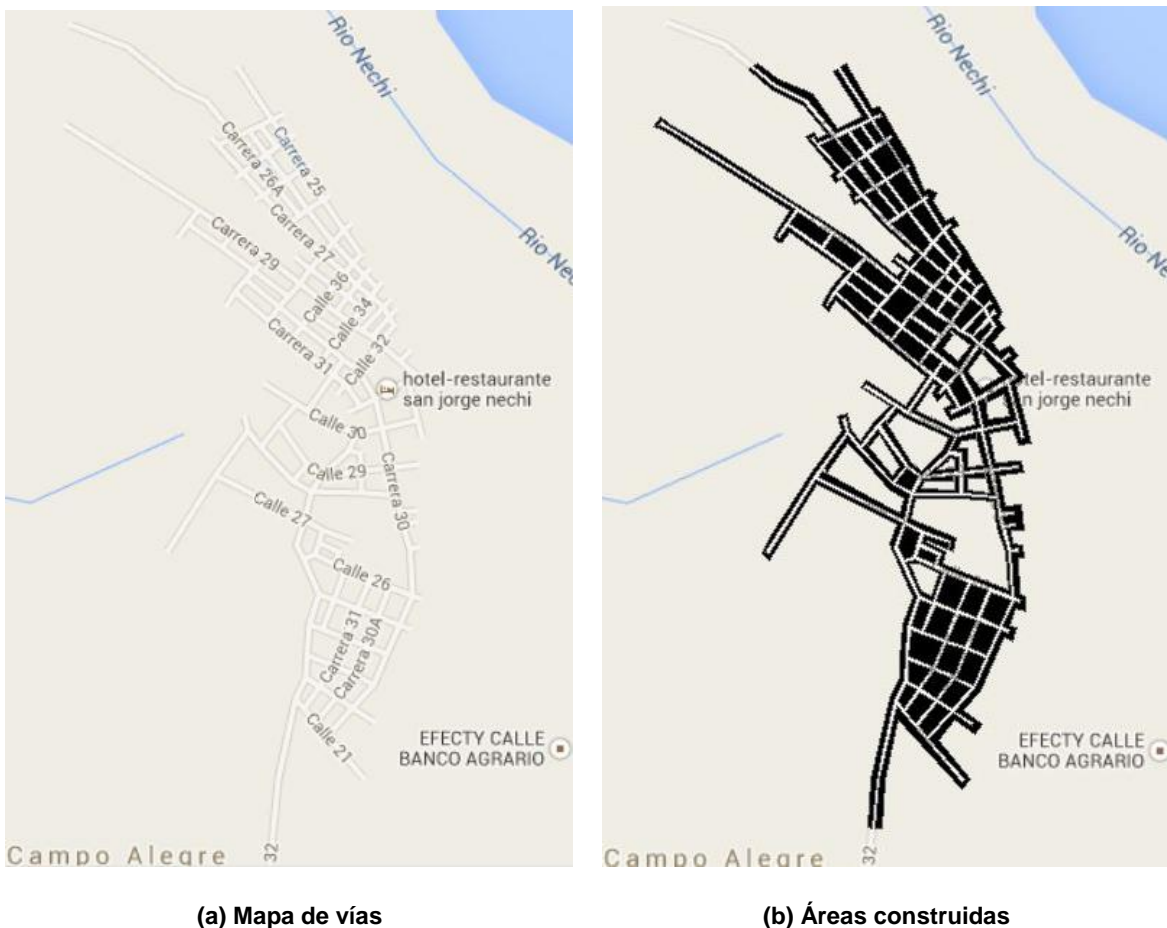


Figura 2.3. Obtención de áreas construidas en localidades sin imágenes satelitales de alta resolución

El factor de reducción obtenido de uno o de varios polígonos, es aplicado a todas las áreas de todos los polígonos del municipio o ciudad a la cual se le esté generando el modelo de exposición.



Figura 2.4. Forma de obtención del factor de reducción de áreas

### 2.2.2 Número de pisos

Para la realización del modelo de exposición sería ideal tener información tanto del área como del número de pisos de cada una de las construcciones de la ciudad; desafortunadamente, como se mencionó anteriormente, es probable que no se haya levantado esa información, pues se requiere una gran inversión de tiempo y dinero. Por lo anterior, en esta metodología se propone recolectar información suficiente para obtener una distribución porcentual del número de pisos de las edificaciones. La recolección de esta información se puede realizar mediante recorridos en campo, pero también se puede utilizar una herramienta virtual que permitirá ahorro de tiempo y dinero. Dicha herramienta es *Google Street View*. La empresa Google ha recorrido ya muchas ciudades del mundo tomando fotografías de sus vías y ha puesto toda esta información en su plataforma virtual para su consulta gratuita y desde cualquier lugar con acceso a internet.

Se propone entonces que se seleccionen algunas vías de la ciudad, tantas como se crea necesario para obtener una muestra representativa de las construcciones. Una vez seleccionadas las vías, se debe hacer un recorrido, ya sea virtual o en campo, tomando nota del número de pisos de cada una de las construcciones que se visualicen. Una vez se haya hecho el recorrido, se debe calcular el porcentaje de cada uno de los números de pisos con respecto al total de edificaciones contadas, y así obtener la distribución porcentual de números de pisos de la ciudad. La Figura 2.5 muestra un mapa de las vías seleccionadas para hacer recorridos virtuales en uno de los municipios del departamento de Antioquia. La Figura 2.6 muestra una de las edificaciones de ese municipio a la cual se le tomó el número de pisos.

En casos en los que no sea posible realizar los recorridos, se propone asignar una distribución de número de pisos de otra localidad, municipio o ciudad que tenga características similares. Es de anotar que el criterio del investigador es fundamental en el proceso de la obtención y asignación de las distribuciones porcentuales de números de pisos, pues éstas son derivadas de números de edificaciones, y se propone que sean

aplicadas a áreas construidas. Por lo tanto, es posible modificar las distribuciones obtenidas con esta metodología, según lo considerado por el investigador.



Figura 2.5. Vías seleccionadas para recorrido en uno de los municipios de Antioquia

En la Tabla 2.1 se muestra un ejemplo de la distribución de número de pisos de un municipio y su aplicación directa a un área construida en planta de 4 km<sup>2</sup>. La columna Área se refiere a la cantidad de área construida en planta de cada uno de los números de pisos, lo que quiere decir que si se multiplica cada una de estas áreas por el número de pisos, se obtendrá el área total construida del municipio.

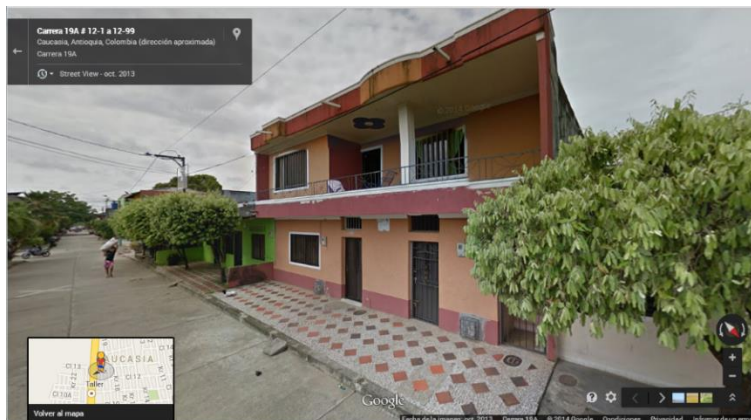


Figura 2.6. Recorrido virtual en uno de los municipios de Antioquia

Tabla 2.1. Distribución porcentual del número de pisos de uno de los municipios de Antioquia

Número de pisos	Número de edificaciones	Porcentaje	Área [m <sup>2</sup> ]
1	1,051	83.95	335,782,747
2	178	14.22	56,869,009
3	21	1.68	6,709,265
4	1	0.08	319,488
5	1	0.08	319,488
<b>Total</b>	<b>1,252</b>	<b>100.00</b>	<b>400,000,000.00</b>

### 2.2.3 Sistemas estructurales

Al igual que con el número de pisos, en esta metodología se propone definir una posible distribución de los sistemas estructurales de las viviendas que se encuentran en la localidad, municipio o ciudad para la cual se desarrolla el modelo de exposición. Esta distribución consiste en una matriz de porcentajes en la que el sistema estructural depende del número de pisos de la edificación, pues durante la realización de este trabajo, se llegó a la conclusión de que el sistema de resistencia de cargas sísmicas de una construcción, depende en gran parte del número de pisos de ésta. Otra variable que influye mucho en la selección del sistema estructural es el nivel socioeconómico de los habitantes de la vivienda, pues entre más poder adquisitivo tengan las personas que habitan un espacio, más seguro querrán que éste sea. Es por esto que si se posee información del nivel socioeconómico de las viviendas, ésta debe ser tomada en cuenta en la proposición de la distribución de los sistemas estructurales. La Tabla 2.2 muestra la distribución de sistemas estructurales propuesta para las edificaciones del tercer nivel socioeconómico de la ciudad de Medellín. Para la ciudad existen seis niveles socioeconómicos, siendo el primer nivel el de menor poder adquisitivo y el nivel seis el de mayor poder adquisitivo.

La matriz de distribución de sistemas estructurales propuestas por el investigador que desarrolla el modelo de exposición puede ser calibrada consultando a constructores, diseñadores estructurales, otros investigadores, cifras censales de vivienda y construcción, etc. y así hacer dicha distribución más confiable.

**Tabla 2.2. Distribución porcentual del sistema estructural según el número de pisos para las edificaciones de nivel socioeconómico 3 de la ciudad de Medellín**

Sistema estructural	Número de pisos											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	nov-20	>20
Muros de mampostería no reforzada	85	85	50	40	30	0	0	0	0	0	0	0
Muros de mampostería reforzada	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0
Muros de mampostería confinada	10	15	10	20	20	20	0	0	0	0	0	0
Pórticos de concreto reforzado	0	0	30	30	40	50	55	60	60	60	40	5
Muros de concreto reforzado	0	0	0	0	0	20	35	40	40	40	40	50
Sistemas duales de muros y pórticos de concreto reforzado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
Muros de tierra	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 2.2.4 Costos de reposición y comerciales

Lo que se busca con la generación de un modelo de exposición en últimas instancias es identificar las posibles pérdidas humanas y económicas que se presentarán debido a la ocurrencia de un sismo. Por tal razón es indispensable contar con los costos de la infraestructura expuesta.

Se define, para este trabajo, el costo de reposición como aquel que incluye los costos directos de construcción (sin tener en cuenta el lote o terreno, pues éste seguirá siendo el mismo en caso de reconstrucción o reparación luego del sismo), diseños, mano de obra y

administración; y los costos comerciales como el costo por metro cuadrado impuesto por la constructora a sus clientes para efectuar la transacción del inmueble.

Durante la ejecución de este trabajo se consultaron varias constructoras del departamento de Antioquia acerca de cuáles características determinan que tan costoso es construir o reparar una edificación. Se determinó que los costos de construcción de las edificaciones están altamente relacionados con el tipo de acabados de las unidades de vivienda, independientemente de que sistema estructural se use o el número de pisos de la edificación. El tipo de acabados que solicite un cliente a la constructora de su vivienda depende del poder adquisitivo de este, es decir, de su nivel socioeconómico. Es por esta razón que para el modelo de exposición del departamento de Antioquia, o al menos para los municipios del Valle de Aburrá (subregión en la que se concentra más del 50% de la población del departamento [8]), los costos de reposición y comerciales están en función del nivel socioeconómico de la edificación.

### **2.3 OBTENCIÓN DEL MODELO DE EXPOSICIÓN**

El modelo de exposición resultante de la aplicación de la metodología aquí descrita, es una cantidad de áreas separadas por sistema estructural, número de pisos y nivel socioeconómico.

Una vez se ha obtenido toda la información requerida para la ejecución del modelo de exposición (área construida en planta, distribución de número de pisos, distribución de sistemas estructurales, costos de reposición y/o comerciales) el desarrollo del modelo consiste en la realización de unas cuantas operaciones en una hoja de cálculo.

Se requiere exportar el área de cada uno de los polígonos, dibujados u obtenidos por cualquier otro medio, desde el SIG a un formato que se pueda leer en una hoja de cálculo. A cada una de estas áreas se le aplicarán las diferentes distribuciones de sistemas estructurales y número de pisos, y así se dividirá cada área de cada polígono en un número de áreas más pequeñas que depende de la cantidad de sistemas estructurales y de número de pisos que se consideren en el modelo.

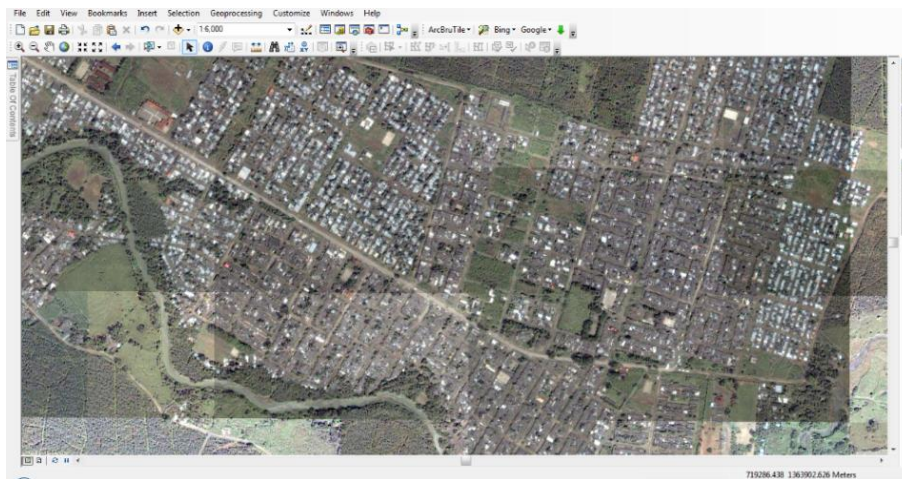
Si los polígonos fueron obtenidos usando la metodología propuesta en este trabajo, es decir, abarcando grandes áreas de zonas construidas, se debe aplicar el factor de reducción determinado como se indicó anteriormente a cada una de las áreas de los polígonos, antes de determinar el área de cada sistema estructural y cada número de pisos.

Para ilustrar el proceso de generación del modelo de exposición de una localidad, se presentan a continuación una serie de figuras y tablas con la información y resultados del modelo de exposición del municipio de Apartadó, el cual está localizado en la subregión de Urabá en el departamento de Antioquia.

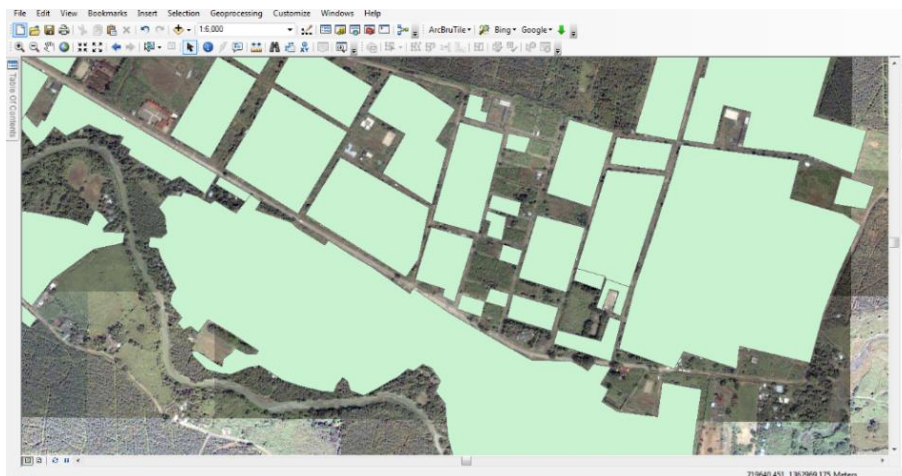
Para Apartadó no se encontró ninguno de los datos necesarios para la construcción del modelo de exposición. La única información existente de este municipio es el número de viviendas para el año 2005, el cual está reportado en el Censo General del mismo año [8].

La primera etapa del desarrollo del modelo consistió en la obtención del área construida en planta del municipio. Para ello se empleó la metodología antes descrita. Se utilizó entonces el software ArcGis 10.1. Las figuras 2.7 y 2.8 muestran parte de las zonas urbanas de Apartadó antes y después de dibujar los polígonos sobre éstas.

Luego se seleccionaron dos de los polígonos dibujados para así determinar el área realmente construida dentro de éstos y obtener el factor de reducción. La Figura 2.4, que para facilidad de lectura se presenta nuevamente como Figura 2.9, muestra los polígonos seleccionados. La Tabla 2.3 presenta los valores con los cuales se calculó dicho factor de reducción para el municipio bajo análisis. La columna *Relación* de la Tabla 2.3 indica la proporción existente entre el área construida dentro del polígono y el área total del polígono. Los porcentajes de ponderación representan la proporción en la que está presente cada zona homogénea de los polígonos en el municipio.



**Figura 2.7. Imagen satelital de las zonas urbanas de Apartadó**



**Figura 2.8. Polígonos de las zonas construidas del municipio de Apartadó**



**Figura 2.9. Forma de obtención del factor de reducción de áreas**

**Tabla 2.3. Factor de reducción de áreas para el municipio de Apartadó.**

Área del polígono [m <sup>2</sup> ]	Área construida [m <sup>2</sup> ]	Relación	Porcentaje de ponderación
23,693.93	8,797.00	0.37	61
27,011.07	16,412.93	0.61	39
<b>Factor de reducción</b>		<b>0.463</b>	

Para obtener la distribución porcentual de los números de pisos de las edificaciones de vivienda del municipio de Apartadó, se realizaron recorridos virtuales en algunas de las calles, y se contaron una a una las construcciones de cada uno de los números de pisos que se encontraron en los recorridos. La Tabla 2.4 muestra la cantidad de edificaciones de cada número de pisos y el porcentaje que representa esta cantidad con respecto al total de edificaciones contadas.

**Tabla 2.4. Número de edificaciones y distribución porcentual de cada número de pisos para el municipio de Apartadó**

Número de pisos	Cantidad	Porcentaje
1	1337	69.24
2	482	24.96
3	102	5.28
4	9	0.47
5	1	0.05
<b>Total</b>	<b>1931</b>	<b>100.00</b>

Durante los recorridos virtuales fue posible identificar los sistemas estructurales de algunas construcciones, lo que permitió generar una matriz de distribución de los sistemas de resistencia de carga sísmica para las viviendas del municipio. Se tuvo en cuenta también los datos reportados en el Censo General del 2005 [8]. La Tabla 2.5 muestra la matriz generada.

**Tabla 2.5. Matriz de distribución porcentual de sistemas estructurales para el municipio de Apartadó**

Sistema estructural	Número de pisos				
	1	2	3	4	5
Muros de mampostería no reforzada	65	70	70	30	30
Muros de mampostería confinada	20	15	15	20	20
Pórticos de concreto reforzado	0	15	15	50	50
Muros de madera	10	0	0	0	0
Muros de tierra	3	0	0	0	0
Placas de concreto prefabricado	2	0	0	0	0

No se contó con información del nivel socioeconómico de las viviendas de Apartadó, por lo que no fue posible tener la distribución de sistemas estructurales ni el costo de reposición en función de esta característica. Se tomó entonces un costo de reposición de 1,000,000.00 pesos colombianos (COP) y un costo comercial de 1,750,000 COP por metro cuadrado para todas las viviendas de este municipio, valores que fueron el resultado aproximado de los promedios de los valores dados por algunos constructores del departamento al ser consultados.

Se obtuvo entonces de los polígonos dibujados en ArcGis un área total de 2,703,617 m<sup>2</sup>. Siendo el factor de reducción de áreas igual a 0.463, el área realmente construida dentro de los polígonos es 1,251,774 m<sup>2</sup> y aplicando las distribuciones porcentuales de número de pisos y sistemas estructurales, se obtienen las áreas mostradas en la Tabla 2.6. Para llegar a estos valores es necesario multiplicar el área realmente construida de los polígonos por el porcentaje de cada uno de los números de pisos, el número de pisos y luego por el porcentaje correspondiente del sistema estructural.

Estos resultados pueden ser manipulados con ciertos criterios para obtener un modelo de exposición en términos de edificaciones o número de viviendas, según se requiera.

**Tabla 2.6. Áreas por sistema estructural y número de pisos del modelo de exposición del municipio de Apartadó**

Sistema estructural	Número de pisos				
	1	2	3	4	5
Muros de mampostería no reforzada	563,919	437,872	138,992	7,008	973
Muros de mampostería confinada	173,513	93,829	29,784	4,672	648
Pórticos de concreto reforzado	0	93,829	29,784	11,680	1,622
Muros de madera	86,756	0	0	0	0
Muros de tierra	26,027	0	0	0	0
Placas de concreto prefabricado	17,351	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>867,568</b>	<b>625,531</b>	<b>198,560</b>	<b>23,360</b>	<b>3,244</b>



### 3. MODELOS DE EXPOSICIÓN DE VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN, LA SUBREGIÓN DEL VALLE DE ABURRÁ Y EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

En este capítulo se presenta la aplicación de la metodología expuesta en el segundo capítulo de este trabajo para la generación de los modelos de exposición de la ciudad de Medellín, la subregión del Valle de Aburrá y el departamento de Antioquia, teniendo diferentes niveles de detalle en la información base de cada uno de los modelos. Se argumentan también las suposiciones hechas para obtener los modelos y se presentan los resultados en forma de tablas, gráficas y mapas.

#### 3.1 MODELO DE EXPOSICIÓN DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN

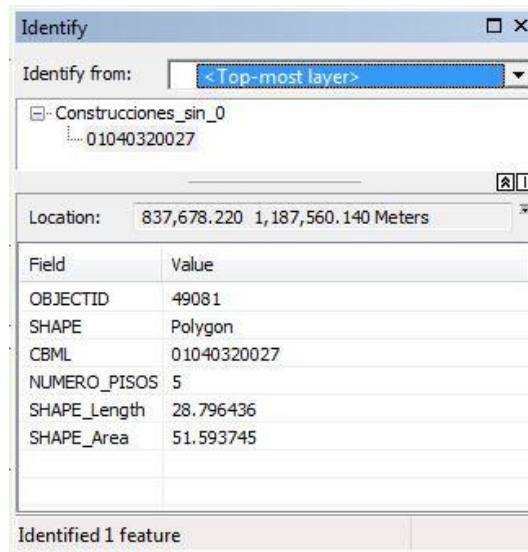
En la ciudad de Medellín se concentra cerca del 40% de la población del departamento de Antioquia [8], y por ende también la mayor parte de su infraestructura. Al ser la ciudad capital del departamento y la segunda más importante del país, cuenta con mayores recursos que los demás municipios de Antioquia, lo que le permite a sus entidades administrativas la ejecución de proyectos de gran envergadura, tales como el levantamiento de información georreferenciada relevante de las edificaciones de la ciudad.

##### 3.1.1 Información disponible

El departamento de Catastro de la Secretaría de Planeación de la ciudad de Medellín cuenta con un mapa en formato *shape* en el que se puede visualizar el polígono del área en planta de cada una de las construcciones de la ciudad (Se llamará a este mapa de aquí en adelante “Mapa 1”). La Figura 3.1 muestra algunos de los polígonos del Mapa 1. Cada uno de estos polígonos tiene asociado información de la edificación. La Figura 3.2 muestra dicha información para uno de los polígonos.



Figura 3.1. Polígonos de las construcciones de un sector de la ciudad de Medellín



**Figura 3.2. Información asociada a cada polígono de las construcciones de la ciudad de Medellín**

Como se ve en la Figura 3.2, del Mapa 1 se puede obtener el área y el número de pisos de cada edificación de la ciudad. El número que aparece como CBML sirve para identificar la comuna (Medellín se divide en 16 comunas y 5 corregimientos, estos últimos se denominarán comunas rurales en este trabajo) de la ciudad, el barrio en la comuna, la manzana en el barrio y el lote en la manzana donde se encuentra localizado el polígono.

Otro mapa en formato *shape* de la ciudad de Medellín que posee Catastro, es del nivel socioeconómico de cada manzana de la ciudad (de aquí en adelante se llamará “Mapa 2”), el cual, mediante una manipulación simple, permite identificar el nivel socioeconómico de cada construcción de la ciudad. La Figura 3.3 muestra parte del Mapa 2. Se puede identificar el nivel socioeconómico de cada manzana con el color. Al lado izquierdo de la imagen aparece su leyenda.



**Figura 3.3. Nivel socioeconómico de un sector de la ciudad de Medellín**

Debido a que el Mapa 1 sólo contiene los polígonos de las construcciones de la ciudad, no es necesario calcular factores de reducción de área para Medellín. A pesar de esto, y debido a que el modelo que se pretende obtener es de las edificaciones de vivienda, es necesario identificar cuáles de los polígonos no corresponden a este tipo de edificación. Para ello se realizó una inspección detallada del Mapa 1 y se identificaron los polígonos cuyas áreas eran claramente mayores a las de las edificaciones típicas de vivienda. Existían también en el Mapa 1 algunos polígonos cuyo número de pisos era cero, por lo que éstos no fueron considerados para la obtención del modelo de exposición.

Debido a que no se contó con información referente al sistema estructural de las edificaciones de vivienda de la ciudad, se propuso una matriz de distribución porcentual de esta característica en función del número de pisos y el nivel socioeconómico de las construcciones. La matriz fue propuesta por los investigadores que realizaron este trabajo y posteriormente calibrada según las opiniones de algunos diseñadores estructurales y constructores de la ciudad, con largo recorrido en el campo de la construcción.

Según la experiencia de los investigadores, la matriz debía involucra once tipos diferentes de sistemas estructurales, pues son estos los que existen en la ciudad. Se considera que si existiese algún otro sistema estructural, éste representa una proporción muy baja del total de las construcciones de vivienda de la ciudad. A cada uno de ellos se le asignó un código de letras mayúsculas. La Tabla 3.1 muestra los códigos empleados para representar los sistemas estructurales dentro de todo el trabajo.

**Tabla 3.1. Códigos de los sistemas estructurales presentes en la ciudad de Medellín**

<b>Sistema estructural</b>	<b>Código</b>
Muros de mampostería simple	WMNR
Muros de mampostería reforzada	WMR
Muros de mampostería confinada	WMC
Pórticos no dúctiles de concreto	FCRND
Pórticos dúctiles de concreto	FCRD
Muros de concreto reforzado	WCR
Sistema dual de muros y pórticos de concreto reforzado	SD
Muros de madera	WW
Muros de tierra	WE
Muros de placas de concreto prefabricado	PC
Otros sistemas	O

El resultado final de la matriz de distribución de sistemas estructurales para el modelo de exposición de la ciudad de Medellín consta de seis sub-matrices, una por cada nivel socioeconómico. La Tabla 3.2 muestra el porcentaje de cada uno de los sistemas estructurales según el número de pisos y el nivel socioeconómico de la edificación.

En el porcentaje del sistema estructural clasificado como otros sistemas se encuentran las viviendas construidas con materiales inadecuados para la construcción, tales como latas, cartón, tablas de madera en mal estado, etc.

**Tabla 3.2. Matriz de distribución porcentual de sistemas estructurales de la ciudad de Medellín**

Nivel socioeconómico	Sistema estructural	Número de pisos											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-20	>20
1	WMNR	95	90	80	65	65	65	0	0	0	0	0	0
	WMC	0	10	10	20	20	20	15	0	0	0	0	0
	FCR	0	0	10	15	15	15	50	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	0	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
	O	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	WMNR	85	90	80	65	65	65	0	0	0	0	0	0
	WMC	7	10	10	20	20	20	15	0	0	0	0	0
	FCR	0	0	10	15	15	15	50	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	0	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
	WW	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WE	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	WMNR	85	85	50	40	30	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0
	WMC	10	15	10	20	20	20	0	0	0	0	0	0
	FCR	0	0	30	30	40	50	55	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	20	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
WE	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	WMNR	75	80	50	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	10	10	10	15	30	10	10	0	0	0	0	0
	WMC	10	10	10	20	20	20	0	0	0	0	0	0
	FCR	0	0	30	50	50	50	50	50	50	50	40	0
	WCR	0	0	0	0	0	20	40	50	50	50	40	60
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	40
WE	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	WMNR	55	50	30	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	15	15	15	15	15	20	0	0	0	0	0	0
	WMC	20	15	15	15	10	0	0	0	0	0	0	0
	FCR	10	20	40	55	65	65	70	70	70	70	50	0
	WCR	0	0	0	0	10	15	30	30	30	30	20	50
SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50	
6	WMNR	20	20	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	20	20	20	15	15	10	0	0	0	0	0	0
	WMC	40	20	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FCR	20	40	50	65	65	70	70	70	70	70	50	0
	WCR	0	0	0	20	20	20	30	30	30	30	20	50
SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50	

El costo de reposición por metro cuadrado de las edificaciones de vivienda de la ciudad de Medellín fue consultado a algunas constructoras de la ciudad. Éstas estuvieron de acuerdo en que el costo de construcción de viviendas está altamente relacionado con el nivel socioeconómico del lugar de construcción, pues entre mayor sea el poder adquisitivo de los clientes, los acabados solicitados para su vivienda serán más costosos, y son precisamente estos acabados los que determinan en un alto porcentaje el costo de

construcción de las viviendas. En la Tabla 3.3 se presentan los valores promedios de reposición y comerciales propuestos por los constructores de la ciudad de Medellín y los investigadores que realizaron este trabajo.

**Tabla 3.3. Valores de reposición y comerciales para la ciudad de Medellín**

Nivel socioeconómico	Valor de reposición por m <sup>2</sup> [COP]	Valor de comercial por m <sup>2</sup> [COP]
1	500,000	1,750,000
2	500,000	1,750,000
3	740,000	1,750,000
4	1,150,000	2,750,000
5	1,450,000	3,500,000
6	1,750,000	4,400,000

### 3.1.2 Manipulación de la información

A pesar de que la información que se encontró para la ciudad de Medellín no es del todo precisa ni de la mejor calidad, es posible obtener, mediante el procesamiento adecuado de ésta, un modelo de exposición bastante acercado a la realidad.

Como ya se mostró en la Figura 3.2, cada polígono del Mapa 1 tiene una tabla con su área y su número de pisos, y una vez asociados el Mapa 1 y el Mapa 2, los polígonos tendrán en esta tabla también el nivel socioeconómico. Esta información se puede exportar a un archivo en formato .csv, el cual es de fácil lectura y edición utilizando Excel. En la Tabla 3.4 se muestra una pequeña parte de los datos que se pueden exportar desde ArcGis de la combinación del Mapa 1 y el Mapa 2.

Con los códigos que aparecen en los datos obtenidos de ArcGis, es fácil separar la información por comunas, barrios e incluso manzanas. Debido a la cantidad de datos que contiene el archivo exportado, se hace difícil manipularlos en un computador de escritorio convencional, por lo que fue necesario dividir esta información. Se separaron los datos de cada comuna, por lo que resultó un archivo de Excel, y por ende un modelo de exposición para cada comuna.

Para el modelo de exposición se requiere el área total construida, lo que se obtiene de una forma muy sencilla teniendo los datos mostrados en la Tabla 3.4 en una hoja de Excel, multiplicando el área de cada polígono por su correspondiente número de pisos. Se requiere también conocer la cantidad de metros cuadrados en cada sistema estructural y por cada número de pisos. Esto se puede calcular de forma fácil aplicando algunos condicionales en la hoja de Excel, que dependan del número de pisos y el nivel socioeconómico asociado a cada polígono. Así pues, un polígono cuya área sea de 100 m<sup>2</sup>, su número de pisos sea cuatro y su nivel socioeconómico sea tres, según la Tabla 3.2 tiene una probabilidad de 40% de que sea de mampostería no reforzada, por lo que para este modelo de exposición se toman 40 m<sup>2</sup> en planta de ese polígono como edificación de mampostería no reforzada de 4 pisos. Lo que indica que sólo de ese polígono se obtienen 160 m<sup>2</sup> de mampostería no reforzada.

**Tabla 3.4. Muestra de los datos exportados desde ArcGis de cada uno de los polígonos de las construcciones de Medellín**

Objectid	Código barrio	COBAMA	Predio	Número pisos	Nivel socioeconómico	Shape length	Shape area
1507	102	102004	2	2	1	105.56	328.03
1550	102	102004	1	1	1	93.66	306.79
1676	102	102042	55	3	1	83.31	274.94
1680	102	102042	55	2	1	81.55	245.39
1192	102	102042	6	2	1	69.30	227.26
2013	102	102024	1	2	1	79.03	221.23
1333	102	102042	3	2	1	66.40	212.26
2262	102	102016	70	2	1	83.38	185.84
85	102	102016	12	1	1	69.20	175.07
2265	102	102016	70	1	1	125.36	170.47
1685	102	102042	55	1	1	102.52	164.43
791	102	102008	28	1	1	90.19	157.36
1163	102	102042	6	2	1	56.08	148.37
1076	102	102042	6	1	1	79.94	147.24
256	102	102006	8	1	1	65.40	145.07
1073	102	102042	8	2	1	60.09	142.79
2264	102	102016	70	1	1	58.75	142.67
1397	102	102042	1	1	1	64.52	140.41
1674	102	102042	55	1	1	69.70	125.74
1071	102	102005	8	1	2	44.16	121.87
1687	102	102042	55	3	1	61.78	121.11
2586	102	102005	8	2	2	44.74	120.28
2358	102	102008	95	1	1	45.81	119.98

Debido a que los resultados para cada comuna son muchos, pues se dividen por sistema estructural, número de pisos, nivel socioeconómico y barrio, en la Tabla 3.5 se muestra sólo una parte de éstos para la comuna 11. Debido a la distribución de sistemas estructurales y para el número de pisos de edificaciones mostrados en la tabla, sólo se presenta área construida en el barrio 1 de la comuna 11 en los sistemas estructurales mostrados en ésta.

**Tabla 3.5. Parte de los resultados en términos de áreas [m<sup>2</sup>] por sistema estructural, número de pisos y nivel socioeconómico para el barrio 1 de la comuna 11 de la ciudad de Medellín**

Barrio		1	1	1	1	1
Nivel socioeconómico		3	3	3	4	4
Número de pisos		1	2	3	1	2
Sistemas est.	WMNR	3,177	281	13	22,156	24,980
	WMR	0	0	2	2,954	3,122
	WMC	373	49	2	2,954	3,122
	WE	186	0	0	1,477	0

Cada una de las áreas mostradas en la Tabla 3.5 tiene asociado un costo de reposición y un costo comercial que depende del nivel socioeconómico de la construcción. En la Tabla

3.6 se presentan los valores de reposición de las áreas mostradas en la Tabla 3.5 y en la Tabla 3.7 se presentan los valores comerciales para estas mismas áreas.

**Tabla 3.6. Valores de reposición [millones de pesos (MLL COP)] para parte de las áreas del barrio 1 de la comuna 11 de la ciudad de Medellín**

Barrio		1	1	1	1	1
Nivel socioeconómico		3	3	3	4	4
Número de pisos		1	2	3	1	2
Sistemas estr.	WMNR	2,351	208	10	25,480	28,727
	WMR	0	0	2	3,397	3,590
	WMC	276	36	2	3,397	3,590
	WE	138	0	0	1,698	0

**Tabla 3.7. Valores comerciales [MLL COP] para parte de las áreas del barrio 1 de la comuna 11 de la ciudad de Medellín**

Barrio		1	1	1	1	1
Nivel socioeconómico		3	3	3	4	4
Número de pisos		1	2	3	1	2
Sistemas estr.	WMNR	5,560	493	23	60,930	68,695
	WMR	0	0	5	8,124	8,586
	WMC	654	87	5	8,124	8,586
	WE	327	0	0	4,062	0

Los resultados de cada una de las comunas pueden ser manipulados de la forma que se desee para obtener un modelo de exposición consolidado o expandido de la ciudad, según las necesidades de cada investigador. Para el caso de este trabajo, se generó un modelo de exposición que contiene las áreas de cada sistema estructural en cada uno de los barrios de Medellín (350 barrios en total). Este modelo contiene también la población, las coordenadas geográficas del centroide geométrico del lugar y el costo total de reposición y comercial de la infraestructura de vivienda de cada barrio.

### 3.1.3 Resultados del modelo de exposición de la ciudad de Medellín

Se obtuvo entonces que el costo de reposición total de la infraestructura de vivienda de la ciudad de Medellín es 77,202,741 MLL COP, y un costo comercial de 198,012,414 MLL COP lo que corresponde a un total de 79.32 km<sup>2</sup> de área construida. En la Tabla 3.8 se muestran estos valores separados por sistema estructural. La Figura 3.4 muestra una imagen del archivo del modelo de exposición de la ciudad de Medellín. En el ANEXO A se muestran los resultados expandidos del modelos de exposición.

Los valores de reposición asociados al sistema estructural denominado *Otros sistemas* corresponden a lo que cuesta construir tal cantidad de metros cuadrados en un sistema estructural acorde con la normatividad sismo resistente, pues no tiene sentido reponer estas viviendas con construcciones igual de vulnerables que las existentes. Se asume lo

mismo para las viviendas cuyos sistemas estructurales sean igual o más vulnerable que éste.

**Tabla 3.8. Área construida [m<sup>2</sup>] y costo de reposición [MLL COP] y costo comercial de cada uno de los sistemas estructurales de la ciudad de Medellín**

Sistema estructural	Área	Costo de reposición	Costo comercial
WMNR	41,041,373	31,320,903	84,392,331
WMR	4,536,127	5,532,481	13,392,099
WMC	8,150,793	7,678,107	19,558,504
FCRND	7,851,509	8,831,934	21,729,336
FCRD	8,974,665	12,164,038	29,957,118
WCR	5,268,568	7,146,261	17,601,299
SD	2,779,238	4,017,576	9,962,362
WW	112,508	56,254	196,890
WE	435,056	368,256	918,215
PC	112,508	56,254	196,890
O	61,354	30,677	107,369
<b>Total</b>	<b>79,323,699</b>	<b>77,202,741</b>	<b>198,012,414</b>

OBJECT	#Barrio	Codigo	Nombre_Barrio	POINT_X	POINT_Y	AreaConst	Poblacion	WMNR	WMR	WMC	PCRNE	PCREL	VCR	SD	VW	VE	PC	O	Valor de reposición	Valor comercial
1	1	601	Tocancá	902046.36	9084	18377.34	4026.00	18769.66	13394.38	3546.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	239.85	396.02
2	1	602	Doce de Octubre N	832792.87	188420.39	235427.84	2338	256802.52	0.00	29098.42	6873.63	1677.36	0.00	0.00	1774.20	182.80	1774.20	20.01	\$ 145,623,193,261.29	\$ 52,883,717,414.01
3	1	603	Santander	924323.76	188427.59	31866.21	20308	283837.22	0.00	38774.77	12725.94	2386.36	0.00	0.00	1650.72	3008.40	1650.72	0.00	\$ 95,503,303,027.28	\$ 44,200,890,360.41
4	1	604	Santo Domingo S	837701.04	188316.01	382774.73	2498	327661.68	252.87	346394.15	9574.01	2421.40	0.00	0.00	2324.87	8050.48	2324.87	1268.70	\$ 183,300,280,781.41	\$ 688,805,858,625.64
5	2	605	Santo Domingo S	838859.69	188369.89	120040.46	9588	106800.83	0.00	80023.87	1708.77	424.44	0.00	0.00	432.51	288.41	432.51	1970.54	\$ 60,850,232,087.80	\$ 26,178,802,740.84
6	4	606	La Frontera	826384.63	188326.66	129442.68	5456	100520.38	117.89	13806.70	6102.27	8227.24	0.00	0.00	919.60	458.95	919.60	61.82	\$ 45,183,174,008.86	\$ 226,274,852,009.97
7	4	607	Federal	834453.91	188748.59	540887.59	27401	350683.78	28788.08	640807.31	83476.95	17368.79	0.00	0.00	25.29	2056.90	25.29	0.00	\$ 398,074,448,781.00	\$ 345,953,290,522.81
8	6	608	Tirol de Nochebueno	830305.49	188265.65	137774.05	4956	103844.30	0.00	14844.30	2334.33	608.93	0.00	0.00	69.32	63.94	69.32	1684.43	\$ 68,887,608,042.00	\$ 23,184,994,144.21
9	3	609	Graniza	837433.81	188760.22	206838.10	12395	175289.84	0.00	11957.26	6677.34	8649.23	0.00	0.00	726.45	484.30	726.45	547.76	\$ 103,034,583,537.96	\$ 380,631,863,327.87
10	3	610	Doce de Octubre N	830894.42	188710.89	306894.68	18523	302084.83	502.87	309416.65	6838.27	2704.59	0.00	0.00	1032.21	1685.15	1032.21	0.00	\$ 86,704,798,088.18	\$ 461,897,133,887.29
11	6	611	Llanitas	838842.27	188456.61	89884.27	6461	82881.54	0.00	5997.13	603.62	603.88	0.00	0.00	6.39	10.79	6.39	15.19	\$ 2780.01	\$ 67,172,468,964.60
12	12	612	Palenque	830272.87	188391.51	225795.85	18020	10226.62	2441.00	24476.91	30468.60	20003.49	7938.06	2389.61	0.00	1441.47	0.00	0.00	\$ 23,002,024,746.89	\$ 807,189,226,442.42
13	13	613	Polobondo	827016.28	188573.21	29587.84	4818	14856.52	8989.94	28377.21	3130.46	8407.29	8066.20	8897.78	561.98	8898.88	803.19	0.00	\$ 85,480,914,749.42	\$ 47,178,370,236.82
14	14	614	Braisilla	839573.07	188795.95	39818.68	12486	224627.01	1898.87	38346.84	23804.71	7615.94	72.14	0.00	514.8	2386.23	514.8	0.00	\$ 213,880,186,783.25	\$ 543,822,184,743.22
15	15	615	Enrique	830829.23	188529.43	87820.23	4300	82262.81	19954.44	43268.62	43268.62	22868.19	8698.14	1881.82	63.98	162.91	63.98	0.00	\$ 240,232,244,810.87	\$ 602,028,881,889.02
16	15	616	San Pedro	836842.85	188486.23	207804.72	4410	167838.34	3881.41	2618.15	1062.42	6289.71	2338.28	1861.45	182.23	2338.28	182.23	0.00	\$ 128,411,181,491.45	\$ 363,153,253,396.48
17	7	617	San Pablo	826387.46	188438.89	98244.67	2538	183471.81	7071.76	2394.19	8082.78	8384.42	10788.49	2986.86	1.04	2388.29	1.04	0.00	\$ 466,800,270,786.32	\$ 246,375,870,558.88
18	18	618	Estación Villa	83051.93	188748.77	186271.93	9382	178581.20	8832.91	28803.69	20473.19	10118.6	4195.87	115.97	0.00	2648.23	0.00	0.00	\$ 141,096,396,984.51	\$ 322,678,137,600.87
19	3	619	Jesús Nazareno	835089.87	1884216.01	302778.78	2740	84086.81	12077.88	36397.73	29804.41	2394.68	1094.62	1300.64	0.00	2423.05	0.00	0.00	\$ 238,846,693,911.91	\$ 546,688,238,878.82
20	6	620	San Benito	834454.87	188386.61	81233.78	1774	82007.79	10227.29	63396.24	87878.47	73231.40	41445.00	1882.41	0.00	3638.87	0.00	0.00	\$ 493,877,181,861.85	\$ 372,925,024,141.27
21	20	621	El Verdadero	831988	188588.6	340308.12	8532	130661.38	48579.28	47938.13	87683.05	37882.74	3428.57	3239.13	0.00	296.83	0.00	0.00	\$ 481,675,984,887.86	\$ 1,918,811,237,164.59
22	19	622	La Cañadeta	832898.11	188202.22	895202.63	3008	32984.95	62553.97	102457.74	180288.69	390177.79	49400.00	32287.07	0.71	5772.24	0.71	0.00	\$ 1380,270,332,594.8	\$ 4,056,143,890,396.00
23	24	623	Corazón de Jesús	834020.88	188198	220234.01	881	14836.32	25445.73	25446.26	2334.68	10709.19	1970.76	0.00	3523.45	0.00	0.00	0.00	\$ 282,443,183,784.54	\$ 627,843,238,444.23
24	24	624	Florencia Nueva	832499.4	188270.8	221482.89	4482	184233.25	39954.71	35889.74	58225.48	24785.73	4488.43	0.00	574.90	0.00	0.00	0.00	\$ 433,386,303,827.25	\$ 1,042,030,880,761.91
25	24	625	Alfonso	836958.68	188444.2	285858.62	7633	43797.43	30956.07	30735.43	60000.87	47904.30	34668.19	1877.62	0.00	5348.85	0.00	0.00	\$ 301,645,958,968.41	\$ 721,797,787.25
26	24	626	Berminal - Los Alai	835404.01	188528.23	18407.89	7645	13861.45	0.00	17878.69	6262.11	2586.00	0.00	0.00	686.45	457.64	686.45	236.00	\$ 82,078,595,488.45	\$ 287,278,863,263.07
27	28	627	Bosques de San P	838822.88	188586.61	137816.83	3884	88297.73	8832.93	11332.64	28713.02	7638.38	3397.23	0.00	0.00	927.94	0.00	0.00	\$ 86,670,295,953.03	\$ 372,624,871,178.88
28	29	628	El Progreso	834885.59	188607.23	285281.83	8008	167613.51	22738.63	39578.04	24784.89	1422.42	4888.08	3084.41	0.00	4497.74	0.00	0.00	\$ 258,872,178,936.28	\$ 611,899,382,286.65
29	31	629	Moravia	829522.6	188582.2	208289.87	7952	38595.91	6271.00	2300.65	7895.62	2022.74	0.00	0.00	1884.42	920.01	1884.42	0.00	\$ 103,754,880,809.01	\$ 393,624,980,939.61
30	32	630	Moravia	838713.14	188294.6	403221.81	48851	338879.85	0.00	4280.19	2080.13	8625.19	0.00	0.00	588.22	608.48	588.22	872.34	\$ 200,830,883,831	\$ 708,638,862,872.63
31	32	631	El Chaparral	834716.27	188456.2	284476.89	4461	50871.88	2471.41	1802.86	8482.88	17897.83	62227.37	43864.80	0.00	2789.88	0.00	0.00	\$ 87,162,230,388.89	\$ 468,322,977,386.89
32	34	632	Carlos E. Restrepo	838839.89	188588.7	241786.40	1597	7704.42	34063.10	36818.06	56891.05	47933.28	32898.08	3875.65	0.00	864.00	0.00	0.00	\$ 340,292,883,577.76	\$ 813,263,683,858.85
33	34	633	Los Colores	832444.28	188488.2	896590.70	10383	13044.62	82784.16	61253.77	108830.76	107893.83	88889.38	38974.78	0.00	910.82	0.00	0.00	\$ 788,881,824,898.16	\$ 1,848,228,274,802.22
34	35	634	Caribe	834480.89	188588.7	49871.84	841	88048.85	1785.68	3207.78	18892.26	5048.34	94.71	0.00	111.07	4528.20	21.97	0.00	\$ 184,598,888,818.8	\$ 438,324,880,622.96
35	37	635	Cuarta Brigada	832700.10	188422.1	388722.85	7310	88784.30	3078.29	28887.85	34043.24	83484.79	93285.95	48853.44	0.00	2798.59	0.00	0.00	\$ 444,710,050,126.73	\$ 1,063,487,298,959.01
36	38	636	Centro El Volador	832580	188504.7	74464.11	1629	82789.23	1715.84	3041.60	4827.29	2003.95	0.00	0.00	27.00	1011.65	27.00	0.00	\$ 52,823,800,278.07	\$ 131,855,822,622.70
37	44	637	Florencia	838612.1	188797	257840.63	14888	173881.40	18844.86	31700.83	38885.49	7223.27	0.00	0.00	5.00	1888.56	5.00	0.00	\$ 180,228,471,281.63	\$ 451,221,803,877.27
38	45	638	Las Brisas	835732.89	188870.2	188884.88	3881	12782.43	18883.33	22774.14	8888.83	0.00	0.00	184.02	1888.15	184.02	0.00	\$ 184,888,888.88	\$ 340,888,888.88	
39	47	639	La Esperanza	834887.63	188780.1	838888.62	20386	188888.62	188888.62	188888.62	188888.62	188888.62	188888.62	188888.62	188888.62	188888.62	188888.62	188888.62	\$ 388,888,888.88	\$ 888,888,888.88
40	47	640	Santa Cruz	838888.62	188888.62	238888.62	12777	20000.17	0.00	22888.88	9076.64	2038.34	0.00	0.00	1070.82	718.88	1070.82	4888.88	\$ 180,244,872,243.01	\$ 411,887,482,200.88
41	48	641	Moravia N	838888.																

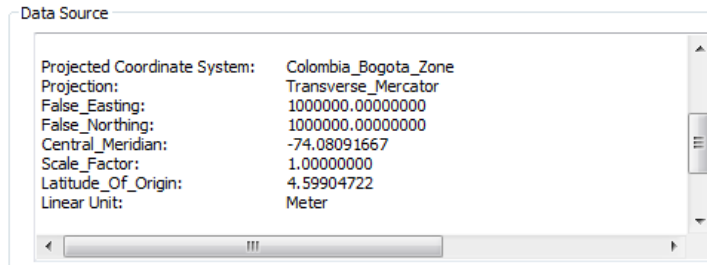


Figura 3.5. Características del sistema de coordenadas *Colombia\_Bogotá\_Zone*

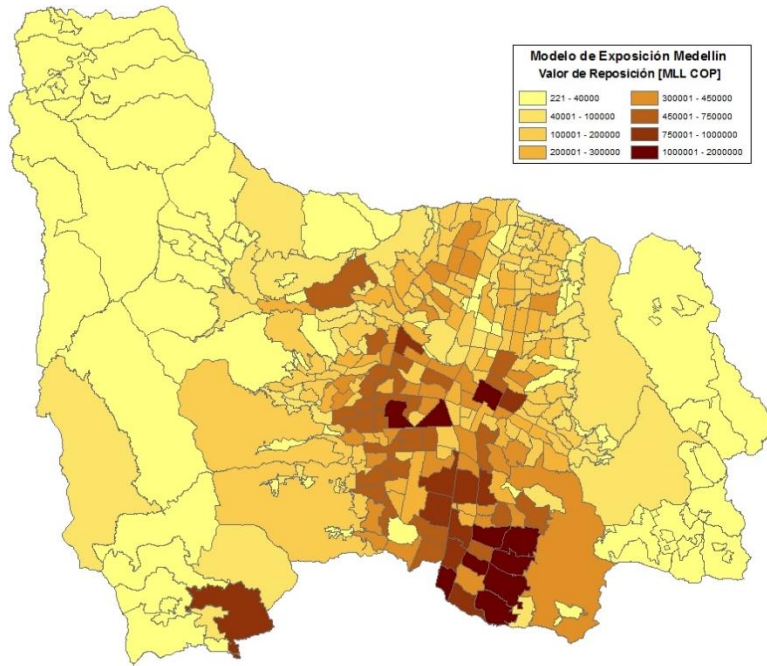


Figura 3.6. Costo de reposición por barrios de la ciudad de Medellín

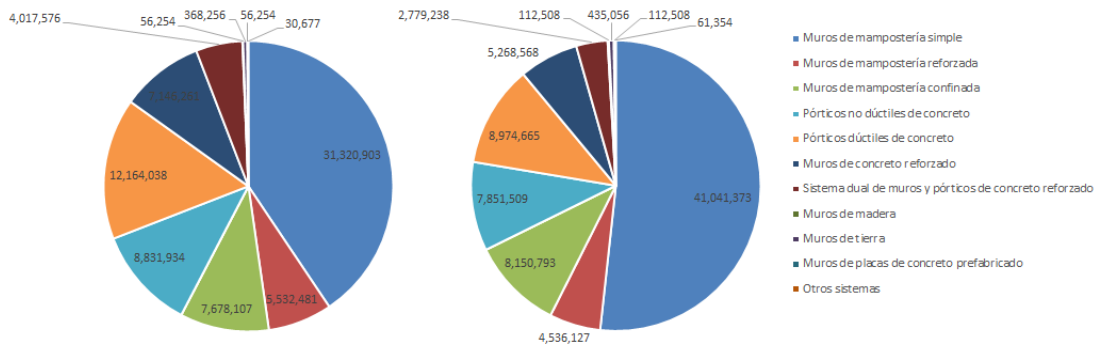


Figura 3.7. Resultados de valor de reposición [MLL COP] (izquierda) y área construida [m<sup>2</sup>] (derecha) para cada sistema estructural para la ciudad de Medellín

### 3.1.4 Comparación de los resultados con trabajos previos

Estos resultados fueron comparados con los obtenidos por otros autores en trabajos previos, con el objetivo de verificar la veracidad de los obtenidos en éste, pero nunca con el fin de llegar a los mismos.

En el trabajo realizado por Salgado et al. en el año 2013 [20] se reporta que la ciudad de Medellín tiene 241,876 edificios en sus 16 comunas urbanas. El DANE en Las Encuestas de Calidad de Vida realizadas en el año 2011 [2] reporta un total de 712,667 viviendas en las 16 comunas urbanas y las 5 rurales.

Para poder comparar los resultados de este trabajo con los expuestos por Salgado et al. [20] y el DANE [2] fue necesario proponer un área promedio de vivienda y un número promedio de viviendas por edificio para cada sistema estructural, y así determinar el número total de viviendas y de edificios obtenidos en el modelo de exposición de este trabajo. Tales valores propuestos se presentan en la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9. Número de viviendas por edificio y área por metro cuadrado para cada sistema estructural en la ciudad de Medellín**

Sistema estructural	Número de viviendas por edificio	Área por vivienda
WMNR	2	120
WMR	3	150
WMC	3	150
FCRND	7	120
FCRD	7	120
WCR	7	120
SD	7	120
WW	1	70
WE	1	70
PC	1	70
O	1	70

Se tiene entonces que el número de viviendas para la ciudad de Medellín (incluyendo las 5 comunas rurales) según los resultados del modelo de exposición de este trabajo es 644,180 y el número de edificaciones considerando sólo la zona urbana es 270,412. Comparado con los resultados presentados en los trabajos ya mencionados, los autores de este trabajo consideran que los resultados del modelo son bastante aceptables teniendo en cuenta que los valores propuestos para número de viviendas por edificio y área por vivienda según el sistema estructural, son aproximados y no se pretendió ajustarlos para obtener un resultado próximo a los obtenidos por los demás autores.

## 3.2 MODELO DE EXPOSICIÓN DEL VALLE DE ABURRÁ

El Valle de Aburrá es una de las nueve subregiones del departamento de Antioquia. Está compuesta por diez municipios (incluyendo la ciudad de Medellín), los cuales

constituyen el área metropolitana del departamento. En ellos se concentra cerca del 60% del total de la población del departamento, lo que convierte al Valle de Aburrá en la subregión más importante del departamento.

A pesar de que la ciudad de Medellín hace parte de la subregión del Valle de Aburrá, no se empleó la misma metodología planteada en este numeral para la generación del modelo de exposición de esta ciudad ya que para Medellín se contó con información más detallada en cuanto a área en planta construida y número de pisos de las edificaciones, tal como se vio en el numeral 3.1.

### 3.2.1 Información disponible

En el año 2007 se presentó el informe de la Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La estrella, Caldas y Envigado [1], trabajo en el cual se realizó la evaluación de la Vulnerabilidad y el Riesgo Sísmico de todos los municipios pertenecientes al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, es decir, además de los municipios nombrados anteriormente, se incluyeron los municipios de Itagüí, Bello y Medellín. Para ello se realizó una estimación de la infraestructura expuesta en cada municipio. Esto se llevó a cabo mediante la identificación de zonas homogéneas, analizando fotografías aéreas. En cada uno de los municipios se realizaron encuestas en algunas manzanas seleccionadas estratégicamente, con el objetivo de estimar distribuciones porcentuales de número de pisos, sistemas estructurales, uso y nivel socioeconómico de cada zona homogénea.

Las zonas homogéneas fueron definidas en términos del número de pisos predominante en cada una de ellas. La Tabla 3.10 muestra ese número de pisos predominante para cada una de las zonas homogéneas definidas en la Microzonificación Sísmica, mientras que en La Tabla 3.11 se muestra la distribución de número de pisos de las zonas homogéneas de uno de los municipios del Valle de Aburrá obtenidas de las encuestas realizadas en las manzanas seleccionadas y en la Figura 3.8 se muestra las zonas homogéneas y las manzanas seleccionadas en el municipio de Copacabana.

**Tabla 3.10. Número de pisos predominantes en las zonas homogéneas definidas en la Microzonificación**

Zona	Número de pisos predominante
Zona 1	1 y 2
Zona 2	3 a 5
Zona 3A	6 a 10
Zona 3B	11 a 15
Zona 3C	más de 16

Para la obtención del modelo de exposición de los municipios del Valle de Aburrá (excepto Medellín) se tomó como dato de entrada las áreas de las zonas homogéneas de los municipios del Valle de Aburrá definidas por en la Microzonificación y la distribución porcentual de número de pisos de las edificaciones [1]. Entre los datos recolectados en la Encuestas de Calidad de Vida [2] se encuentra el nivel socioeconómico de las viviendas censadas. Se determinó entonces la distribución porcentual de esta característica en los municipios del Valle de Aburrá y se utilizó en la generación del modelo de exposición de la

subregión. En la Tabla 3.12 se muestran las distribuciones porcentuales de los niveles socioeconómicos calculadas para cada municipio del Valle de Aburrá con base en los datos de las Encuestas de Calidad de Vida.

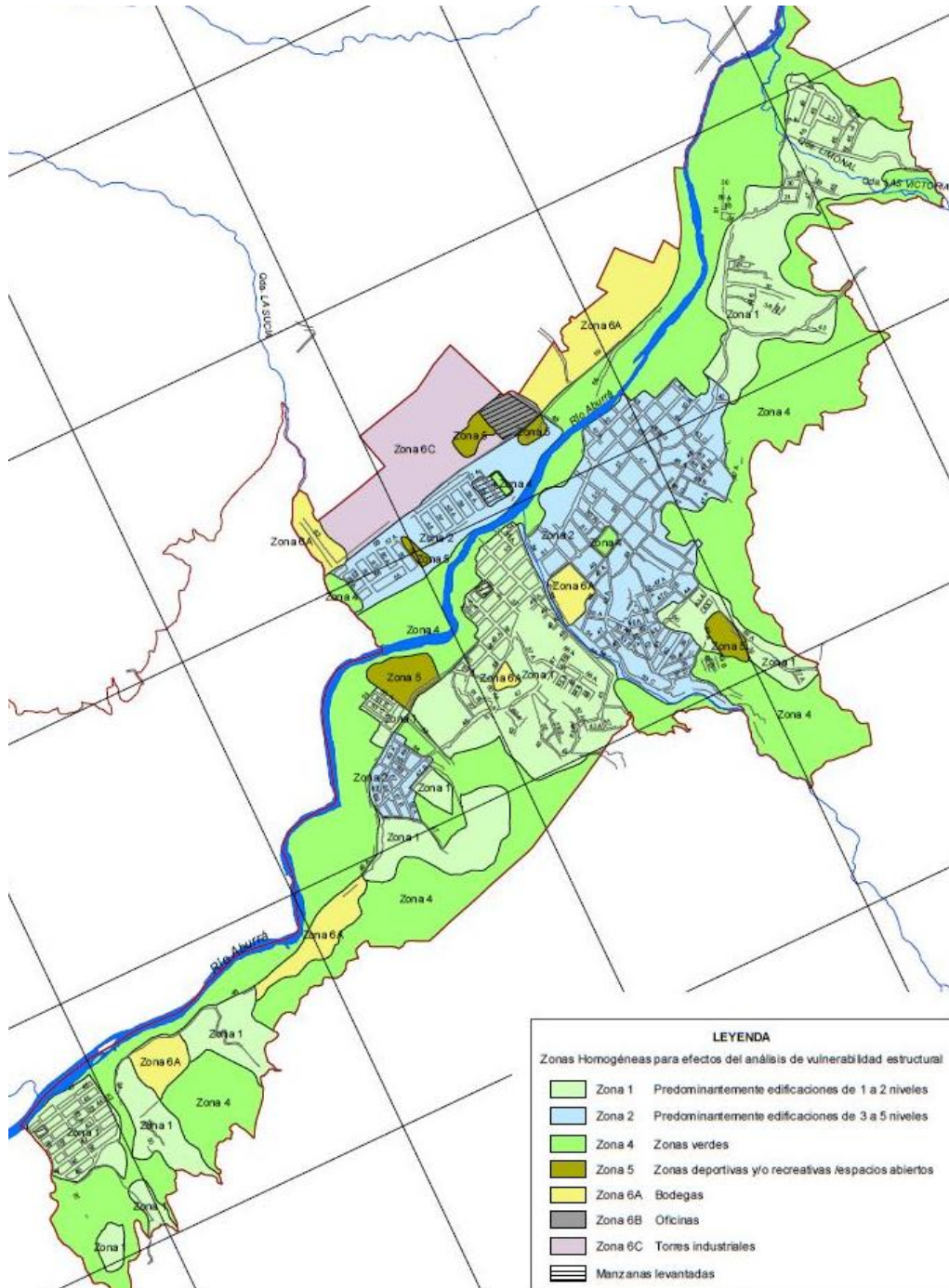


Figura 3.8. Zonas homogéneas del municipio de Copacabana.

**Tabla 3.11. Distribución de número de pisos de las zonas homogéneas del municipio de Bello**

Número de pisos	Zona homogénea				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3A	Zona 3B	Zona 3C
1	30	9	9	0	0
2	42	25	2	0	0
3	23	40	7	0	0
4	5	17	2	0	0
5	1	1	11	0	0
6	0	8	7	0	0
7	0	0	20	0	0
8	0	0	16	0	0
9	0	0	20	0	0
10	0	0	2	0	0
11	0	0	0	88	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	2	13	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	36
17	0	0	0	0	36
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	2	0	27

**Tabla 3.12. Distribución porcentual de niveles socioeconómicos de los municipios del Valle de Aburrá**

Municipio	Nivel socioeconómico					
	1	2	3	4	5	6
Barbosa	10.39	72.22	17.34	0.05	0.00	0.00
Bello	20.12	37.94	37.71	4.23	0.01	0.00
Caldas	4.02	65.22	30.72	0.04	0.00	0.00
Copacabana	2.60	56.40	40.90	0.08	0.01	0.00
Envigado	1.51	19.10	40.44	17.90	19.21	1.84
Girardota	0.61	82.75	16.35	0.26	0.03	0.00
Itagüí	3.95	38.18	54.87	3.01	0.00	0.00
La Estrella	0.71	36.07	53.78	7.98	1.43	0.04
Sabaneta	0.01	22.29	63.58	13.64	0.49	0.00

En lo concerniente a las distribuciones de los sistemas estructurales, se agruparon los municipios de la subregión en tres bloques, teniendo en cuenta que las costumbres de construcción que tienen los municipios de cada grupo entre ellos, se consideran similares pero diferentes entre los grupos. Los grupos resultantes son: grupo 1: Itagüí, Bello y Copacabana; grupo 2: La estrella, Girardota, Caldas y Barbosa; grupo 3: Envigado y Sabaneta. Para cada grupo se generó una matriz de distribución porcentual de los sistemas estructurales, tomando como base la ya generada para la ciudad de Medellín y teniendo en cuenta la opinión de algunos diseñadores estructurales y constructores de la subregión. Las Tablas 3.13, 3.14 y 3.15 muestran las distribuciones porcentuales de los sistemas estructurales de los grupos 1, 2 y 3, respectivamente.

**Tabla 3.13. Distribución porcentual de los sistemas estructurales del grupo 1**

Nivel socioeconómico	Sistema estructural	Número de pisos											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-20	>20
1	WMNR	95	95	90	85	65	65	0	0	0	0	0	0
	WMC	0	5	10	15	20	20	15	0	0	0	0	0
	FCR	0	0	0	0	15	15	50	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	0	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
	O	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	WMNR	90	90	85	80	65	65	0	0	0	0	0	0
	WMR	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMC	5	7	10	15	20	20	15	0	0	0	0	0
	FCR	0	0	0	0	15	15	50	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	0	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
	WE	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	WMNR	85	85	75	70	30	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	0	0	5	5	10	10	10	0	0	0	0	0
	WMC	8	10	15	15	20	20	0	0	0	0	0	0
	FCR	0	0	5	10	40	50	55	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	20	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
WE	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	WMNR	70	70	60	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	5	5	10	15	30	10	10	0	0	0	0	0
	WMC	20	25	25	25	20	20	0	0	0	0	0	0
	FCR	0	0	5	50	50	50	50	50	50	50	40	0
	WCR	0	0	0	0	0	20	40	50	50	50	40	60
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	40
WE	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	WMNR	45	35	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	10	10	10	15	15	20	0	0	0	0	0	0
	WMC	45	45	35	20	10	0	0	0	0	0	0	0
	FCR	0	10	40	60	65	65	70	70	70	70	50	0
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50
6	WMNR	30	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	20	20	15	15	15	10	0	0	0	0	0	0
	WMC	50	50	35	25	0	0	0	0	0	0	0	0
	FCR	0	10	40	60	65	70	70	70	70	70	50	0
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50

Tabla 3.14. Distribución porcentual de los sistemas estructurales del grupo 2

Nivel socioeconómico	Sistema estructural	Número de pisos											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-20	>20
1	WMNR	25	70	80	65	65	65	0	0	0	0	0	0
	WMC	0	5	10	20	20	20	15	0	0	0	0	0
	FCRD	0	0	10	15	15	15	50	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	0	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
	WE	70	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	WMNR	20	85	80	65	65	65	0	0	0	0	0	0
	WMC	4	5	10	20	20	20	15	0	0	0	0	0
	FCRD	0	0	10	13	13	15	50	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	0	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
	WE	68	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	WMNR	40	80	50	40	30	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	0	0	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0
	WMC	5	15	10	20	20	20	0	0	0	0	0	0
	FCRD	0	0	30	30	40	50	55	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	20	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
	WE	50	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	WMNR	40	65	50	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	0	5	10	15	30	10	10	0	0	0	0	0
	WMC	5	25	10	20	20	20	0	0	0	0	0	0
	FCRD	0	0	30	50	50	50	50	50	50	50	40	0
	WCR	0	0	0	0	0	20	40	50	50	50	40	60
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	40
	WE	55	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	WMNR	35	35	30	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	0	10	15	15	15	20	0	0	0	0	0	0
	WMC	10	45	15	15	10	0	0	0	0	0	0	0
	FCRD	0	10	40	55	65	65	70	70	70	70	50	0
	WCR	0	0	0	0	10	15	30	30	30	30	20	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50
	WE	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	WMNR	30	20	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	10	20	20	15	15	10	0	0	0	0	0	0
	WMC	10	50	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FCRD	0	10	50	65	65	70	70	70	70	70	50	0
	WCR	0	0	0	20	20	20	30	30	30	30	20	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50
	WE	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 3.15. Distribución porcentual de los sistemas estructurales del grupo 3**

Nivel socioeconómico	Sistema estructural	Número de pisos											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-20	>20
1	WMNR	95	95	90	85	65	65	0	0	0	0	0	0
	WMC	0	5	10	15	20	20	15	0	0	0	0	0
	FCRD	0	0	0	0	15	15	50	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	0	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
	WE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	WMNR	75	85	85	80	65	65	0	0	0	0	0	0
	WMR	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMC	5	10	10	15	20	20	15	0	0	0	0	0
	FCRD	0	0	0	0	15	15	50	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	0	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
	WE	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	WMNR	75	80	75	70	30	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	0	0	5	5	10	10	10	0	0	0	0	0
	WMC	10	15	15	15	20	20	0	0	0	0	0	0
	FCRD	0	0	5	10	40	50	55	60	60	60	40	5
	WCR	0	0	0	0	0	20	35	40	40	40	40	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	45
	WE	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	WMNR	65	70	60	20	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	0	5	10	15	30	10	10	0	0	0	0	0
	WMC	25	25	25	25	20	20	0	0	0	0	0	0
	FCRD	0	0	5	40	50	50	50	50	50	50	40	0
	WCR	0	0	0	0	0	20	40	50	50	50	40	60
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	40
	WE	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	WMNR	45	35	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	10	10	10	15	15	20	0	0	0	0	0	0
	WMC	45	45	35	20	10	0	0	0	0	0	0	0
	FCRD	0	10	40	50	65	65	70	70	70	70	50	0
	WCR	0	0	0	0	10	15	30	30	30	30	20	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50
	WE	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	WMNR	30	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WMR	20	20	15	15	15	10	0	0	0	0	0	0
	WMC	50	50	35	30	0	0	0	0	0	0	0	0
	FCRD	0	10	40	55	65	70	70	70	70	70	50	0
	WCR	0	0	0	0	20	20	30	30	30	30	20	50
	SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50
	WE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Debido a la proximidad que existe entre los municipios del Valle de Aburrá, se consideró que los costos de reposición y comerciales de las construcciones no varían de forma considerable de municipio a municipio. Por tal razón se emplearon los mismos valores utilizados en el caso de la ciudad de Medellín, para la generación del modelo de exposición de toda la subregión. Estos valores se muestran de nuevo en la Tabla 3.16.

**Tabla 3.16. Valores de reposición y comerciales para el Valle de Aburrá**

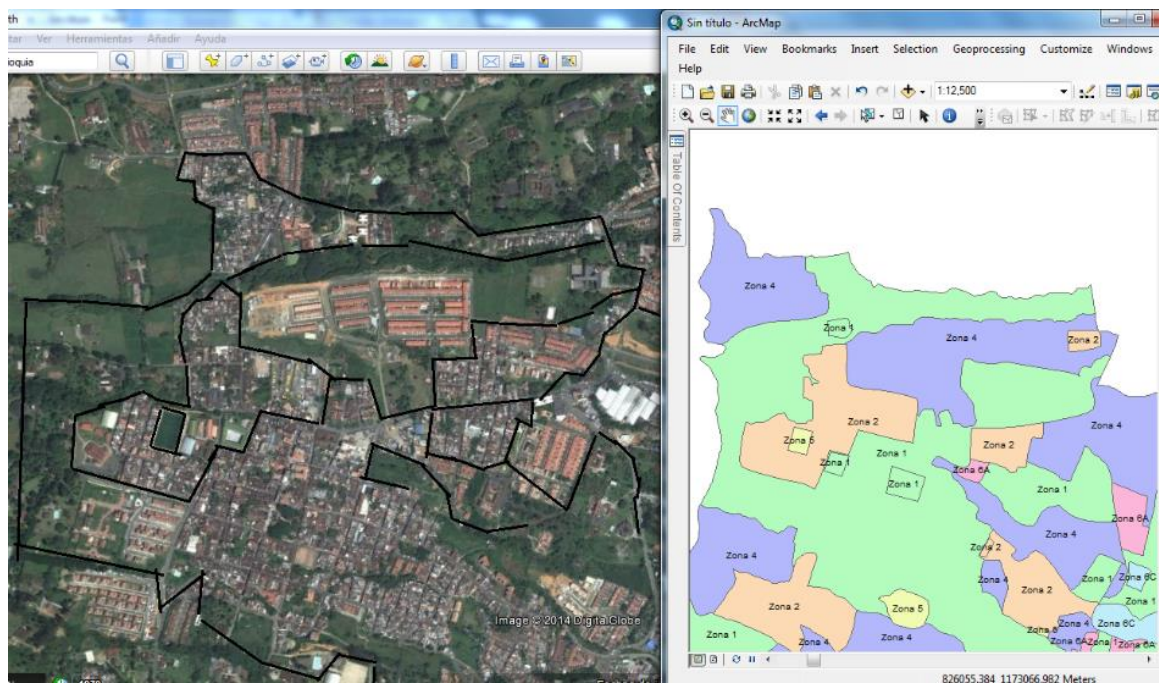
Nivel socioeconómico	Valor de reposición por m <sup>2</sup> [COP]	Valor de comercial por m <sup>2</sup> [COP]
1	500,000.00	1,750,000.00
2	500,000.00	1,750,000.00
3	740,000.00	1,750,000.00
4	1,150,000.00	2,750,000.00
5	1,450,000.00	3,500,000.00
6	1,750,000.00	4,400,000.00

### 3.2.2 Manipulación de la información

Los mapas de las zonas homogéneas de los municipios del Valle de Aburrá fueron entregados por el Consorcio Microzonificación 2006 en formato *shape*, lo que permitió exportar el área asociada a cada polígono a un archivo tipo .csv para su posterior manipulación en Excel. Las zonas homogéneas definidas en la Microzonificación abarcan grandes extensiones de zonas verdes, parques y edificaciones destinadas a un uso diferente al residencial. Por lo anterior, mediante la comparación de los mapas de las zonas homogéneas de cada municipio e imágenes satelitales, se determinó un factor de reducción para cada tipo de zona homogénea en cada municipio. Estos factores de reducción se muestran en la Tabla 3.17. No se incluye en esta tabla al municipio de Girardota debido a que para este municipio la Secretaría de Planeación suministró un mapa con los polígonos de cada una de las construcciones del municipio y asociado a éstos, el número de pisos, por lo que fue posible obtener un modelo más preciso para Girardota. La Figura 3.9 muestra la forma en que se obtuvieron los factores de reducción de áreas de las zonas homogéneas.

**Tabla 3.17. Factores de reducción para las zonas homogéneas de los municipios del Valle de Aburrá**

Zona homogénea	Municipio							
	Barbosa	Bello	Caldas	Copacabana	Envigado	Itagüí	La estrella	Sabaneta
Zona 1	50	50	50	25	30	35	20	50
Zona 2	50	50	50	40	30	45	45	50
Zona 3A	N/A	50	N/A	N/A	35	N/A	N/A	N/A
Zona 3B	N/A	50	N/A	N/A	35	N/A	N/A	N/A
Zona 3C	N/A	N/A	N/A	N/A	50	N/A	N/A	N/A



**Figura 3.9. Comparación de imágenes para la obtención de los factores de reducción de las zonas homogéneas del municipio de La Estrella.**

Se pudo obtener entonces un total de área construida para cada sistema estructural, nivel socioeconómico y número de pisos en cada uno de los municipios del Valle de Aburrá, tal cual se hizo para Medellín, mediante la multiplicación del área de cada polígono de las zonas homogéneas por su correspondiente factor de reducción y por el porcentaje de las distribuciones de nivel socioeconómico, número de pisos y sistema estructurales. Cada una de las áreas obtenidas mediante este cálculo tiene asociado un costo de reposición y comercial que depende únicamente del nivel socioeconómico, como ya se ha mencionado.

### **3.2.3 Resultados del modelo de exposición del Valle de Aburrá**

El costo total de reposición de la infraestructura de vivienda de los municipios del Valle de Aburrá (sin incluir la ciudad de Medellín) es entonces 21,059,836 MLL COP, y el costo comercial es de 58,073,595 MLL COP, correspondientes a 30.7 km<sup>2</sup> de área total construida en los diferentes sistemas estructurales. La Tabla 3.18 muestra las áreas construidas en edificaciones de vivienda en cada uno de los sistemas estructurales presentes en los municipios del Valle de Aburrá. En la Tabla 3.19 se muestran los costos de reposición de las áreas presentadas, en la Tabla 3.18 y en la Tabla 3.20 se presentan Los costos comerciales de éstas mismas áreas.

**Tabla 3.18. Área construida [m<sup>2</sup>] en cada sistema estructura presente en los municipios del Valle de Aburrá**

Municipio	Sistema estructural				
	WMNR	WMR	WMC	FCRND	FCRD
Barbosa	381,964	5,383	55,750	8,722	37,982
Bello	8,372,202	251,457	1,163,104	42,952	597,466
Caldas	1,071,606	33,379	194,633	37,453	160,067
Copacabana	1,323,054	47,319	195,169	5,066	67,140
Envigado	2,450,556	356,261	906,584	149,451	1,250,335
Girardota	471,875	4,216	55,879	7,069	28,276
Itagui	4,948,908	263,482	938,062	117,011	495,235
La Estrella	615,975	37,721	106,508	26,054	104,217
Sabaneta	1,063,472	55,658	223,592	13,613	54,452
Municipio	Sistema estructural				
	WCR	SD	WE	PC	O
Barbosa	510	0	66,054	3,216	1,928
Bello	270,017	33,576	158,273	9,255	12,269
Caldas	2,449	0	109,414	5,484	2,466
Copacabana	13,093	0	25,945	724	84
Envigado	557,138	196,622	74,333	0	259
Girardota	0	0	114,544	6,541	3,317
Itagui	8,929	0	87,045	3,464	895
La Estrella	5	0	97,047	6,004	1,494
Sabaneta	37	0	35,727	0	0

**Tabla 3.19. Valor de reposición [MLL COP] de las áreas en cada sistema estructura presente en los municipios del Valle de Aburrá**

Municipio	Sistema estructural				
	WMNR	WMR	WMC	FCRND	FCRD
Barbosa	203,952	3,994	30,884	5,124	22,348
Bello	5,041,614	180,252	769,335	33,956	408,500
Caldas	601,098	25,061	114,631	23,730	101,580
Copacabana	778,681	29,512	119,957	3,704	46,147
Envigado	1,896,428	397,650	927,994	173,478	1,313,791
Girardota	253,112	3,181	31,432	4,162	16,649
Itagui	3,132,556	192,043	631,812	85,143	360,001
La Estrella	412,027	31,573	78,725	19,977	79,910
Sabaneta	770,380	47,045	179,036	11,567	46,267
Municipio	Sistema estructural				
	WCR	SD	WE	PC	O
Barbosa	378	0	34,914	1,757	964
Bello	173,657	20,700	104,945	4,628	6,135
Caldas	1,838	0	60,725	3,181	1,233
Copacabana	9,702	0	16,438	362	42
Envigado	511,374	187,270	51,744	0	130
Girardota	0	0	60,639	3,530	1,659
Itagui	6,800	0	58,941	1,732	448
La Estrella	9	0	64,721	3,865	747
Sabaneta	54	0	24,578	0	0

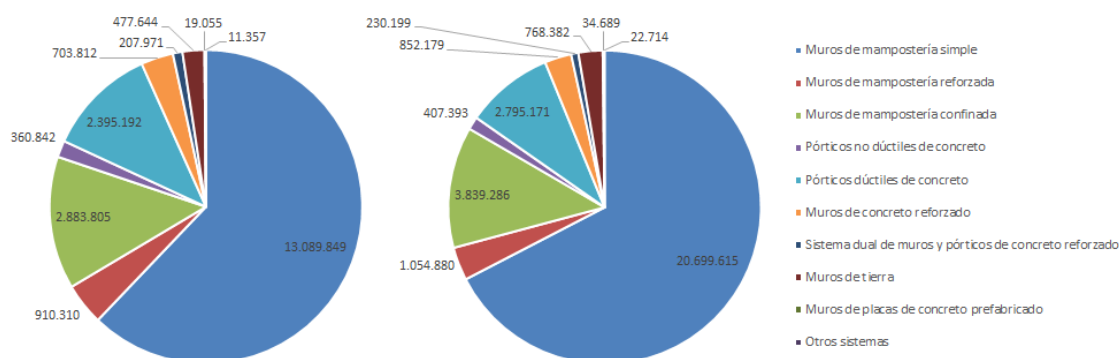
**Tabla 3.20. Valor comercial [MLL COP] de las áreas en cada sistema estructura presente en los municipios del Valle de Aburrá**

Municipio	Sistema estructural				
	WMNR	WMR	WMC	FCRND	FCRD
Barbosa	668,570	9,445	97,610	15,275	66,516
Bello	14,890,731	479,142	2,141,324	83,105	1,097,474
Caldas	1,875,571	58,480	340,712	65,574	280,250
Copacabana	2,316,096	82,970	341,994	8,910	117,757
Envigado	4,934,842	966,442	2,301,286	420,557	3,233,818
Girardota	826,835	7,528	98,183	12,429	49,717
Itagui	8,748,751	489,142	1,690,118	212,655	899,366
La Estrella	1,126,461	74,981	203,979	49,855	199,421
Sabaneta	770,380	47,045	179,036	11,567	46,267

Municipio	Sistema estructural				
	WCR	SD	WE	PC	O
Barbosa	894	0	115,619	5,628	3,376
Bello	487,904	60,090	279,555	16,197	21,471
Caldas	4,288	0	191,507	9,597	4,316
Copacabana	22,944	0	45,406	1,268	146
Envigado	1,285,021	470,087	136,233	0	454
Girardota	0	0	200,719	11,447	5,804
Itagui	16,095	0	153,011	6,062	1,567
La Estrella	23	0	178,810	10,507	2,614
Sabaneta	131	0	63,640	0	0

Las figuras 3.10, 3.11 y 3.12 muestran de forma gráfica los resultados del modelo de exposición del Valle de Aburrá.



**Figura 3.10. Resultados de valor de reposición [MLL COP] (izquierda) y área construida [m²] (derecha) para cada sistema estructural para el Valle de Aburrá (no incluye Medellín)**

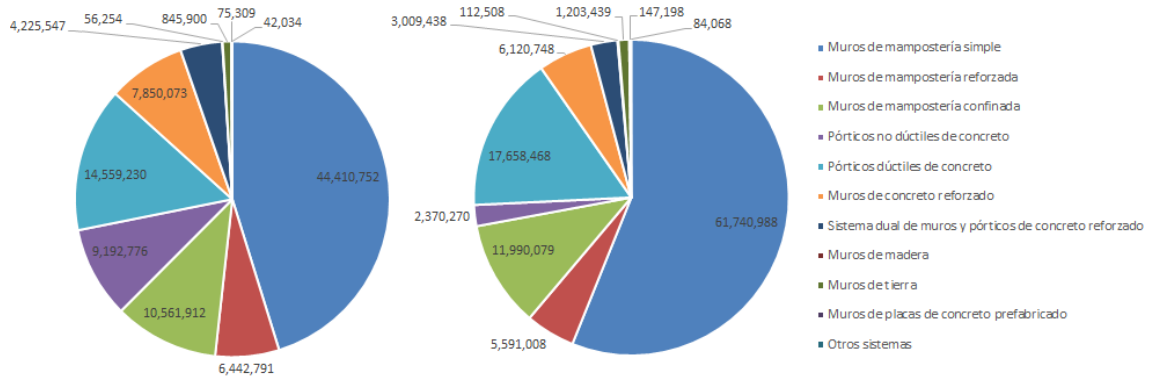


Figura 3.11. Resultados de valor de reposición [MLL COP] (izquierda) y área construida [m²] (derecha) para cada sistema estructural para el Valle de Aburrá (incluye Medellín calculado según el numeral 3.1)

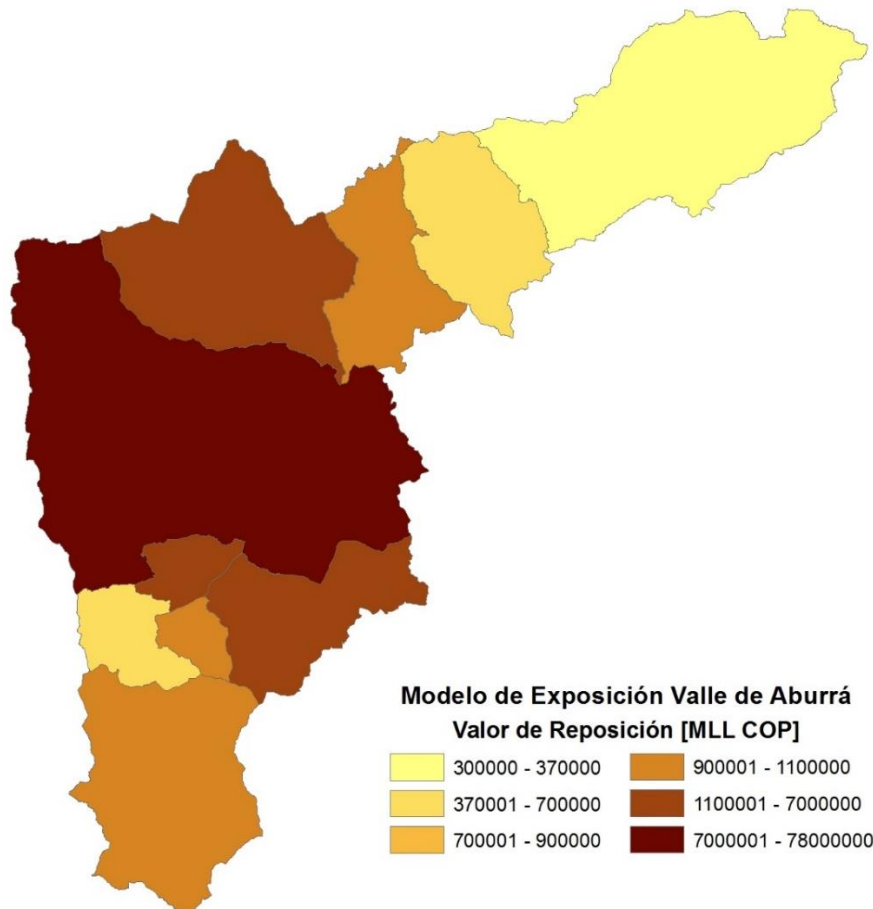


Figura 3.12. Costos de reposición del Valle de Aburrá (incluye Medellín calculado según el numeral 3.1)

### 3.2.4 Comparación de los resultados con trabajos previos

Los resultados del modelo de exposición del Valle de Aburrá fueron comparados con los resultados de las Encuestas de Calidad de Vida [2] utilizando la misma área de vivienda por cada sistema estructural que se empleó para el modelo de la ciudad de Medellín. En la Tabla 3.21 se muestra el número de viviendas de cada municipio del Valle de Aburrá (excepto Medellín) obtenido en el modelo de exposición y el reportado por las Encuestas de Calidad de Vida. Se puede ver que la relación entre estos números (número de viviendas según la referencia dividido por el número de viviendas según este trabajo) oscila entre 0,95 y 1,18, lo que indica que los resultados del modelo son semejantes a los de las encuestas, lo que genera confianza en los resultados.

**Tabla 3.21. Número de viviendas obtenido en el modelo de exposición del Valle de Aburrá y presentado por las Encuestas de Calidad de Vida 2011 [2]**

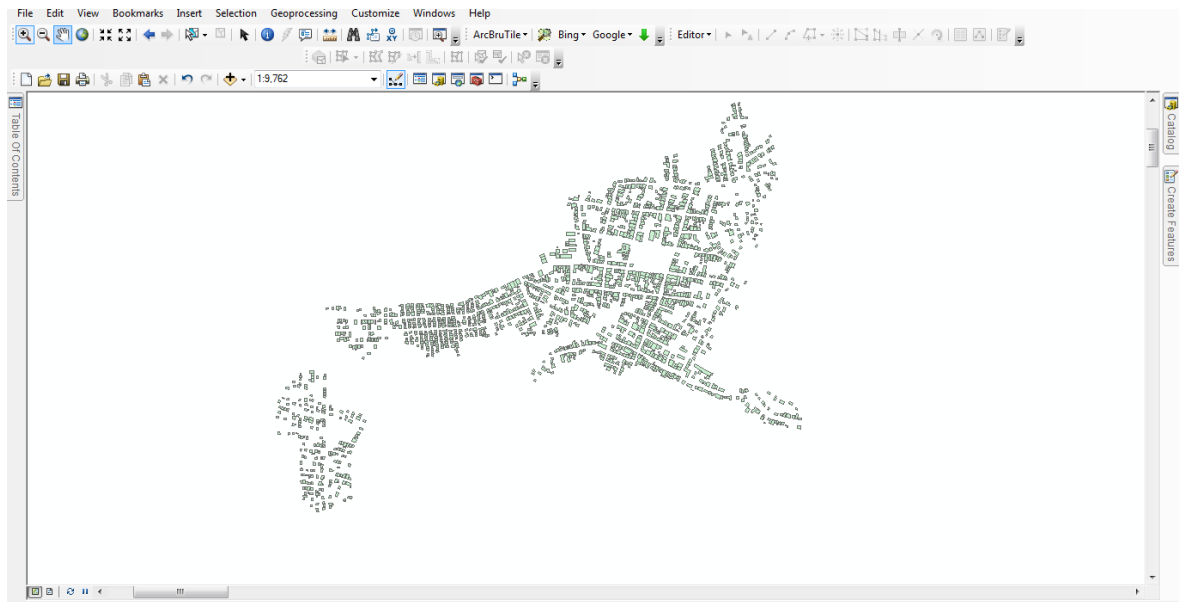
Municipio	Número de viviendas		
	Este trabajo	Encuesta Calidad de Vida, 2011	Relación
Barbosa	5,002	5,881	1.18
Bello	90,117	104,135	1.16
Caldas	13,797	15,448	1.12
Copacabana	13,757	15,329	1.11
Envigado	49,733	51,216	1.05
Itagüí	55,797	64,680	1.15
La Estrella	8,674	9,188	1.06
Sabaneta	11,813	13,586	1.15
Girardota	6,405	6,581	0.95

### 3.3 MODELO DE EXPOSICIÓN DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

Antioquia es el segundo departamento más importante de Colombia, con una población de más de seis millones de personas, equivalentes al 13.3% de la población total del país, la cual habita en 125 municipios divididos en nueve subregiones. El territorio del departamento se encuentra en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, lo que hace que la generación de modelos y el desarrollo de metodologías que ayuden a una mejor comprensión del riesgo sísmico sea de alta importancia.

#### 3.3.1 Información disponible

El departamento de Catastro del departamento de Antioquia posee una página web (<https://catastro.antioquia.gov.co/sitio>) de la que se pueden descargar mapas en formato *shape* con información de diferente tipo de cada municipio del departamento. No se encuentran todos los tipos de mapas para todos los municipios, pero en lo correspondiente a las construcciones, fue posible descargar información de los cascos urbanos de 80 municipios, todos por fuera del Valle de Aburrá. La información descargada para cada municipio consiste en un mapa que contiene los polígonos de las construcciones del casco urbano del municipio. 72 de estos mapas tienen asociado a cada polígono el número de pisos de la edificación. La Figura 3.13 muestra el mapa del municipio de Mutatá descargado de la página antes mencionada.



**Figura 3.13. Mapa de construcciones del municipio de Mutatá**

Para los municipios en los que no se contó con el mapa de construcciones fue necesario emplear la metodología antes descrita para la obtención de áreas construidas en planta, utilizando ArcGis para analizar imágenes y posteriormente determinando un factor de reducción de áreas. La Figura 3.14 muestra el proceso de generación de polígonos de áreas construidas en planta para el municipio de Apartadó.

La forma en la que puede ser obtenido en factor de reducción de áreas ya fue explicado en el numeral 2.2.1, tanto para los casos en los que las imágenes satelitales son de buena resolución como para aquellos en que no. La Figura 3.15 ilustra la forma en la que se puede obtener el factor de reducción cuando se cuenta con imágenes de alta resolución.

Para los casos en los que no se contó con el número de pisos de las edificaciones, se aplicó la metodología descrita en el segundo capítulo de este trabajo, es decir, se buscó un municipio de características similares en términos de población y área construida en planta dentro de la misma subregión que contara con el número de pisos de las construcciones, y se le determinó la distribución porcentual de esta característica. Dicha distribución fue aplicada a las áreas del municipio para el cual no se contaba con el número de pisos de las edificaciones. Existen casos en los que los municipios que poseen número de pisos de las edificaciones no presentan características similares a aquellos que no lo poseen, por lo que se hace necesario realizar recorridos virtuales mediante *Google Street View* y determinar una distribución porcentual de esta característica.

En el Censo General del 2005 [8] se presenta el número de viviendas de cada municipio del país, separado en zona rural y urbana y clasificado según el material de los muros. De esta información es posible identificar el porcentaje de viviendas de cada municipio que tiene como sistema estructural muros de tierra (WE), muros de madera (WW) y material prefabricado (PC).



(a) Imagen satelital



(b) Polígonos de zonas construidas

Figura 3.14. Proceso de generación de polígonos de áreas construidas en planta



Figura 3.15. Forma de obtención del factor de reducción de áreas

Se realizaron recorridos virtuales mediante *Google Street View* en el municipio más grande de cada subregión con el objetivo de generar una matriz de distribución porcentual de los sistemas estructurales en función del número de pisos de las edificaciones, mas no del nivel socioeconómico, pues no se encontró esta última información para las viviendas de los municipios por fuera del Valle de Aburrá.

Se generaron entonces ocho matrices de distribución de sistema estructural (una por cada subregión). Luego cada matriz fue calibrada para cada municipio con los datos del Censo General del 2005 [8]. La Tabla 3.22 muestra una de las matrices generadas para un municipio del departamento de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá. El sistema estructural WMS corresponde a muros de mampostería en roca.

Debido a que no se contó con una distribución de los niveles socioeconómicos de los municipios de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá, se consultó un valor promedio de reposición y comercial por metro cuadrado. Los valores promedio para estas características dados por los constructores fueron 1,000,000 COP y 1,750,000 COP para costos de reposición y comercial, respectivamente.

**Tabla 3.22. distribución porcentual de los sistemas estructurales del municipio de Cáceres**

Sistema estructural	Número de pisos				
	1	2	3	4	5
WMNR	20	60	60	20	20
WMR	5	10	10	10	10
WMC	5	15	15	10	10
WMS	0	0	0	0	0
FCRND	0	15	15	60	60
FCRD	0	0	0	0	0
WCR	0	0	0	0	0
WW	35	0	0	0	0
WE	30	0	0	0	0
PC	1	0	0	0	0
O	4	0	0	0	0

### 3.3.2 Manipulación de la información

Se tienen entonces tres tipos de mapas para los municipios del departamento de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá: tipo 1: mapa de áreas de cada una de las construcciones con el número de pisos de éstas asociado; Tipo 2: mapa de áreas de cada una de las construcciones con una distribución porcentual de número de pisos asociada; tipo 3: mapa de áreas en planta de las zonas construidas con un factor de reducción y una distribución de número de pisos asociado. Todos los mapas están en formato *shape*, lo que permite exportar los datos en un archivo tipo *.scv*. Cada uno de estos tipos de mapas se debe tratar de forma diferente, como se describe a continuación.

Tipo 1: para determinar el área construida presente en el municipio en cada uno de los sistemas estructurales se debe multiplicar el área de cada polígono por el número de pisos asociado y luego por el porcentaje de distribución del sistema estructural. Si por ejemplo un polígono tiene un área de 150 m<sup>2</sup> y un número de pisos asociado igual a 3, el área de

edificación en el sistema estructural muros de mampostería confinada (WMC) que este polígono aporta al modelo de exposición, según la matriz mostrada en la Tabla 3.22 es  $150 \text{ m}^2 \times 3 \times 0.15 = 67.5 \text{ m}^2$ .

Tipo 2: para determinar el área presente en el municipio en cada uno de los sistemas estructurales se debe multiplicar el área de cada polígono por el porcentaje de distribución de número de pisos asignado, por el número de pisos como tal y luego por el porcentaje de distribución del sistema estructural. Si por ejemplo un polígono tiene un área de  $300 \text{ m}^2$ , un porcentaje de 25% para el número de pisos 4, el área de edificación en el sistema estructural muros de mampostería reforzada (WMR) que este polígono aporta al modelo de exposición, según la matriz mostrada en la Tabla 3.22 es  $300 \text{ m}^2 \times 0.25 \times 4 \times 0.10 = 30 \text{ m}^2$ .

Tipo 3: para determinar el área presente en el municipio en cada uno de los sistemas estructurales se debe multiplicar el área de cada polígono dibujado previamente en ArcGis por el porcentaje de distribución de número de pisos asignado, por el número de pisos como tal, por el porcentaje de distribución del sistema estructural y por el factor de reducción de áreas. Si por ejemplo un polígono tiene un área de  $1,000 \text{ m}^2$ , un porcentaje de 30% para el número de pisos 2 y un factor de reducción de áreas de 0.65 el área de edificación en el sistema estructural muros de mampostería no reforzada (WMNR) que este polígono aporta al modelo de exposición, según la matriz mostrada en la Tabla 3.22 es  $1,000 \text{ m}^2 \times 0.30 \times 2 \times 0.60 \times 0.65 = 234 \text{ m}^2$ .

Se obtiene entonces un área construida por cada sistema estructural y cada número de pisos, las cuales tienen un costo de reposición y comercial asociado, costo que, como ya se mencionó, es independiente de cualquier variable.

### **3.3.3 Resultados del modelo de exposición de los municipios de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá**

El costo total de reposición de la infraestructura de vivienda de los municipios del departamento de Antioquia (sin incluir el Valle de Aburrá) es entonces 37,918,880 MLL COP, y el costo comercial es 66,358,040 MLL COP, correspondientes a  $37.9 \text{ km}^2$  de área total construida en los diferentes sistemas estructurales. La Tabla 3.23 muestra las áreas construidas en edificaciones de vivienda en cada uno de los sistemas estructurales presentes en las subregiones del departamento de Antioquia. En la Tabla 3.24 se muestran los costos de reposición de las áreas presentadas en la Tabla 3.23 y en la Tabla 3.25 se presentan Los costos comerciales de éstas mismas áreas.

En la Figura 3.16 se muestran los valores totales de área construida en metros cuadrados y costos de reposición en millones de pesos por cada sistema estructural del departamento de Antioquia excluyendo la subregión del Valle de Aburrá, mientras que en la Figura 3.17 se muestran los mismos valores pero estos si incluyen el Valle de Aburrá. En la Figura 3.18 se muestra un mapa del departamento de Antioquia con los costos de reposición de cada municipio.

los resultados completos del modelo de exposición se pueden ver en el ANEXO A.

**Tabla 3.23. Áreas construidas [m<sup>2</sup>] en cada uno de los sistemas estructurales para cada una de las Subregiones del departamento de Antioquia**

Sistema estructural	Subregión			
	Bajo cauca	Magdalena medio	Nordeste	Norte
WMNR	2,214,446	730,214	968,974	1,307,170
WMR	386,386	240,863	460,134	286,580
WMC	489,452	146,503	199,170	264,550
FCRND	76,769	89,819	121,929	221,692
FCRD	76,769	89,819	121,929	221,692
WW	418,900	283,100	209,533	17,411
WE	246,818	97,639	668,174	679,737
PC	19,686	1,733	16,999	3,618
O	56,553	6,399	16,805	0
Sistema estructural	Subregión			
	Occidente	Oriente	Suroeste	Urabá
WMNR	851,620	3,988,862	2,182,541	3,732,895
WMR	175,648	2,660,001	601,976	0
WMC	246,142	1,974,222	410,394	979,048
WMS	82,741	0	0	0
FCRND	131,770	686,927	200,480	177,209
FCRD	131,770	686,927	200,480	177,209
WCR	0	11,297	974	0
WW	22,540	1,849	0	1,194,299
WE	866,840	2,287,906	1,552,343	169,405
PC	3,267	7,361	0	58,721
O	2,163	0	0	3,088

**Tabla 3.24. Valores de reposición [MLL COP] de las áreas construidas en cada sistema estructural en las diferentes subregiones del departamento de Antioquia**

Sistema estructural	Subregión			
	Bajo cauca	Magdalena medio	Nordeste	Norte
WMNR	2,214,446	730,214	968,974	1,307,170
WMR	386,386	240,863	460,134	286,580
WMC	489,452	146,503	199,170	264,550
FCRND	76,769	89,819	121,929	221,692
FCRD	76,769	89,819	121,929	221,692
WW	418,900	283,100	209,533	17,411
WE	246,818	97,639	668,174	679,737
PC	19,686	1,733	16,999	3,618
O	56,553	6,399	16,805	0
Sistema estructural	Subregión			
	Occidente	Oriente	Suroeste	Urabá
WMNR	851,620	3,988,862	2,182,541	3,732,895
WMR	175,648	2,660,001	601,976	0
WMC	246,142	1,974,222	410,394	979,048
WMS	82,741	0	0	0
FCRND	131,770	686,927	200,480	177,209
FCRD	131,770	686,927	200,480	177,209
WCR	0	11,297	974	0
WW	22,540	1,849	0	1,194,299
WE	866,840	2,287,906	1,552,343	169,405
PC	3,267	7,361	0	58,721
O	2,163	0	0	3,088

Tabla 3.25. Valores comerciales [MLL COP] de las áreas construidas en cada sistema estructural en las diferentes subregiones del departamento de Antioquia

Sistema estructural	Subregión			
	Bajo cauca	Magdalena medio	Nordeste	Norte
WMNR	3,875,281	1,277,875	1,695,705	2,287,548
WMR	676,176	421,510	805,235	501,515
WMC	856,541	256,380	348,548	462,963
WMS	134,346	157,183	213,376	387,961
FCRND	134,346	157,183	213,376	387,961
FCRD	733,075	495,425	366,683	30,469
WCR	431,932	170,868	1,169,305	1,189,540
WW	34,451	3,033	29,748	6,332
WE	98,968	11,198	29,409	0
PC	3,875,281	1,277,875	1,695,705	2,287,548
O	676,176	421,510	805,235	501,515

Sistema estructural	Subregión			
	Occidente	Oriente	Suroeste	Urabá
WMNR	1,490,335	6,980,509	3,819,447	6,532,566
WMR	307,384	4,655,002	1,053,458	0
WMC	430,749	3,454,889	718,190	1,713,334
WMS	144,797	0	0	0
FCRND	230,598	1,202,122	350,840	310,116
FCRD	230,598	1,202,122	350,840	310,116
WCR	0	19,770	1704.5	0
WW	39,445	3,236	0	2,090,023
WE	1,516,970	4,003,836	2,716,600	296,459
PC	5,717	12,882	0	102,762
O	3,785	0	0	5,404

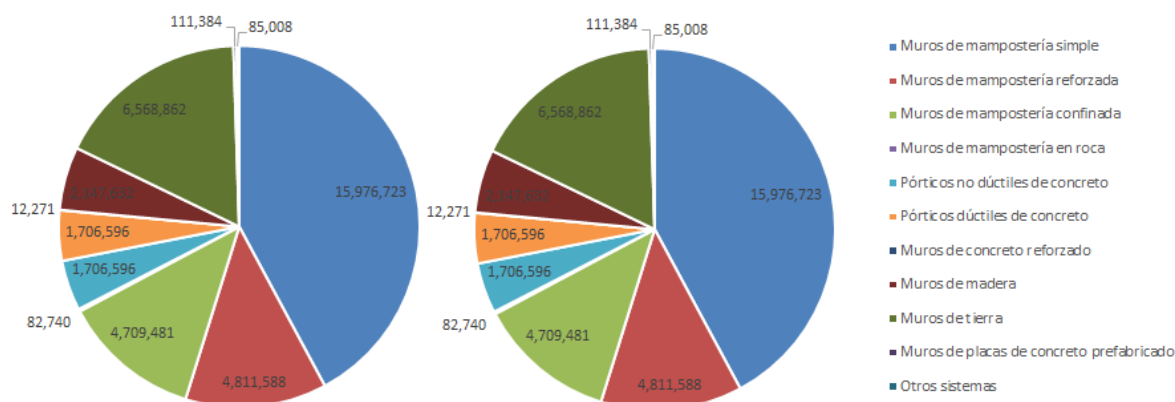


Figura 3.16. Resultados de valor de reposición [MLL COP] (izquierda) y área construida [m²] (derecha) para cada sistema estructural para los municipios de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá (no incluye Valle de Aburrá)

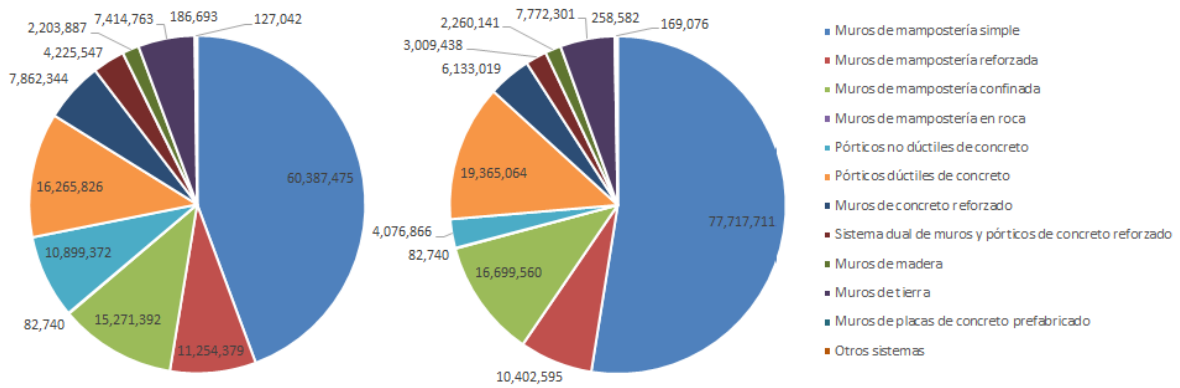


Figura 3.17. Resultados de valor de reposición [MLL COP] (izquierda) y área construida [m<sup>2</sup>] (derecha) para cada sistema estructural para los municipios de Antioquia (incluye Valle de Aburrá y ciudad de Medellín calculados según numerales 3.2 y 3.1 respectivamente)

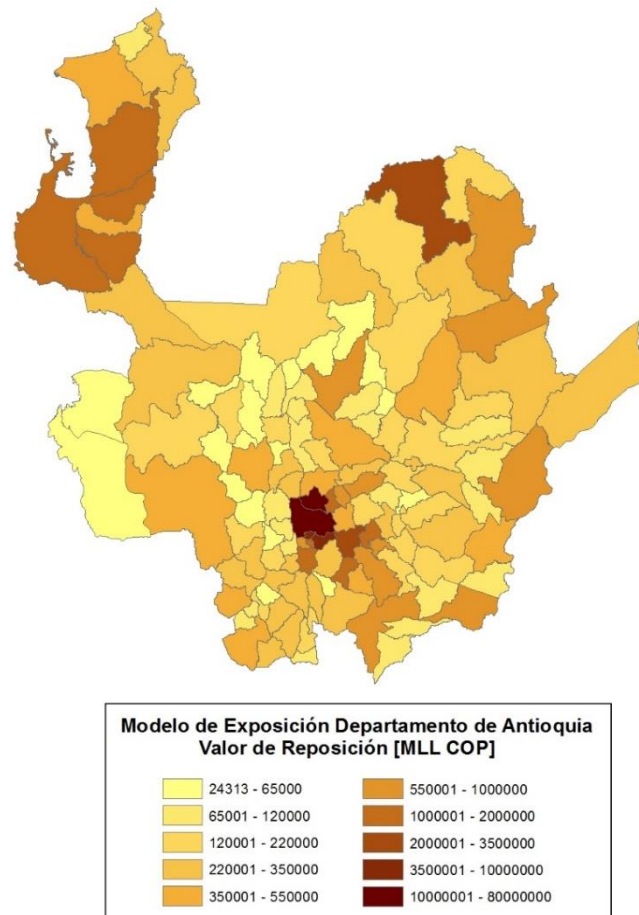


Figura 3.18. Costos de reposición de los municipios del departamento de Antioquia (Incluye el Valle de Aburrá y ciudad de Medellín calculados según numerales 3.2 y 3.1 respectivamente)

### 3.3.4 Comparación de los resultados con trabajos previos

Los resultados del modelo de exposición de los municipios del departamento de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá fueron comparados con los resultados del Censo General del 2005 [8], utilizando áreas de vivienda por cada sistema estructural propuestas de la observación realizada en los recorridos virtuales por los municipios más grandes de cada subregión. Por lo tanto cada subregión tiene una propuesta de área por vivienda según el sistema estructural. En la Tabla 3.26 se presentan las áreas por vivienda tomadas para cada subregión dependiendo del sistema estructural. Con estas áreas se calcula el número de viviendas de cada municipio y éste se compara con los datos reportados en Censo General del 2005 [8]. La Figura 3.19 muestra las relaciones entre el número de viviendas calculadas en el modelo y el número de viviendas reportado en el censo para cada municipio. Se puede ver en la figura que las relaciones son bastante variadas.

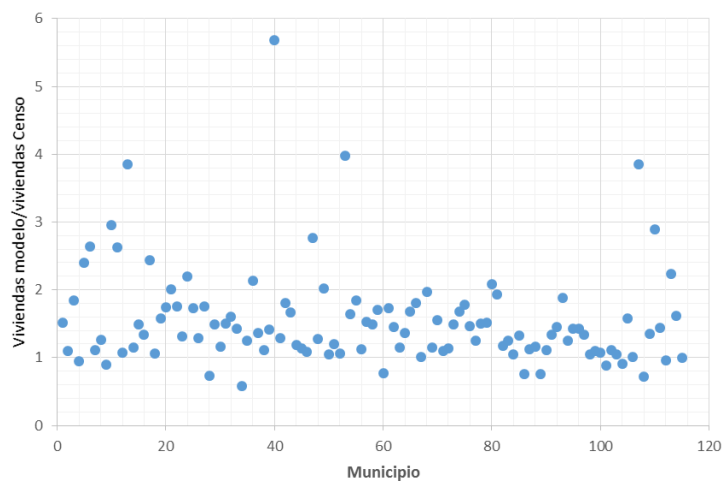
**Tabla 3.26 Áreas de vivienda por sistema estructural para cada subregión**

Sistema estructural	Subregión			
	Bajo cauca	Magdalena medio	Nordeste	Norte
WMNR	60	90	70	80
WMR	60	90	70	80
WMC	60	90	70	80
WMS	N/A	N/A	N/A	N/A
FCRND	90	100	90	100
FCRD	90	100	90	100
WCR	90	100	90	100
SD	90	100	90	100
WW	60	60	60	60
WE	80	80	80	100
PC	60	50	50	50
O	50	50	50	50

Sistema estructural	Subregión			
	Occidente	Oriente	Suroeste	Urabá
WMNR	90	100	100	70
WMR	90	100	100	70
WMC	90	100	100	70
WMS	90	N/A	N/A	N/A
FCRND	100	110	110	100
FCRD	100	110	110	100
WCR	100	110	110	100
SD	100	110	110	100
WW	60	60	60	70
WE	100	100	100	70
PC	50	50	50	70
O	50	50	50	50

Los autores presumen que para los casos más extremos, las zonas consideradas como urbanas por el DANE son diferentes a las que los mapas descargados de la página de Catastro y los generados para el modelo de exposición consideran como urbanas.



**Figura 3.19. Relación entre el número de viviendas obtenido en el modelo de exposición y el reportado en el Censo General del 2005**

La Figura 3.20 muestra el mapa de construcciones de un municipio de Antioquia descargado de la página de Catastro. En él se ve que hay 3 aglomeraciones de construcciones. Es posible que el DANE sólo considere una de éstas como zona urbana.



**Figura 3.20. Mapa de construcciones del municipio de Amagá**

Además, la infraestructura y población de los municipios cuyas relaciones entre el número de viviendas obtenido del modelo de exposición y las reportadas por el censos son mayores que dos (2), son mucho menores que las del Valle de Aburrá y por esta razón se decidió no refinar los resultados obtenidos para estos municipios, pues los esfuerzos se deben concentrar en la ciudad de Medellín y los demás municipios del área metropolitana.



## 4. CONCLUSIONES

El estudio del riesgo sísmico de una ciudad, región o país es de alta importancia toda vez que éste permite estimar las pérdidas económicas y humanas que pueden ocurrir durante un evento sísmico. Para realizar dicho estudio se requieren tres modelos fundamentales: amenaza sísmica (posibilidad de que ocurra un sismo), vulnerabilidad (capacidad sísmica de las estructuras) y exposición (población e infraestructura expuesta). Existen en la literatura varias metodologías para el desarrollo de cada uno de estos modelos. En el caso específico de Colombia, el país cuenta con un buen estudio de amenaza sísmica, la vulnerabilidad de algunas tipologías estructurales ha sido estudiada y se han generado algunos modelos de exposición para localidades específicas.

Al momento de realizar este trabajo no se contaba con un modelo de exposición para la totalidad del departamento de Antioquia. Siendo el modelo de exposición un insumo necesario para realizar un estudio de riesgo sísmico, en este trabajo se generó dicho modelo, de modo que los resultados puedan ser utilizados en conjunto con modelos de amenaza y vulnerabilidad para la estimación del riesgo.

Los modelos de exposición generados cuentan con tres niveles de refinamiento, de acuerdo a la información disponible. Los modelos se realizaron para la ciudad de Medellín, la subregión del Valle de Aburrá y el resto de municipios del departamento de Antioquia aplicando una metodología desarrollada dentro de este mismo trabajo y en el marco del proyecto *South America integrated Risk Assessment (SARA)* de la Fundación GEM (*Global Earthquake Model*), el cual tiene entre sus objetivos el de comprender y estimar, de la forma más precisa posible, el riesgo sísmico del continente Sur Americano.

La metodología desarrollada en este trabajo puede ser empleada para generar el modelo de exposición de cualquier localidad, municipio o ciudad, siempre y cuando se tenga la mínima información requerida, es decir, áreas en planta de las zonas construidas, distribución porcentual del número de pisos de las edificaciones y distribución porcentual de los sistemas estructurales presentes en la localidad. Entre mayor sea el nivel de detalle de la información recolectada, más confiable y preciso será el modelo de exposición obtenido.

Las primeras fuentes de información que se debe consultar cuando se requiera generar un modelo de exposición son las oficinas gubernamentales de planeación o catastro de las localidades a las que se le generará el modelo, pues es posible que éstas tengan en sus archivos algún tipo de mapa de las áreas, número de pisos, uso o nivel socioeconómico de las construcciones. De esta manera se puede ahorrar esfuerzo y tiempo en la generación del modelo de exposición.

Para el caso del modelo de exposición de la ciudad de Medellín, en la cual se concentra el 38.6% (2,343,049 habitantes) del total de la población del departamento de Antioquia, se contó con dos mapas que permitieron generar un modelo con un nivel de detalle y confianza mayor que para el resto de los municipios del departamento, pues estos mapas contienen información del área, número de pisos y nivel socioeconómico de cada edificación de la ciudad. Dicho modelo dio como resultado un área total de viviendas de 79.32 km<sup>2</sup> de los cuales 41.04 km<sup>2</sup> (51.7%), 8.97 km<sup>2</sup> (11.3%) y 7.85 km<sup>2</sup> (9.9%) tienen

como sistema de resistencia de fuerza sísmica muros de mampostería no reforzada, pórticos dúctiles de concreto reforzado y pórticos no dúctiles de concreto reforzado respectivamente, siendo estos los sistemas estructurales más representativos de la ciudad. El costo total de reposición del área de vivienda de la ciudad es 77,202,741.1 MLL COP, siendo los sistemas estructurales más representativos en estos términos los muros de mampostería no reforzada y los pórticos dúctiles de concreto reforzado con un 40.57% y 15.76% del costo total de reposición, respectivamente. En cuanto a los costos comerciales de la infraestructura de vivienda de la ciudad se tiene 198,012,413.7 MLL COP de los cuales 84,392,331 MLL COP (42.62%) corresponden a muros de mampostería no reforzada y 29,957,118 MLL COP (15.13%) corresponden a pórticos dúctiles de concreto reforzado.

También es posible encontrar información valiosa en trabajos o investigaciones previas que se hayan realizado con anterioridad en la localidad bajo estudio, tal cual ocurrió con los municipios del Valle de Aburrá, para los cuales se encontraron mapas de zonas homogéneas en términos de números de pisos predominantes y distribuciones de número de pisos de cada zona dentro del trabajo realizado por el Consorcio Microzonificación 2006 [1]. Estos mapas fueron empleados en la generación de los modelos de exposición de ocho de los diez municipios del Valle de Aburrá, pues para la ciudad de Medellín y el municipio de Girardota se contó con información de área y número de pisos de cada una de las edificaciones.

El modelo de exposición del Valle de Aburrá (sin incluir la ciudad de Medellín) dio como resultado un total de área de viviendas construida de 30.70 km<sup>2</sup>, de los cuales 20.7 km<sup>2</sup> (67.4%) tienen como sistema estructural muros de mampostería no reforzada y 3.84 km<sup>2</sup> (12.5%) tienen como sistema estructural muros de mampostería confinada. En términos de costos de reposición el modelo dio como resultado un total de 21,059,837 MLL COP de los cuales 13,089,849 MLL COP (62.2%) corresponden a muros de mampostería no reforzada y 2,883,805 MLL COP (13.7%) corresponden a muros de mampostería confinada. Los resultados del modelo muestran que en total la infraestructura de vivienda expuesta en estos municipios tiene un costo comercial de 58,073,595 MLL COP siendo los sistemas estructurales más representativos los muros de mampostería no reforzada y muros de mampostería confinada con costos comerciales de 37,365,094 MLL COP (64.3%) y 7,659,803 MLL COP (13.2%), respectivamente.

Para la generación del modelo de exposición de los municipios de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá, se contó con mapas de áreas en planta de las edificaciones de los cascos urbanos de 80 de estos municipios, y para 72 de ellos estos mapas incluyen el número de pisos de cada una de las edificaciones.

Para los casos en los que no se contó con la información mencionada, se analizaron imágenes satelitales mediante sistemas de información geográfica para obtener las áreas en planta de las zonas construidas. Este proceso fue necesario hacerlo para 35 de los 125 municipios del departamento de Antioquia.

Mediante relativamente rápidos recorridos virtuales realizados en la plataforma *Google Street View*, fue posible obtener distribuciones porcentuales de número de pisos y sistemas estructurales de las edificaciones las localidades. Estas distribuciones permitieron hacer una clasificación de las construcciones según estas características, y obtener un modelo de

exposición más detallado. Estas distribuciones de sistemas estructurales se calibraron con la información del tipo de material de los muros reportado en el Censo General de 2005 [8] para las viviendas de cada municipio del departamento por fuera del Valle de Aburrá. Las distribuciones de número de pisos sólo se requieren cuando no se tenga información de esta característica para cada una de las edificaciones de la localidad, como fue el caso de 51 de los 125 municipios del departamento de Antioquia. En algunos casos se aplicó la distribución de número de pisos de un municipio que contaba con información detallada de cada construcción a uno que no la poseía, teniendo como criterios de compatibilidad entre ellos, similitud en el área total en planta construida y el número de habitantes de los municipios.

El modelo de exposición de los municipios del departamento de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá dio como resultado un total de área construida de vivienda de 37.92 km<sup>2</sup> de los cuales 15.98 km<sup>2</sup> (42.1%) corresponden a viviendas cuyo sistema estructural es muros de mampostería no reforzada y 4.81 km<sup>2</sup> (12.7%) corresponde a viviendas con muros de mampostería reforzada como sistema estructural. El costo total de reposición de la infraestructura de vivienda de los municipios del departamento de Antioquia por fuera del Valle de Aburrá es de 37,918,880 MLL COP y el costo comercial es de 66,358,040 MLL COP, siendo los mismos sistemas estructurales antes mencionados, los más representativos en estos términos, ya que los costos de reposición y comerciales por metro cuadrado para estos municipios es independiente de cualquier variable, es decir, no dependen ni del sistema estructural ni del nivel socioeconómico, debido a que no se encontró un criterio válido de distinción.

Se tiene entonces que el costo de reposición total de la infraestructura de vivienda del departamento de Antioquia, es la suma de los costos de reposición antes mencionados, es decir, 136,181,458 MLL COP, el costo comercial es de 322,408,049 MLL COP, correspondientes a un área total construida de 147.94 km<sup>2</sup>.

Las comparaciones entre los resultados obtenidos en este modelo y los obtenidos por otros autores fueron hechas con el objetivo de verificar su coherencia, sin el ánimo de llegar a un valor considerado como cierto, es decir que las suposiciones realizadas, en cuanto a número de viviendas por edificación y número de metros cuadrados por vivienda, para los cálculos de número de edificaciones y número de viviendas, no fueron adaptados para obtener resultados cercanos a los reportados por otros autores o encuestas. Lo que se quiere decir con esto es que las proximidades de los resultados de este trabajo con los reportados en trabajos anteriores generan confiabilidad en la investigación realizada.

A la hora de comparar los modelos de exposición obtenidos con la metodología propuesta en este trabajo con los resultantes de otras metodologías o trabajos previos, se debe tener cuidado con el tipo de variables involucradas en uno y otro modelo, pues es posible que no se haya analizado el mismo inventario de edificaciones o que los modelos de exposición o demás trabajos estén en términos diferentes. A pesar de esto, los autores de este trabajo recomiendan que en futuras revisiones o actualizaciones del modelo de exposición del departamento de Antioquia, se tenga especial cuidado con los municipios en los que la relación entre el número de viviendas resultante de este modelo y el número de viviendas reportado en el Censo General del 2005 [8], resultó mayor a dos (2), y la población del municipio sea mayor a 10,000 habitantes, pues aquellos municipios con una

población menor que ésta, representan un muy bajo porcentaje de la población total del departamento.

Los resultados de los modelos de exposición obtenidos en este trabajo dan un indicio del riesgo sísmico al que está sometida la población del departamento, toda vez que más del 50% del total de área construida de viviendas en los municipios del departamento, incluyendo la subregión del Valle de Aburrá, tiene como sistema de resistencia de fuerza sísmica muros de mampostería no reforzada, sistema estructural no permitido por las normas sismoresistentes actuales debido a su alta vulnerabilidad sísmica. Para el caso de los municipios del Valle de Aburrá, incluyendo la ciudad de Medellín, más del 55% del área construida de viviendas tiene el mismo sistema de resistencia de cargas sísmicas. Para la ciudad de Medellín el área de viviendas construidas con éste sistema representa más del 50% del total de área construida para este fin.

Durante la realización de este proyecto de investigación se encontró que para la generación de un modelo de exposición sísmica en términos de área construida, es indispensable contar con información de área construida en planta y distribución del número de pisos de las construcciones, pues sin esta información es difícil llegar a un modelo que represente correctamente la exposición de la localidad bajo estudio. Es por esto que los mayores esfuerzos en términos económicos y de tiempo deben ser invertidos en la consecución o generación de esta información.

El nivel de detalle de la información a conseguir para la generación de un modelo de exposición depende principalmente de que tan precisos se necesitan los resultados, pues es posible obtener un modelo de exposición utilizando como información de entrada los datos reportados en los censos nacionales, pero los resultados obtenidos de este modelo no serán tan confiables como los que se puede obtener de un modelo que tenga como información de entrada las áreas en planta y el número de pisos de las edificaciones, ya que para generar el primero se deben hacer más suposiciones que para generar el segundo.

Junto con los modelos de vulnerabilidad de cada una de las tipologías estructurales definidas en este trabajo y el modelo de amenaza sísmica del departamento, los resultados obtenidos en este trabajo sirven para estimar de forma adecuada el riesgo sísmico de las edificaciones de vivienda del departamento de Antioquia y con esto desarrollar planes de contingencia para las posibles zonas más afectadas del departamento. Se pueden diseñar también campañas de educación para las poblaciones que estén sometidas a un mayor riesgo sísmico, de modo tal que éstas sepan que precauciones y actitudes tomar durante un eventual terremoto.

En el ANEXO A se encuentran los resultados de los modelos de exposición con un mayor nivel de detalle.

## 5. REFERENCIAS

- [1]. Consorcio Microzonificación 2006, "Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La estrella, Caldas y Envigado". Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Medellín, Colombia, 2007.
- [2]. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. DANE, "Encuesta de Calidad de Vida-2011." DANE, 2011.
- [3]. D. M. Boore and J. J. Bommer, "Engineering seismology", *Encyclopedia of Geology*, pp. 499–515, 2004.
- [4]. S. Molina, "Tectónica Global y Origen de los Sismos" en *Terremotos e infraestructura*, Primera Edición, Ed. Universidad de los Andes, 2004. pp. 38-63.
- [5]. United States Geological Survey. USGS, "LATEST EARTHQUAKES", 2014. [Online]. Disponible en: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>.
- [6]. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, "Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes NSR-98". Bogotá, Republica de Colombia, 1998.
- [7]. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, "Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10", 2010.
- [8]. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. DANE, "Censo General 2005". Bogotá, Republica de Colombia, 2005.
- [9]. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, "Codigo colombiano de construcciones sismo-resistentes NSR-84." Bogotá, Republica de Colombia, 1984.
- [10]. L. G. Mejía, "Non-engineered Unreinforced Brick Masonry Building," *World Housing Encyclopedia*, 2002. [Online]. Disponible en: <http://www.world-housing.net/category/south-america/colombia>.
- [11]. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. DANE, "Cambios sociodemográficos en Colombia: periodo intercensal 1993 - 2005," *ib Revista de la Información Básica*, vol. 2, 2007.
- [12]. R. L. Bonett Díaz, "Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios. Aplicación a Entornos Urbanos en Zonas de Amenaza Alta y Moderada". Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Cataluña, España, 2003.
- [13]. L. F. Restrepo Velez, "Seismic Risk of Unreinforced Masonry Buildings". Tesis doctoral, Università degli Studi di Pavia, Pavia, Lombardía, Italia, 2004.

- [14].C. A. Velázquez, M. G. Mora, D. M. Gonzalez, L. E. Yamín, and O. D. Cardona, “Metodología para el levantamiento de información básica de exposición para la evaluación del riesgo sísmico”, en *V Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Medellín, Antioquia, Colombia, 2011.
- [15].A. E. Baquero, “La sismicidad histórica en Colombia”, *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 44, no. 2, pp. 271–283, 2003.
- [16].F. N. Zora Mejía, “Identificación del Índice de Vulnerabilidad de Escuelas de Medellín”, Trabajo de Grado de Maestría, Universidad EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia, 2013.
- [17].Google Inc., “Street View,” 2014. [Online]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/views/home?gl=us>.
- [18].G. Minke, Construction manual for earthquake-resistant houses built of earth. GATE - BASIN (Building Advisor Service and Information Network) at GTZ GmbH (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), 2001.
- [19].Global Earthquake Model Foundation. GEM, “Global Earthquake Model,” 2014. [Online]. Available: [www.globalquakemodel.org/](http://www.globalquakemodel.org/).
- [20].M. A. Salgado-Gálvez, D. Zuloaga-Romero, G. A. Bernal, M. G. Mora, and O.-D. Cardona, “Fully probabilistic seismic risk assessment considering local site effects for the portfolio of buildings in Medellín, Colombia,” en *Bulletin of Earthquake Engineering*, Nov. 2013

## ANEXOS

### A. ANEXO A – RESULTADOS DE LOS MODELOS DE EXPOSICIÓN

En esta sección se presentan los resultados de los modelos de exposición de viviendas del departamento de Antioquia y de la ciudad de Medellín

**Tabla A.1. Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Medellín	Barbosa	Bello	Caldas	Copacabana
Generales	Id	5001	5079	5088	5129	5212
	Coord_X	834,640	861,620	836,350	827,880	842,070
	Coord_Y	1,184,550	1,203,550	1,192,500	1,165,000	1,193,420
	Población 2010	2,215,196	21,274	412,344	57,898	57,926
	Area Construida	79,323,702	561,512	10,910,575	1,616,953	1,677,597
	Vr Rep [MLL COP]	77,202,741	304,316	6,743,721	933,076	1,004,545
	Vr Com [MLL COP]	198,012,414	982,933	19,556,991	2,830,295	2,937,492
Sistemas estructurales	WMNR	41,041,373	381,964	8,372,203	1,071,606	1,323,055
	WMR	4,536,127	5,383	251,457	33,380	47,320
	WMC	8,150,793	55,751	1,163,105	194,633	195,169
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	1,962,877	8,723	42,952	37,453	5,066
	FCRD	14,863,297	37,982	597,466	160,067	67,140
	WCR	5,268,568	510	270,017	2,449	13,094
	SD	2,779,238	0	33,576	0	0
	WW	112,508	0	0	0	0
	WE	435,056	66,054	158,273	109,414	25,945
	PC	112,508	3,216	9,256	5,484	724
	O	61,354	1,929	12,269	2,466	84
	Parámetros	Municipios				
		Envigado	Girardota	Itagui	La Estrella	Sabaneta
Generales	Id	5266	5308	5360	5380	5631
	Coord_X	833,490	848,740	831,240	827,780	830,030
	Coord_Y	1,174,040	1,196,960	1,174,640	1,172,770	1,171,930
	Población 2010	194,291	54,219	232,925	32,004	38,996
	Area Construida	5,941,541	691,720	6,863,033	995,027	1,446,553
	Vr Rep [MLL COP]	5,459,859	374,364	4,469,476	691,552	1,078,928
	Vr Com [MLL COP]	13,748,740	1,212,664	12,216,767	1,846,653	2,741,061
Sistemas estructurales	WMNR	2,450,556	471,875	4,948,908	615,975	1,063,472
	WMR	356,261	4,217	263,482	37,721	55,659
	WMC	906,585	55,879	938,062	106,509	223,592
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	149,451	7,069	117,011	26,054	13,613
	FCRD	1,250,335	28,276	495,235	104,217	54,452
	WCR	557,138	0	8,930	5	37
	SD	196,623	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	0
	WE	74,333	114,544	87,045	97,047	35,727
	PC	0	6,541	3,464	6,004	0
	O	259	3,317	895	1,494	0

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Apartadó	Arboletes	Carepa	Chigorodó	Murindó
Generales	Id	5045	5051	5147	5172	5475
	Coord_X	719,320	741,990	715,940	712,900	697,280
	Coord_Y	1,363,890	1,471,090	1,350,030	1,340,080	1,263,990
	Población 2010	131,824	14,472	35,883	57,723	1,017
	Area Construida	1,713,236	245,993	431,977	1,327,857	25,156
	Vr Rep [MLL COP]	1,713,236	245,993	431,977	1,327,857	25,156
	Vr Com [MLL COP]	2,998,164	430,487	755,960	2,323,751	44,023
Sistemas estructurales	WMNR	1,145,403	118,129	226,374	788,967	0
	WMR	0	0	0	0	0
	WMC	301,563	26,138	64,832	257,482	0
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	68,258	2,348	4,123	12,673	0
	FCRD	68,258	2,348	4,123	12,673	0
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	86,503	86,249	113,593	174,588	24,492
	WE	25,951	6,469	11,359	81,474	0
PC	17,301	4,312	7,573	0	665	
O	0	0	0	0	0	
	Parámetros	Municipios				
		Mutató	Necoclí	San Juan de Urabá	San Pedro de Uraba	Turbo
Generales	Id	5480	5490	5659	5665	5837
	Coord_X	709,070	702,270	730,590	746,760	708,180
	Coord_Y	1,307,430	1,424,150	1,461,220	1,407,450	1,387,450
	Población 2010	4,895	13,313	7,318	12,936	55,059
	Area Construida	282,115	473,578	75,741	225,518	1,655,431
	Vr Rep [MLL COP]	282,115	473,578	75,741	225,518	1,655,431
	Vr Com [MLL COP]	493,701	828,761	132,547	394,656	2,897,005
Sistemas estructurales	WMNR	150,635	256,837	37,402	110,105	897,796
	WMR	0	0	0	0	0
	WMC	30,630	59,448	7,910	22,974	207,804
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	3,645	18,868	574	633	65,955
	FCRD	3,645	18,868	574	633	65,955
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	88,882	95,645	28,585	86,831	376,129
	WE	2,339	16,738	0	0	25,075
PC	2,339	4,782	0	4,342	16,717	
O	0	2,391	697	0	0	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Vigía del Fuerte	Amagá	Andes	Angelópolis	Betania
Generales	Id	5873	5030	5034	5036	5091
	Coord_X	688,620	820,410	800,790	819,600	789,920
	Coord_Y	1,220,970	1,159,570	1,117,260	1,167,540	1,127,160
	Población 2010	2,094	15,568	20,918	4,794	3,843
	Area Construida	35,271	313,227	467,057	65,263	113,047
	Vr Rep [MLL COP]	35,271	313,227	467,057	65,263	113,047
	Vr Com [MLL COP]	61,724	548,147	817,350	114,210	197,832
Sistemas estructurales	WMNR	1,245	185,676	197,270	25,225	46,161
	WMR	0	33,431	55,398	5,381	13,479
	WMC	267	24,695	41,312	4,322	9,651
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	133	13,967	26,837	2,205	5,457
	FCRD	133	13,967	26,837	2,205	5,457
	WCR	0	0	610	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	32,802	0	0	0	0
	WE	0	41,492	118,793	25,924	32,841
	PC	691	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	
	Parámetros	Municipios				
		Betulia	Ciudad Bolívar	Caramanta	Concordia	Fredonia
Generales	Id	5093	5101	5145	5209	5282
	Coord_X	789,250	784,870	826,780	797,680	823,830
	Coord_Y	1,167,730	1,138,810	1,105,200	1,160,370	1,147,130
	Población 2010	5,509	16,263	2,742	8,421	8,593
	Area Construida	139,709	471,073	96,404	223,558	259,646
	Vr Rep [MLL COP]	139,709	471,073	96,404	223,558	259,646
	Vr Com [MLL COP]	244,491	824,378	168,707	391,227	454,380
Sistemas estructurales	WMNR	16,140	164,667	6,809	100,035	120,050
	WMR	8,840	51,301	600	28,497	32,872
	WMC	7,968	38,523	409	23,228	26,412
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	4,475	18,094	314	7,638	7,949
	FCRD	4,475	18,094	314	7,638	7,949
	WCR	0	364	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	0
	WE	97,810	180,029	87,959	56,522	64,414
	PC	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Hispania	Jardín	Jericó	La Pintada	Montebello
Generales	Id	5353	5364	5368	5390	5467
	Coord_X	797,680	807,380	811,160	831,160	840,190
	Coord_Y	1,133,050	1,110,810	1,132,210	1,126,670	1,149,100
	Población 2010	3,150	7,112	8,144	5,832	2,004
	Area Construida	90,940	246,935	284,951	214,814	61,355
	Vr Rep [MLL COP]	90,940	246,935	284,951	214,814	61,355
	Vr Com [MLL COP]	159,145	432,137	498,664	375,925	107,371
Sistemas estructurales	WMNR	12,367	79,738	123,512	136,463	7,433
	WMR	6,070	23,691	28,528	27,282	4,361
	WMC	5,337	18,022	21,640	21,833	4,240
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	2,102	5,984	8,428	9,382	2,189
	FCRD	2,102	5,984	8,428	9,382	2,189
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	0
	WE	62,961	113,517	94,414	10,473	40,942
PC	0	0	0	0	0	
O	0	0	0	0	0	
	Parámetros	Municipios				
		Pueblorrico	Salgar	Santa Bárbara	Támesis	Tarso
Generales	Id	5576	5642	5679	5789	5792
	Coord_X	805,100	790,170	835,400	819,090	807,040
	Coord_Y	1,132,250	1,151,020	1,141,270	1,118,060	1,140,270
	Población 2010	3,878	8,400	10,477	6,491	3,456
	Area Construida	136,032	237,712	311,291	278,872	60,294
	Vr Rep [MLL COP]	136,032	237,712	311,291	278,872	60,294
	Vr Com [MLL COP]	238,056	415,996	544,759	488,026	105,514
Sistemas estructurales	WMNR	32,468	88,339	196,204	107,441	23,734
	WMR	10,387	24,291	41,270	35,379	9,044
	WMC	9,951	18,689	31,840	21,435	4,118
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	5,193	11,127	14,938	11,460	2,141
	FCRD	5,193	11,127	14,938	11,460	2,141
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	0
	WE	72,839	84,140	12,101	91,698	19,116
PC	0	0	0	0	0	
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Titiribí	Urrao	Valparaíso	Venecia	Abejorral
Generales	Id	5809	5847	5856	5861	5002
	Coord_X	810,350	772,790	828,960	816,870	850,860
	Coord_Y	1,162,250	1,190,380	1,112,680	1,151,080	1,131,890
	Población 2010	7,473	16,229	3,336	6,552	6,439
	Area Construida	211,393	460,173	124,251	281,190	253,776
	Vr Rep [MLL COP]	211,393	460,173	124,251	281,190	253,776
	Vr Com [MLL COP]	369,938	805,302	217,439	492,083	444,107
Sistemas estructurales	WMNR	113,992	192,867	51,387	154,564	42,049
	WMR	31,714	69,216	18,666	42,277	39,995
	WMC	15,428	31,408	8,317	21,614	26,933
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	7,981	16,740	4,325	11,555	12,466
	FCRD	7,981	16,740	4,325	11,555	12,466
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	923
	WE	34,298	133,203	37,231	39,626	118,943
	PC	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	
	Parámetros	Municipios				
		Alejandría	Argelia	El Carmen de Viboral	Cocorná	Concepción
Generales	Id	5021	5055	5148	5197	5206
	Coord_X	882,740	882,430	861,160	877,760	869,730
	Coord_Y	1,196,730	1,125,270	1,163,920	1,161,400	1,198,690
	Población 2010	1,845	2,717	26,338	3,972	1,453
	Area Construida	44,934	85,871	840,776	209,156	78,686
	Vr Rep [MLL COP]	44,934	85,871	840,776	209,156	78,686
	Vr Com [MLL COP]	78,634	150,275	1,471,357	366,024	137,700
Sistemas estructurales	WMNR	13,660	27,516	183,489	26,709	10,159
	WMR	12,578	21,047	178,589	29,637	7,745
	WMC	3,624	6,647	123,895	20,209	4,533
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	2,353	4,365	52,723	8,641	2,167
	FCRD	2,353	4,365	52,723	8,641	2,167
	WCR	0	0	1,046	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	0
	WE	10,365	21,931	248,312	115,320	51,915
	PC	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Granada	Guarne	Guatapé	La Ceja	La Unión
Generales	Id	5313	5318	5321	5376	5400
	Coord_X	877,770	849,400	880,670	850,580	858,190
	Coord_Y	1,170,940	1,186,020	1,180,830	1,158,400	1,152,260
	Población 2010	3,799	15,633	4,201	42,218	10,105
	Area Construida	169,799	535,673	209,160	1,899,279	394,432
	Vr Rep [MLL COP]	169,799	535,673	209,160	1,899,279	394,432
	Vr Com [MLL COP]	297,149	937,428	366,030	3,323,739	690,255
Sistemas estructurales	WMNR	37,790	66,884	86,882	778,016	66,254
	WMR	35,933	48,751	44,400	422,909	60,873
	WMC	24,313	37,852	35,428	340,886	43,815
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	8,116	17,167	13,220	119,099	16,626
	FCRD	8,116	17,167	13,220	119,099	16,626
	WCR	0	0	0	2,362	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	0
	WE	55,532	340,492	16,009	116,909	190,237
PC	0	7,361	0	0	0	
O	0	0	0	0	0	
	Parámetros	Municipios				
		Marinilla	Nariño	Peñol	Retiro	Rionegro
Generales	Id	5440	5483	5541	5607	5615
	Coord_X	860,930	878,490	871,530	842,570	856,790
	Coord_Y	1,174,330	1,111,840	1,179,140	1,161,550	1,171,890
	Población 2010	37,282	2,513	8,780	9,053	71,761
	Area Construida	1,216,278	111,697	276,410	311,664	3,347,706
	Vr Rep [MLL COP]	1,216,278	111,697	276,410	311,664	3,347,706
	Vr Com [MLL COP]	2,128,487	195,470	483,717	545,411	5,858,486
Sistemas estructurales	WMNR	384,294	47,999	129,125	117,985	1,263,802
	WMR	297,421	24,638	58,767	70,580	852,971
	WMC	205,822	20,024	49,161	55,431	635,197
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	76,269	4,887	16,289	16,208	209,925
	FCRD	76,269	4,887	16,289	16,208	209,925
	WCR	1,512	0	658	742	4,163
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	926	0	0	0
	WE	174,690	8,335	6,121	34,511	171,722
PC	0	0	0	0	0	
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		San Carlos	San Francisco	San Luis	San Rafael	San Vicente
Generales	Id	5649	5652	5660	5667	5674
	Coord_X	899,200	886,990	898,870	895,220	861,480
	Coord_Y	1,175,870	1,151,030	1,159,730	1,187,600	1,186,310
	Población 2010	6,111	2,385	4,694	6,315	7,197
	Area Construida	326,562	104,357	138,436	205,437	157,955
	Vr Rep [MLL COP]	326,562	104,357	138,436	205,437	157,955
	Vr Com [MLL COP]	571,484	182,625	242,263	359,515	276,421
Sistemas estructurales	WMNR	157,879	51,119	67,840	92,199	40,678
	WMR	67,617	21,490	28,490	48,232	38,296
	WMC	56,377	18,130	24,082	37,353	27,319
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	13,409	4,068	5,407	10,092	8,828
	FCRD	13,409	4,068	5,407	10,092	8,828
	WCR	0	0	0	0	24
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	0
	WE	17,871	5,482	7,210	7,469	33,983
PC	0	0	0	0	0	
O	0	0	0	0	0	
	Parámetros	Municipios				
		El Santuario	Sonson	Abriaquí	Santafé de Antioquia	Anzá
Generales	Id	5697	5756	5004	5042	5044
	Coord_X	868,940	863,790	780,650	806,790	803,810
	Coord_Y	1,170,390	1,122,850	1,225,230	1,217,030	1,188,780
	Población 2010	21,583	15,367	811	14,674	1,214
	Area Construida	636,353	750,955	24,313	460,344	58,060
	Vr Rep [MLL COP]	636,353	750,955	24,313	460,344	58,060
	Vr Com [MLL COP]	1,113,617	1,314,171	42,548	805,603	101,604
Sistemas estructurales	WMNR	138,019	158,515	3,549	148,308	23,931
	WMR	135,167	113,875	1,592	35,382	3,885
	WMC	93,771	83,420	1,602	49,982	4,029
	WMS	0	0	840	22,496	1,921
	FCRND	32,947	31,654	1,592	29,163	3,885
	FCRD	32,947	31,654	1,592	29,163	3,885
	WCR	791	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	168	0	384
	WE	202,710	331,836	13,044	145,850	15,372
PC	0	0	336	0	769	
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Armenia	Buriticá	Caicedo	Cañasgordas	Dabeiba
Generales	Id	5059	5113	5125	5138	5234
	Coord_X	810,640	798,020	789,550	785,070	758,650
	Coord_Y	1,172,546	1,234,830	1,200,180	1,238,090	1,266,220
	Población 2010	1,673	1,497	1,549	5,957	8,781
	Area Construida	47,643	32,683	44,157	164,715	269,136
	Vr Rep [MLL COP]	47,643	32,683	44,157	164,715	269,136
	Vr Com [MLL COP]	83,375	57,196	77,275	288,251	470,988
	WMNR	25,623	7,526	3,972	65,205	90,579
WMR	4,784	1,833	1,869	11,562	16,101	
WMC	5,191	2,229	2,353	14,922	19,594	
WMS	2,517	902	586	5,249	10,813	
FCRND	3,506	1,649	568	7,645	9,797	
FCRD	3,506	1,649	568	7,645	9,797	
WCR	0	0	0	0	0	
SD	0	0	0	0	0	
WW	0	0	0	0	21,626	
WE	2,517	16,897	34,241	52,486	86,504	
PC	0	0	0	0	2,163	
O	0	0	0	0	2,163	
	Parámetros	Municipios				
		Ebéjico	Frontino	Giraldo	Heliconia	Liborina
Generales	Id	5240	5284	5306	5347	5411
	Coord_X	813,380	773,440	793,010	816,990	808,540
	Coord_Y	1,190,300	1,241,000	1,230,600	1,178,050	1,230,280
	Población 2010	2,172	7,319	1,270	2,954	1,800
	Area Construida	118,185	219,065	49,777	69,823	148,918
	Vr Rep [MLL COP]	118,185	219,065	49,777	69,823	148,918
	Vr Com [MLL COP]	206,824	383,363	87,110	122,191	260,606
	WMNR	26,096	64,632	10,643	20,192	39,977
WMR	5,240	15,190	3,058	4,529	8,857	
WMC	6,101	29,155	5,264	9,058	15,129	
WMS	2,343	7,329	828	2,453	2,586	
FCRND	2,282	11,070	2,218	3,302	7,564	
FCRD	2,282	11,070	2,218	3,302	7,564	
WCR	0	0	0	0	0	
SD	0	0	0	0	0	
WW	0	0	0	0	0	
WE	73,841	80,618	25,549	26,986	67,240	
PC	0	0	0	0	0	
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Olaya	Peque	Sabanalarga	San Jerónimo	Sopetrán
Generales	Id	5501	5543	5628	5656	5761
	Coord_X	813,780	797,900	808,050	817,950	816,140
	Coord_Y	1,223,010	1,268,390	1,249,220	1,204,350	1,210,700
	Población 2010	283	1,819	2,767	3,833	6,472
	Area Construida	35,367	51,925	71,407	335,616	261,874
	Vr Rep [MLL COP]	35,367	51,925	71,407	335,616	261,874
	Vr Com [MLL COP]	61,891	90,870	124,963	587,328	458,280
Sistemas estructurales	WMNR	4,336	19,494	16,564	186,461	69,920
	WMR	1,950	3,465	4,632	28,005	18,565
	WMC	2,137	4,371	5,822	39,126	24,068
	WMS	687	1,776	2,509	6,955	8,141
	FCRND	1,589	2,528	3,377	23,624	13,976
	FCRD	1,589	2,528	3,377	23,624	13,976
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	0
	WE	23,078	17,763	35,125	27,820	113,228
	O	0	0	0	0	0
	Parámetros	Municipios				
		Uramita	Angostura	Belmira	Briceño	Campamento
Generales	Id	5842	5038	5086	5107	5134
	Coord_X	768,560	861,410	824,650	837,610	865,720
	Coord_Y	1,254,890	1,253,040	1,222,160	1,278,090	1,263,420
	Población 2010	2,510	1,951	1,805	2,393	2,720
	Area Construida	51,492	87,785	81,940	37,344	29,291
	Vr Rep [MLL COP]	51,492	87,785	81,940	37,344	29,291
	Vr Com [MLL COP]	90,111	153,623	143,395	65,353	51,259
Sistemas estructurales	WMNR	24,609	20,793	19,409	5,774	13,560
	WMR	5,149	13,101	12,229	2,809	2,929
	WMC	6,008	4,456	4,159	1,893	1,844
	WMS	1,809	0	0	0	0
	FCRND	2,435	3,036	2,834	78	779
	FCRD	2,435	3,036	2,834	78	779
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	362	0	1,085	553	0
	WE	8,684	43,363	37,764	25,328	9,399
	O	0	0	1,627	830	0
		0	0	0	0	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Carolina	Don Matías	Entrerrios	Gómez Plata	Guadalupe
Generales	Id	5150	5237	5264	5310	5315
	Coord_X	867,180	855,000	841,150	874,130	871,860
	Coord_Y	1,235,190	1,208,880	1,217,700	1,230,530	1,245,170
	Población 2010	2,981	12,984	4,598	5,517	2,012
	Area Construida	116,282	329,484	141,621	174,195	58,249
	Vr Rep [MLL COP]	116,282	329,484	141,621	174,195	58,249
	Vr Com [MLL COP]	203,494	576,597	247,836	304,842	101,935
Sistemas estructurales	WMNR	22,428	168,914	80,248	45,975	9,655
	WMR	7,299	35,991	14,162	17,420	1,292
	WMC	2,971	33,697	14,162	17,420	1,284
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	3,103	28,259	4,999	6,148	180
	FCRD	3,103	28,259	4,999	6,148	180
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	0
	WE	77,378	34,364	23,051	79,924	45,656
PC	0	0	0	1,161	0	
O	0	0	0	0	0	
	Parámetros	Municipios				
		Ituango	San Andrés de Cuerquia	San José De La Montaña	San Pedro de los Milagros	Santa Rosa de Osos
Generales	Id	5361	5647	5658	5664	5686
	Coord_X	814,010	823,710	822,790	836,740	847,300
	Coord_Y	1,284,880	1,256,310	1,249,230	1,206,140	1,226,740
	Población 2010	5,917	2,490	2,135	12,512	16,751
	Area Construida	152,763	89,621	87,541	429,773	352,740
	Vr Rep [MLL COP]	152,763	89,621	87,541	429,773	352,740
	Vr Com [MLL COP]	267,335	156,836	153,196	752,103	617,294
Sistemas estructurales	WMNR	57,660	19,837	22,167	234,487	144,047
	WMR	15,738	3,169	2,268	46,947	38,532
	WMC	15,307	2,947	2,268	43,953	36,075
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	4,228	2,586	2,329	44,527	36,546
	FCRD	4,228	2,586	2,329	44,527	36,546
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	1,019	0	0	0	0
	WE	54,582	58,494	56,178	15,333	60,994
PC	0	0	0	0	0	
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Toledo	Valdivia	Yarumal	Amalfi	Anorí
Generales	Id	5819	5854	5887	5031	5040
	Coord_X	821,990	855,380	852,300	889,930	882,130
	Coord_Y	1,267,050	1,298,090	1,261,670	1,255,580	1,273,820
	Población 2010	1,141	5,684	28,576	11,611	6,039
	Area Construida	42,851	41,652	749,320	401,684	129,733
	Vr Rep [MLL COP]	42,851	41,652	749,320	401,684	129,733
	Vr Com [MLL COP]	74,989	72,891	1,311,309	702,947	227,032
Sistemas estructurales	WMNR	9,049	24,331	408,834	218,183	44,337
	WMR	1,306	2,903	68,486	66,293	21,521
	WMC	1,306	4,174	76,634	40,168	9,019
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	1,386	3,040	77,633	19,894	6,469
	FCRD	1,386	3,040	77,633	19,894	6,469
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	1,389	13,366	12,417	3,955
	WE	28,419	2,777	26,733	24,834	34,801
	PC	0	0	0	0	2,373
O	0	0	0	0	791	
	Parámetros	Municipios				
		Cisneros	Remedios	San Roque	Santo Domingo	Segovia
Generales	Id	5190	5604	5670	5690	5736
	Coord_X	888,680	931,950	896,240	880,220	931,400
	Coord_Y	1,214,570	1,268,740	1,208,580	1,207,160	1,274,320
	Población 2010	7,713	9,347	6,146	2,089	30,041
	Area Construida	267,731	263,230	241,545	196,632	925,446
	Vr Rep [MLL COP]	267,731	263,230	241,545	196,632	925,446
	Vr Com [MLL COP]	468,530	460,652	422,703	344,107	1,619,531
Sistemas estructurales	WMNR	52,735	106,656	99,938	41,185	299,481
	WMR	30,402	38,501	56,137	32,340	155,497
	WMC	15,377	19,424	16,326	12,677	62,552
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	10,703	14,828	10,466	6,310	40,099
	FCRD	10,703	14,828	10,466	6,310	40,099
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	468	55,194	0	0	131,087
	WE	146,407	6,899	46,656	97,810	178,755
	PC	468	5,519	1,555	0	5,959
O	468	1,380	0	0	11,917	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Vegachí	Yalí	Yolombó	Caracolí	Maceo
Generales	Id	5858	5885	5890	5142	5425
	Coord_X	920,560	915,970	897,270	925,180	921,830
	Coord_Y	1,240,660	1,229,730	1,221,250	1,200,180	1,216,060
	Población 2010	6,084	3,048	6,657	2,909	2,930
	Area Construida	163,571	71,691	122,385	82,810	84,629
	Vr Rep [MLL COP]	163,571	71,691	122,385	82,810	84,629
	Vr Com [MLL COP]	286,249	125,459	214,174	144,918	148,100
	Sistemas estructurales	WMNR	49,399	25,205	31,856	23,364
WMR		27,090	11,791	20,564	11,837	5,667
WMC		10,733	4,622	8,272	7,406	4,865
WMS		0	0	0	0	0
FCRND		5,555	2,301	5,303	3,262	2,365
FCRD		5,555	2,301	5,303	3,262	2,365
WCR		0	0	0	0	0
SD		0	0	0	0	0
WW		5,624	0	788	468	468
WE		56,241	25,472	50,299	32,743	60,698
PC	1,125	0	0	0	0	
O	2,250	0	0	468	0	
	Parámetros	Municipios				
		Puerto Berrío	Puerto Nare	Puerto Triunfo	Yondó	Cáceres
Generales	Id	5579	5585	5591	5893	5120
	Coord_X	964,220	943,820	938,060	1,018,850	859,940
	Coord_Y	1,209,200	1,177,700	1,140,800	1,266,490	1,329,760
	Población 2010	38,057	7,296	5,453	8,285	7,439
	Area Construida	766,539	374,998	70,323	306,789	136,053
	Vr Rep [MLL COP]	766,539	374,998	70,323	306,789	136,053
	Vr Com [MLL COP]	1,341,443	656,247	123,064	536,881	238,092
	Sistemas estructurales	WMNR	340,751	205,357	36,524	116,018
WMR		94,608	64,194	12,038	52,518	8,010
WMC		59,021	37,500	7,032	30,679	9,188
WMS		0	0	0	0	0
FCRND		47,914	18,088	3,392	14,798	1,947
FCRD		47,914	18,088	3,392	14,798	1,947
WCR		0	0	0	0	0
SD		0	0	0	0	0
WW		167,933	31,772	7,944	74,514	39,166
WE		4,198	0	0	0	33,571
PC	0	0	0	1,733	1,119	
O	4,198	0	0	1,733	4,476	

**Tabla A.1 (continuación). Modelo de exposición del departamento de Antioquia en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada municipio**

	Parámetros	Municipios				
		Caucasia	El Bagre	Nechí	Tarazá	Zaragoza
Generales	Id	5154	5250	5495	5790	5895
	Coord_X	876,880	920,360	922,770	854,430	913,180
	Coord_Y	1,374,770	1,331,650	1,386,930	1,330,130	1,319,670
	Población 2010	80,179	25,691	12,246	21,927	13,259
	Area Construida	2,332,924	787,657	160,401	237,737	331,007
	Vr Rep [MLL COP]	2,332,924	787,657	160,401	237,737	331,007
	Vr Com [MLL COP]	4,082,617	1,378,400	280,702	416,039	579,263
Sistemas estructurales	WMNR	1,394,889	471,201	39,854	107,953	163,919
	WMR	233,292	78,766	9,444	23,774	33,101
	WMC	266,272	117,974	10,832	35,608	49,578
	WMS	0	0	0	0	0
	FCRND	53,119	11,270	2,295	3,402	4,736
	FCRD	53,119	11,270	2,295	3,402	4,736
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	249,174	38,870	46,175	1,955	43,560
	WE	66,446	25,914	48,187	44,045	28,655
	PC	16,612	0	0	1,955	0
O	0	32,392	1,319	15,643	2,722	

**Tabla A.2. Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Toscana	Doce de Octubre Nº 1	Santander	Santo Domingo Savio Nº 1	Santo Domingo Savio Nº 2
Generales	Id	1	2	3	4	5
	Coord_X	836,081	833,793	834,294	837,701	838,159
	Coord_Y	1,189,468	1,189,421	1,189,428	1,188,312	1,188,569
	Población 2015	9,884	22,816	22,038	21,496	8,566
	Area Construida	150,266	299,248	311,006	382,175	120,100
	Vr Rep [MLL COP]	95,736	149,624	155,503	193,300	60,050
	Vr Com [MLL COP]	262,966	523,684	544,261	668,806	210,176
Sistemas estructurales	WMNR	110,377	256,803	261,839	327,662	106,841
	WMR	4,526	0	0	253	0
	WMC	16,759	29,019	31,075	34,694	8,004
	FCRND	13,384	6,838	11,273	9,575	1,706
	FCRD	3,346	1,837	2,818	2,421	426
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	376	1,774	1,501	2,325	433
	WE	988	1,183	1,000	1,650	288
	PC	376	1,774	1,501	2,325	433
	O	134	20	0	1,270	1,971

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		La Frontera	Pedregal	Trece de Noviembre	Granizal	Doce de Octubre N° 2
Generales	Id	6	7	8	9	10
	Coord_X	836,385	834,454	838,026	837,434	833,804
	Coord_Y	1,189,206	1,188,746	1,182,806	1,187,820	1,188,711
	Población 2015	5,458	27,401	6,565	12,915	19,531
	Area Construida	129,443	540,088	133,774	206,069	308,684
	Vr Rep [MLL COP]	65,918	398,071	66,887	103,035	158,705
	Vr Com [MLL COP]	226,525	945,153	234,105	360,621	540,197
Sistemas estructurales	WMNR	106,531	355,061	119,104	175,281	260,265
	WMR	118	28,788	0	0	504
	WMC	13,606	66,087	10,454	19,957	30,941
	FCRND	6,109	69,475	2,034	6,677	10,818
	FCRD	1,527	17,369	509	1,669	2,705
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	512	25	80	726	1,133
	WE	459	3,257	54	484	1,185
	PC	512	25	80	726	1,133
	O	70	0	1,458	547	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Llanaditas	Palenque	Robledo	Brasilia	Ferrini
Generales	Id	11	12	13	14	15
	Coord_X	838,134	832,073	831,711	835,973	831,829
	Coord_Y	1,183,457	1,186,352	1,185,973	1,185,795	1,185,230
	Población 2015	6,481	10,610	6,618	12,466	4,300
	Area Construida	89,984	225,796	215,958	310,813	187,260
	Vr Rep [MLL COP]	44,992	213,002	159,461	213,980	240,232
	Vr Com [MLL COP]	157,472	507,189	417,180	543,922	582,029
Sistemas estructurales	WMNR	82,882	110,237	134,157	221,427	63,229
	WMR	0	21,411	5,915	11,516	25,191
	WMC	3,587	31,477	21,677	36,947	23,687
	FCRND	604	30,469	10,210	29,805	43,206
	FCRD	151	20,503	15,407	7,632	22,666
	WCR	0	7,938	16,566	72	6,608
	SD	0	2,320	9,168	0	1,982
	WW	16	0	503	514	64
	WE	11	1,441	1,851	2,386	563
	PC	16	0	503	514	64
	O	2,718	0	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		San Pedro	Sevilla	Estación Villa	Jesús Nazareno	San Benito
Generales	Id	16	17	18	19	20
	Coord_X	835,843	835,397	834,911	835,101	834,455
	Coord_Y	1,184,993	1,184,940	1,183,746	1,184,214	1,183,593
	Población 2015	4,410	2,936	1,092	2,740	1,774
	Area Construida	207,505	198,215	190,672	302,780	513,334
	Vr Rep [MLL COP]	129,411	146,660	141,097	230,947	410,697
	Vr Com [MLL COP]	363,133	346,876	333,675	546,669	973,530
Sistemas estructurales	WMNR	157,618	116,347	117,560	184,057	232,073
	WMR	3,881	7,572	8,533	13,318	31,227
	WMC	21,615	21,943	25,181	36,998	63,394
	FCRND	11,062	16,083	20,473	29,604	57,878
	FCRD	5,260	19,304	12,012	23,155	73,293
	WCR	2,391	11,706	4,136	11,095	41,446
	SD	1,161	2,867	132	1,131	10,182
	WW	1,192	1	0	0	0
	WE	2,130	2,390	2,645	3,423	3,840
	O	1,192	1	0	0	0
		0	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Velódromo	La Candelaria	Corazón de Jesús	Florida Nueva	Cementerio Universal
Generales	Id	21	22	23	24	25
	Coord_X	831,988	835,198	834,021	832,495	834,398
	Coord_Y	1,183,590	1,183,063	1,183,118	1,183,271	1,186,299
	Población 2015	5,532	3,606	581	6,452	0
	Area Construida	340,309	1,659,221	228,234	327,482	13,194
	Vr Rep [MLL COP]	481,676	1,903,740	262,469	433,186	9,764
	Vr Com [MLL COP]	1,161,651	4,556,144	627,644	1,042,030	23,089
Sistemas estructurales	WMNR	130,061	321,065	114,916	104,203	9,597
	WMR	46,579	123,535	25,466	38,591	441
	WMC	45,198	120,458	26,140	35,690	1,461
	FCRND	67,663	160,028	23,703	59,225	1,066
	FCRD	37,883	391,018	22,135	59,573	267
	WCR	9,429	416,480	10,780	24,756	0
	SD	3,239	122,858	1,971	4,469	0
	WW	0	1	0	0	0
	WE	257	3,777	3,123	975	361
	O	0	1	0	0	0
		0	0	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Altamira	Bermejál - Los Álamos	Bosques de San Pablo	El Progreso	Miranda
Generales	Id	26	27	28	29	30
	Coord_X	833,556	835,404	833,623	834,066	835,624
	Coord_Y	1,186,414	1,186,529	1,185,896	1,185,807	1,185,895
	Población 2015	7,633	7,645	1,984	5,808	7,552
	Area Construida	265,094	164,157	137,520	265,282	200,929
	Vr Rep [MLL COP]	301,646	82,079	155,870	256,872	103,575
	Vr Com [MLL COP]	721,174	287,275	372,625	611,959	351,625
Sistemas estructurales	WMNR	49,797	136,163	69,398	167,532	165,915
	WMR	39,356	0	18,333	22,737	627
	WMC	30,739	17,079	17,333	31,575	21,019
	FCRND	50,501	6,252	21,721	24,765	7,885
	FCRD	47,504	2,596	7,680	6,422	2,023
	WCR	34,668	0	2,197	4,689	0
	SD	11,178	0	0	3,064	0
	WW	0	686	0	0	1,269
	WE	1,350	458	858	4,498	921
	PC	0	686	0	0	1,269
	O	0	236	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Moravia	El Chagualo	Carlos E. Restrepo	Los Colores	Caribe
Generales	Id	31	32	33	34	35
	Coord_X	835,173	834,706	833,693	832,144	834,451
	Coord_Y	1,186,295	1,184,393	1,183,937	1,184,998	1,185,369
	Población 2015	40,651	6,461	5,197	12,693	914
	Area Construida	403,222	266,476	294,798	591,351	249,671
	Vr Rep [MLL COP]	201,611	197,192	340,003	768,862	184,586
	Vr Com [MLL COP]	705,638	466,333	813,259	1,848,236	436,925
Sistemas estructurales	WMNR	330,878	93,572	77,047	131,405	180,047
	WMR	0	3,473	34,063	63,754	7,796
	WMC	42,810	15,102	35,614	61,254	32,318
	FCRND	20,610	8,483	56,601	100,394	19,850
	FCRD	5,629	37,698	47,933	107,970	5,049
	WCR	0	62,327	32,996	86,089	35
	SD	0	43,055	8,880	39,574	0
	WW	908	0	0	0	21
	WE	605	2,766	1,664	911	4,534
	PC	908	0	0	0	21
	O	872	0	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Universidad Nacional	Cuarta Brigada	Cerro El Volador	Liceo Universidad de Antioquia	Jardin Botanico
Generales	Id	36	37	38	39	40
	Coord_X	834,124	832,700	833,510	832,836	835,522
	Coord_Y	1,184,509	1,184,422	1,185,035	1,185,552	1,185,385
	Población 2015	0	7,310	1,439	0	0
	Area Construida	91,176	386,723	74,946	13,729	10,504
	Vr Rep [MLL COP]	45,588	444,731	52,822	6,865	7,773
	Vr Com [MLL COP]	159,557	1,063,487	131,156	24,026	18,383
Sistemas estructurales	WMNR	73,487	88,784	56,710	12,681	8,278
	WMR	0	30,710	1,777	0	179
	WMC	10,594	28,988	9,041	724	1,117
	FCRND	4,969	34,043	4,837	0	429
	FCRD	1,242	63,495	1,209	0	107
	WCR	0	91,252	0	0	0
	SD	0	46,653	0	0	0
	WW	0	0	27	0	0
	WE	0	2,797	1,318	0	395
	PC	0	0	27	0	0
	O	883	0	0	324	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Universidad de Antioquia	Parque Norte	Hospital S. V. de P.	Florencia	Las Brisas
Generales	Id	41	42	43	44	45
	Coord_X	834,896	835,038	835,347	835,161	835,732
	Coord_Y	1,185,050	1,185,577	1,184,542	1,189,797	1,189,571
	Población 2015	0	0	0	14,985	9,981
	Area Construida	123,878	15,527	52,972	257,841	198,895
	Vr Rep [MLL COP]	91,670	11,490	39,200	190,229	144,420
	Vr Com [MLL COP]	216,787	27,172	92,702	451,221	348,066
Sistemas estructurales	WMNR	67,558	11,516	36,328	173,081	127,527
	WMR	9,418	481	2,035	12,845	11,084
	WMC	17,642	1,815	6,834	31,701	24,717
	FCRND	22,807	1,153	4,823	30,893	27,274
	FCRD	5,702	288	2,009	7,723	6,819
	WCR	0	0	392	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	5	184
	WE	752	274	552	1,587	1,106
	PC	0	0	0	5	184
	O	0	0	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		La Esperanza	Santa Cruz	Moscú Nº 1	La Rosa	La Esperanza Nº 2
Generales	Id	46	47	48	49	50
	Coord_X	834,068	836,002	836,493	836,038	837,945
	Coord_Y	1,187,851	1,187,883	1,187,699	1,187,601	1,187,673
	Población 2015	20,368	12,777	9,771	7,130	2,866
	Area Construida	531,002	236,490	170,629	160,799	49,942
	Vr Rep [MLL COP]	384,818	118,245	88,398	80,400	24,971
	Vr Com [MLL COP]	929,253	413,857	298,600	281,398	87,399
Sistemas estructurales	WMNR	334,580	200,037	141,001	134,693	43,642
	WMR	31,491	0	574	0	0
	WMC	65,245	22,967	17,394	16,402	4,243
	FCRND	77,363	8,108	7,821	6,449	1,119
	FCRD	19,818	2,037	2,009	1,612	280
	WCR	274	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	77	1,071	549	593	107
	WE	2,077	714	463	395	71
	PC	77	1,071	549	593	107
	O	0	485	271	62	374
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Moscú Nº 2	San Isidro	Berlín	Bello Horizonte	La Francia
Generales	Id	51	52	53	54	55
	Coord_X	837,064	835,858	836,423	832,659	836,389
	Coord_Y	1,187,552	1,187,188	1,187,076	1,186,723	1,188,790
	Población 2015	16,699	19,105	11,987	8,566	13,298
	Area Construida	250,154	383,742	278,537	225,314	225,134
	Vr Rep [MLL COP]	126,384	245,453	196,836	135,367	116,535
	Vr Com [MLL COP]	437,770	671,548	487,439	408,090	393,985
Sistemas estructurales	WMNR	212,174	288,799	197,061	164,794	189,822
	WMR	130	9,690	10,468	4,680	619
	WMC	24,060	43,659	34,112	26,444	22,130
	FCRND	8,571	28,971	26,908	19,359	7,297
	FCRD	2,143	7,721	6,905	6,822	1,824
	WCR	0	191	71	1,383	0
	SD	0	0	0	605	0
	WW	940	710	219	298	1,186
	WE	718	2,867	2,557	617	911
	PC	940	710	219	298	1,186
	O	479	424	17	14	158

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Córdoba	Aranjuez	Villa Flora	Las Esmeraldas	Popular
Generales	Id	56	57	58	59	60
	Coord_X	834,097	835,839	832,508	836,513	837,376
	Coord_Y	1,186,501	1,186,510	1,186,393	1,186,319	1,188,683
	Población 2015	6,367	10,634	5,495	6,084	22,924
	Area Construida	194,489	297,981	167,460	144,241	360,375
	Vr Rep [MLL COP]	127,977	210,500	124,991	101,257	180,187
	Vr Com [MLL COP]	340,355	521,467	336,775	266,515	630,656
	Sistemas estructurales	WMNR	134,487	200,550	102,689	98,997
WMR		6,917	12,297	10,412	6,433	0
WMC		24,703	38,402	21,087	17,294	33,137
FCRND		20,816	31,076	20,086	16,638	10,065
FCRD		5,857	11,017	9,445	4,160	2,516
WCR		0	1,451	2,534	0	0
SD		0	0	0	0	0
WW		159	235	262	88	1,700
WE		1,318	2,718	681	542	1,133
PC		159	235	262	88	1,700
O	73	0	0	0	1,060	
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Suburbano Palmitas	Girardot	Belalcázar	San Martín de Porres	Palmitas
Generales	Id	61	62	63	64	65
	Coord_X	821,523	834,924	835,439	833,660	822,886
	Coord_Y	1,193,455	1,188,385	1,188,189	1,188,044	1,194,080
	Población 2015	840	14,728	6,980	15,742	271
	Area Construida	21,003	310,750	105,653	316,991	6,774
	Vr Rep [MLL COP]	14,343	228,262	69,825	189,330	5,013
	Vr Com [MLL COP]	36,756	555,013	184,892	554,734	11,855
	Sistemas estructurales	WMNR	17,740	205,009	76,305	240,983
WMR		71	16,062	3,373	7,256	5
WMC		2,419	39,480	12,903	34,906	699
FCRND		172	38,480	9,821	25,084	12
FCRD		43	9,620	2,455	6,271	3
WCR		0	0	0	0	0
SD		0	0	0	0	0
WW		68	161	148	680	0
WE		423	1,777	500	1,112	315
PC		68	161	148	680	0
O	0	0	0	19	0	

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Suburbano Palma Patio	Suburbano Urquita	La Palma Patio	La Cuchilla	Suburbano La Cuchilla
Generales	Id	66	67	68	69	70
	Coord_X	826,079	820,248	824,025	824,966	825,688
	Coord_Y	1,186,204	1,196,127	1,186,156	1,188,242	1,187,724
	Población 2015	2,633	304	550	250	350
	Area Construida	73,200	7,613	15,284	6,942	9,719
	Vr Rep [MLL COP]	54,915	3,806	7,642	5,137	7,089
	Vr Com [MLL COP]	129,923	13,322	26,748	12,149	17,008
Sistemas estructurales	WMNR	60,756	6,564	13,129	5,901	8,201
	WMR	558	0	0	0	21
	WMC	8,383	589	1,158	739	1,087
	FCRND	903	0	8	0	50
	FCRD	226	0	2	0	12
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	172	370	0	5
	WE	2,375	115	247	302	337
	PC	0	172	370	0	5
	O	0	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Metropolitano	Los Alcázares	La Floresta	Barrio Cristóbal	Bomboná N° 1
Generales	Id	71	72	73	74	75
	Coord_X	830,510	830,880	831,341	830,454	835,693
	Coord_Y	1,184,631	1,184,319	1,183,815	1,182,901	1,182,418
	Población 2015	3,454	4,892	9,845	4,741	8,118
	Area Construida	72,027	236,014	422,604	196,493	320,978
	Vr Rep [MLL COP]	58,717	208,631	487,674	190,618	337,732
	Vr Com [MLL COP]	148,934	495,904	1,167,920	454,138	806,121
Sistemas estructurales	WMNR	46,943	125,265	187,757	93,600	106,690
	WMR	4,565	21,280	45,708	17,390	22,611
	WMC	8,424	32,258	49,565	23,971	25,487
	FCRND	9,215	40,129	62,897	26,998	24,510
	FCRD	2,304	13,147	45,151	18,696	45,895
	WCR	0	2,461	23,027	10,518	57,135
	SD	0	98	5,803	3,112	35,298
	WW	90	0	0	0	0
	WE	369	1,376	2,695	2,210	3,352
	PC	90	0	0	0	0
	O	27	0	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Buenos Aires	Villa Turbay	Las Mercedes	Cerro Nutibara	Villa Lilliam
Generales	Id	76	77	78	79	80
	Coord_X	836,367	839,249	830,423	833,782	838,918
	Coord_Y	1,182,083	1,181,723	1,181,550	1,181,561	1,181,546
	Población 2015	6,840	5,819	11,015	1,504	6,988
	Area Construida	315,592	47,332	342,474	93,922	103,291
	Vr Rep [MLL COP]	233,538	23,666	369,726	105,560	51,646
	Vr Com [MLL COP]	552,285	82,832	886,524	270,345	180,759
Sistemas estructurales	WMNR	210,932	43,816	125,994	43,710	88,711
	WMR	14,328	0	20,096	8,973	0
	WMC	42,009	1,672	33,241	10,760	9,548
	FCRND	34,329	251	38,711	13,709	2,082
	FCRD	10,046	63	48,512	11,890	520
	WCR	585	0	37,106	3,370	0
	SD	0	0	37,471	0	0
	WW	0	0	8	523	900
	WE	3,363	0	1,327	464	600
	O	0	1,530	0	0	29
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Fátima	Rosales	Nueva Villa del Aburrá	Granada	La Isla
Generales	Id	81	82	83	84	85
	Coord_X	833,146	832,507	831,058	832,235	836,971
	Coord_Y	1,181,518	1,181,497	1,181,538	1,180,925	1,189,009
	Población 2015	7,509	11,286	3,082	3,888	15,180
	Area Construida	434,859	442,858	141,661	172,807	206,999
	Vr Rep [MLL COP]	503,598	626,962	201,200	163,858	103,500
	Vr Com [MLL COP]	1,206,259	1,512,919	485,395	390,169	362,248
Sistemas estructurales	WMNR	196,007	167,054	27,981	89,685	177,278
	WMR	46,346	62,547	20,944	18,841	0
	WMC	48,382	61,620	19,110	24,622	19,218
	FCRND	58,967	92,301	53,599	28,475	5,974
	FCRD	60,008	45,687	16,535	8,522	1,493
	WCR	21,512	12,802	3,454	702	0
	SD	0	244	0	0	0
	WW	0	0	0	0	871
	WE	3,636	603	38	1,960	581
	O	0	0	0	0	713

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Manrique Central . Nº 1	Versalles Nº 2	Santa Rosa de Lima	Calasanz	Barrio Colombia
Generales	Id	86	87	88	89	90
	Coord_X	836,236	838,101	830,801	831,642	834,505
	Coord_Y	1,184,884	1,184,748	1,184,806	1,184,513	1,180,610
	Población 2015	9,621	5,505	3,848	5,264	1,564
	Area Construida	307,134	43,085	66,931	295,417	414,058
	Vr Rep [MLL COP]	223,213	21,543	57,265	428,355	312,608
	Vr Com [MLL COP]	540,047	75,399	148,505	1,033,960	739,735
Sistemas estructurales	WMNR	215,275	39,604	31,698	95,918	203,909
	WMR	12,020	0	4,724	38,474	11,570
	WMC	39,405	1,583	6,129	37,623	38,189
	FCRND	29,424	228	6,053	59,783	23,205
	FCRD	7,446	57	10,323	44,852	58,361
	WCR	36	0	7,456	14,299	50,337
	SD	0	0	0	4,467	23,260
	WW	156	114	96	0	0
	WE	3,217	76	355	0	5,228
	PC	156	114	96	0	0
	O	0	1,309	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		San Bernardo	Castropol	La Asomadera Nº 3	La Loma de los Bernal	Diego Echavarría
Generales	Id	91	92	93	94	95
	Coord_X	831,977	835,109	836,048	831,128	831,988
	Coord_Y	1,180,478	1,179,731	1,179,719	1,179,636	1,179,313
	Población 2015	19,323	11,367	290	21,088	6,203
	Area Construida	636,442	547,312	11,804	592,260	224,941
	Vr Rep [MLL COP]	501,764	957,796	17,116	547,518	287,279
	Vr Com [MLL COP]	1,188,887	2,408,172	41,315	1,492,960	690,635
Sistemas estructurales	WMNR	383,786	25,234	2,965	73,203	60,494
	WMR	39,673	34,693	1,244	13,398	24,174
	WMC	83,070	33,149	1,402	22,132	23,191
	FCRND	89,248	64,017	2,148	25,014	35,309
	FCRD	30,240	213,484	2,993	159,145	47,622
	WCR	6,196	100,227	1,053	164,081	19,899
	SD	395	76,507	0	134,415	13,504
	WW	0	0	0	306	0
	WE	3,834	0	0	261	748
	PC	0	0	0	306	0
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		La Mota	Las Lomas N°1	Manila	Las Lomas N°2	Lalinde
Generales	Id	96	97	98	99	100
	Coord_X	831,505	835,693	834,445	836,217	835,181
	Coord_Y	1,178,546	1,178,809	1,179,062	1,178,780	1,178,977
	Población 2015	11,932	3,443	2,003	3,612	2,539
	Area Construida	359,884	320,380	217,562	256,201	199,863
	Vr Rep [MLL COP]	508,482	528,428	256,092	448,351	349,761
	Vr Com [MLL COP]	1,233,422	1,312,961	613,034	1,127,283	879,398
Sistemas estructurales	WMNR	96,332	27,184	82,228	11,621	8,854
	WMR	41,213	25,076	24,830	19,090	12,779
	WMC	40,613	24,360	23,141	14,197	12,771
	FCRND	78,861	40,623	30,084	38,481	15,948
	FCRD	69,339	131,773	29,216	91,710	88,899
	WCR	25,721	54,355	19,082	57,083	38,081
	SD	7,692	17,009	7,419	24,018	22,530
	WW	39	0	0	0	0
	WE	33	0	1,563	0	0
	PC	39	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	
	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Poblado	Alejandro	Los Balsos N°2	El Castillo	Los Balsos N°1
Generales	Id	101	102	103	104	105
	Coord_X	835,059	834,941	834,768	834,553	835,836
	Coord_Y	1,178,609	1,177,564	1,177,094	1,176,528	1,176,330
	Población 2015	1,181	5,890	7,136	1,218	8,390
	Area Construida	246,515	429,932	607,286	185,478	721,563
	Vr Rep [MLL COP]	315,531	720,235	1,062,751	324,586	1,262,736
	Vr Com [MLL COP]	758,012	1,815,132	2,672,059	816,101	3,174,879
Sistemas estructurales	WMNR	100,827	36,241	14,988	16,006	38,516
	WMR	28,266	18,324	31,614	17,315	45,264
	WMC	28,050	21,374	20,082	21,967	49,119
	FCRND	35,101	31,641	70,504	24,537	69,427
	FCRD	32,487	171,681	197,903	68,628	241,808
	WCR	19,513	88,803	150,994	26,832	149,579
	SD	1,079	61,365	121,201	10,193	127,851
	WW	0	123	0	0	0
	WE	1,193	257	0	0	0
	PC	0	123	0	0	0
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		San Lucas	Héctor Abad Gómez	San Pablo	Villa de Guadalupe	Fuente Clara
Generales	Id	106	107	108	109	110
	Coord_X	835,441	835,981	837,476	837,027	830,875
	Coord_Y	1,175,524	1,188,617	1,187,280	1,187,132	1,186,179
	Población 2015	8,717	5,940	11,040	11,940	4,071
	Area Construida	616,506	79,823	228,206	236,200	70,504
	Vr Rep [MLL COP]	1,071,403	44,865	114,103	118,100	54,177
	Vr Com [MLL COP]	2,690,181	139,690	399,361	413,350	151,908
Sistemas estructurales	WMNR	51,651	61,267	192,135	195,730	54,384
	WMR	58,031	1,917	0	0	3,020
	WMC	61,296	7,830	22,594	24,943	6,875
	FCRND	86,712	6,169	8,852	10,345	3,666
	FCRD	184,251	1,542	2,213	2,613	917
	WCR	102,469	0	0	26	0
	SD	72,095	0	0	13	0
	WW	0	383	803	937	458
	WE	0	265	536	625	708
	PC	0	383	803	937	458
	O	0	68	270	31	18
	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Pomar	Manrique Central N° 2	El Danubio	La América	Los Pinos
Generales	Id	111	112	113	114	115
	Coord_X	836,798	836,631	830,547	830,990	831,615
	Coord_Y	1,185,125	1,184,746	1,183,425	1,183,299	1,183,354
	Población 2015	3,882	5,511	5,010	8,046	4,996
	Area Construida	112,898	171,368	200,769	410,120	180,089
	Vr Rep [MLL COP]	66,763	124,550	199,968	457,034	216,031
	Vr Com [MLL COP]	197,571	299,895	476,710	1,092,210	517,568
Sistemas estructurales	WMNR	87,958	116,086	105,039	168,341	79,148
	WMR	1,856	6,023	18,769	47,837	23,548
	WMC	12,423	22,072	25,029	48,498	24,786
	FCRND	7,270	14,725	28,879	62,575	33,900
	FCRD	1,817	7,784	13,935	48,894	13,392
	WCR	0	2,333	6,024	27,462	3,516
	SD	0	0	1,378	3,435	704
	WW	421	62	0	0	0
	WE	730	2,221	1,716	3,077	1,095
	PC	421	62	0	0	0
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Lorena	Bolivariana	Villa del Socorro	Institucional - Oleoducto	Villa Niza
Generales	Id	116	117	118	119	120
	Coord_X	831,486	832,525	836,526	834,911	836,165
	Coord_Y	1,182,836	1,182,718	1,188,145	1,186,921	1,188,207
	Población 2015	10,327	5,134	14,836	0	6,545
	Area Construida	495,335	364,819	241,698	20,681	106,023
	Vr Rep [MLL COP]	685,483	496,770	122,196	10,341	53,011
	Vr Com [MLL COP]	1,651,792	1,196,322	422,972	36,192	185,539
	Sistemas estructurales	WMNR	135,075	125,397	203,471	17,598
WMR		50,586	44,924	265	0	0
WMC		49,685	41,458	23,598	1,621	10,200
FCRND		76,584	63,795	8,649	145	3,234
FCRD		121,482	61,869	2,162	36	808
WCR		48,880	22,707	0	0	0
SD		12,327	4,033	0	0	0
WW		0	0	1,212	480	632
WE		716	637	840	320	421
PC		0	0	1,212	480	632
O		0	0	289	0	101
		Parámetros	Nombre Barrio			
	Tricentenario		Terminal de Transporte	Palermo	La Pilarica	Tenche
Generales	Id	121	122	123	124	125
	Coord_X	835,218	834,710	835,462	833,259	833,657
	Coord_Y	1,187,689	1,186,224	1,187,236	1,185,947	1,181,045
	Población 2015	6,543	0	7,784	5,937	15
	Area Construida	180,299	39,774	144,650	220,315	166,182
	Vr Rep [MLL COP]	133,307	19,887	82,716	333,334	166,738
	Vr Com [MLL COP]	315,524	69,605	253,137	815,363	419,506
Sistemas estructurales	WMNR	76,115	33,091	112,961	38,270	117,040
	WMR	14,973	0	2,300	17,481	14,033
	WMC	31,480	3,339	15,837	17,368	17,014
	FCRND	45,429	2,120	9,477	25,208	10,503
	FCRD	11,357	530	2,369	69,857	2,655
	WCR	0	0	0	27,154	12
	SD	0	0	0	24,774	0
	WW	14	0	402	0	773
	WE	917	0	661	202	3,380
	PC	14	0	402	0	773
	O	0	695	240	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Santa Fe	La Gloria	Las Playas	La Florida	La Colina
Generales	Id	126	127	128	129	130
	Coord_X	833,462	831,129	831,986	835,321	832,263
	Coord_Y	1,179,955	1,180,150	1,179,867	1,178,052	1,177,579
	Población 2015	16,478	12,466	8,849	9,372	26,482
	Area Construida	660,496	461,207	301,469	899,345	498,450
	Vr Rep [MLL COP]	759,570	529,853	241,867	1,573,854	326,238
	Vr Com [MLL COP]	1,816,363	1,268,067	573,375	3,957,119	872,287
Sistemas estructurales	WMNR	414,977	264,002	160,284	27,634	355,412
	WMR	73,967	42,312	20,934	39,054	13,657
	WMC	75,110	46,617	40,365	35,935	61,066
	FCRND	67,341	36,121	48,558	67,888	39,553
	FCRD	19,054	45,482	20,984	335,138	18,170
	WCR	888	21,147	7,137	212,421	4,796
	SD	0	4,041	2,163	181,275	1,110
	WW	0	0	0	0	567
	WE	9,160	1,485	1,044	0	3,552
	O	0	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Plaza de Ferias	Perpetuo Socorro	El Rodeo	Boston	Alfonso López
Generales	Id	131	132	133	134	135
	Coord_X	835,652	834,468	832,150	836,057	834,155
	Coord_Y	1,188,631	1,181,391	1,178,232	1,182,865	1,186,925
	Población 2015	0	46	0	20,077	13,463
	Area Construida	45,875	511,226	20,530	770,811	298,978
	Vr Rep [MLL COP]	33,948	378,307	23,610	872,570	209,007
	Vr Com [MLL COP]	80,282	894,645	56,458	2,090,853	523,212
Sistemas estructurales	WMNR	36,264	351,270	14,918	269,665	203,515
	WMR	731	14,152	2,053	67,893	13,676
	WMC	5,036	61,279	2,053	71,247	35,966
	FCRND	1,815	31,033	618	78,576	34,983
	FCRD	454	28,089	155	124,612	8,746
	WCR	0	13,942	0	109,096	0
	SD	0	2,180	0	44,108	0
	WW	0	0	0	151	242
	WE	1,576	9,281	733	5,312	1,608
	O	0	0	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Campo Amor	Villa Carlota	La Volcana y Guayabal	Barrio Colón	Calle Nueva
Generales	Id	136	137	138	139	140
	Coord_X	833,419	834,420	823,277	834,996	834,500
	Coord_Y	1,179,012	1,179,788	1,192,328	1,182,477	1,182,156
	Población 2015	12,551	5,790	438	7,927	38
	Area Construida	728,057	613,956	10,950	314,731	195,038
	Vr Rep [MLL COP]	825,032	788,709	5,475	226,497	160,110
	Vr Com [MLL COP]	1,973,072	1,895,027	19,163	550,779	437,610
Sistemas estructurales	WMNR	478,659	224,549	9,343	183,026	126,333
	WMR	76,174	46,402	0	8,005	11,987
	WMC	82,438	46,975	788	34,566	20,660
	FCRND	62,063	33,007	0	20,518	12,945
	FCRD	15,928	96,082	0	21,907	11,431
	WCR	165	85,961	0	25,972	6,070
	SD	0	74,203	0	16,694	1,705
	WW	0	0	307	208	932
	WE	12,630	6,778	205	3,627	2,041
	PC	0	0	307	208	932
	O	0	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Las Palmas	El Nogal - Los Almendros	Miravalle	Facultad de Minas U. Nal.	Suburbano Matasano 2
Generales	Id	141	142	143	144	145
	Coord_X	835,279	831,848	831,554	832,662	841,187
	Coord_Y	1,182,097	1,181,718	1,181,451	1,185,824	1,186,316
	Población 2015	4,865	2,842	4,842	646	15
	Area Construida	205,179	239,590	186,580	104,556	754
	Vr Rep [MLL COP]	141,221	335,357	243,377	77,371	867
	Vr Com [MLL COP]	359,063	808,445	585,121	182,972	2,072
Sistemas estructurales	WMNR	144,346	85,560	72,670	59,402	565
	WMR	7,535	30,304	21,693	6,231	75
	WMC	25,389	29,396	20,322	16,007	75
	FCRND	19,655	45,691	32,450	15,086	0
	FCRD	5,422	32,634	28,680	6,032	0
	WCR	296	10,483	9,516	904	0
	SD	0	5,269	781	0	0
	WW	242	0	0	0	0
	WE	2,051	252	467	895	38
	PC	242	0	0	0	0
	O	0	0	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Suburbano Matasano 3	El Llano	El Carmelo	Pedregal Bajo	Pajarito
Generales	Id	146	147	148	149	150
	Coord_X	841,119	826,181	831,606	828,451	830,460
	Coord_Y	1,185,701	1,188,873	1,189,029	1,186,511	1,187,974
	Población 2015	4	129	507	251	78
	Area Construida	192	3,590	14,098	6,980	2,166
	Vr Rep [MLL COP]	221	2,656	10,433	8,027	1,603
	Vr Com [MLL COP]	528	6,282	24,672	19,196	3,791
Sistemas estructurales	WMNR	144	3,010	11,983	4,436	1,841
	WMR	19	12	0	718	0
	WMC	19	407	1,519	738	292
	FCRND	0	29	0	786	0
	FCRD	0	7	0	196	0
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	0	0	0	0
	WE	10	125	595	106	33
	PC	0	0	0	0	0
	O	0	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Zona Expasión Eduardo Santos	El Pesebre	Blanquizal	Juan XXIII La Quiebra	Suburbano El Cerro
Generales	Id	151	152	153	154	155
	Coord_X	828,315	831,522	830,947	829,962	843,370
	Coord_Y	1,184,627	1,185,618	1,185,809	1,184,958	1,177,713
	Población 2015	12	5,497	4,034	16,725	141
	Area Construida	341	173,128	102,294	176,455	7,321
	Vr Rep [MLL COP]	252	106,155	53,169	93,594	3,661
	Vr Com [MLL COP]	596	315,155	179,015	308,797	12,812
Sistemas estructurales	WMNR	290	123,794	52,274	150,379	6,316
	WMR	0	4,653	21	444	0
	WMC	34	18,710	5,109	16,065	569
	FCRND	0	12,651	1,156	4,191	0
	FCRD	0	7,768	25,685	1,048	0
	WCR	0	3,066	16,965	0	0
	SD	0	789	0	0	0
	WW	0	227	6	1,198	164
	WE	17	358	184	1,312	109
	PC	0	227	6	1,198	164
	O	0	886	888	620	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Suburbano el Tesoro	Suburbano La Esperanza	La Piñuela	Gerona	El Raizal
Generales	Id	156	157	158	159	160
	Coord_X	836,464	828,847	836,373	836,088	837,538
	Coord_Y	1,175,379	1,179,989	1,186,592	1,181,768	1,185,262
	Población 2015	947	787	8,409	7,077	11,135
	Area Construida	49,348	18,424	197,073	255,731	220,304
	Vr Rep [MLL COP]	86,360	11,796	126,475	189,241	113,908
	Vr Com [MLL COP]	217,133	35,352	344,877	447,529	385,532
Sistemas estructurales	WMNR	9,788	14,717	146,606	162,613	185,330
	WMR	9,870	420	5,407	11,989	643
	WMC	13,795	1,929	22,544	31,536	21,285
	FCRND	12,717	909	16,065	28,916	7,965
	FCRD	3,179	227	4,033	8,671	1,996
	WCR	0	0	0	5,271	0
	SD	0	0	0	4,394	0
	WW	0	45	436	0	972
	WE	0	131	1,405	2,340	810
	PC	0	45	436	0	972
	O	0	0	142	0	331
	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Salvador	La Cruz	La Asomadera Nº 1	Picacho	San Diego
Generales	Id	161	162	163	164	165
	Coord_X	835,710	838,291	835,564	833,176	834,948
	Coord_Y	1,181,683	1,185,376	1,180,794	1,188,150	1,181,302
	Población 2015	9,061	8,064	10,948	17,326	10,115
	Area Construida	372,970	94,753	291,396	329,332	539,143
	Vr Rep [MLL COP]	275,998	47,377	326,613	164,666	741,646
	Vr Com [MLL COP]	652,698	165,818	780,627	576,331	1,850,260
Sistemas estructurales	WMNR	232,456	87,260	80,366	271,480	148,773
	WMR	21,961	0	25,943	0	40,826
	WMC	48,529	3,055	24,334	36,238	43,711
	FCRND	52,282	251	30,822	14,656	72,734
	FCRD	15,105	63	51,351	3,664	110,384
	WCR	814	0	54,025	0	71,773
	SD	0	0	23,176	0	48,937
	WW	0	421	0	766	494
	WE	1,823	280	1,379	511	1,017
	PC	0	421	0	766	494
	O	0	3,002	0	1,250	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Alejandro Echavarría	Suburbano Potrerito	Las Estancias	Potrero	La Sierra
Generales	Id	166	167	168	169	170
	Coord_X	837,209	823,920	838,878	822,705	839,480
	Coord_Y	1,182,038	1,175,647	1,181,209	1,175,852	1,181,322
	Población 2015	10,379	744	10,917	1,567	5,287
	Area Construida	256,618	16,811	191,470	35,447	52,249
	Vr Rep [MLL COP]	189,783	10,365	95,735	17,723	26,124
	Vr Com [MLL COP]	449,081	32,435	335,072	62,032	91,436
Sistemas estructurales	WMNR	138,696	14,176	164,736	30,389	48,387
	WMR	13,129	301	0	0	0
	WMC	31,823	1,385	16,840	2,709	1,966
	FCRND	34,821	49	4,915	96	213
	FCRD	18,070	12	1,325	24	53
	WCR	11,563	0	0	0	0
	SD	6,787	0	0	0	0
	WW	14	296	996	836	0
	WE	1,700	296	664	557	0
	PC	14	296	996	836	0
	O	0	0	998	0	1,630
	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Playón	Barrio Caycedo	EICompromiso	Aldea Pablo VI	La Salle
Generales	Id	171	172	173	174	175
	Coord_X	836,723	836,340	837,771	837,947	837,245
	Coord_Y	1,189,401	1,182,446	1,187,307	1,187,300	1,186,846
	Población 2015	11,762	3,606	4,469	2,463	23,152
	Area Construida	164,893	174,790	58,383	26,093	337,015
	Vr Rep [MLL COP]	83,107	129,344	29,191	13,046	193,796
	Vr Com [MLL COP]	288,562	305,882	102,170	45,663	617,518
Sistemas estructurales	WMNR	136,302	116,130	52,455	23,979	269,515
	WMR	59	6,283	0	0	4,514
	WMC	17,132	21,399	3,756	1,285	35,206
	FCRND	8,007	15,343	823	132	18,540
	FCRD	2,002	7,851	206	33	4,718
	WCR	0	3,511	0	0	45
	SD	0	1,521	0	0	0
	WW	216	0	24	0	1,558
	WE	178	2,752	16	0	1,309
	PC	216	0	24	0	1,558
	O	781	0	1,080	664	52

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Carpinelo	Campo Valdés Nº 1	Campo Valdés Nº 2	La Avanzada	San José La Cima No.1
Generales	Id	176	177	178	179	180
	Coord_X	838,290	836,365	836,803	838,143	837,895
	Coord_Y	1,187,396	1,185,705	1,185,655	1,187,998	1,186,783
	Población 2015	9,379	12,968	13,369	5,612	2,797
	Area Construida	130,743	381,410	413,231	77,688	23,348
	Vr Rep [MLL COP]	65,371	272,439	277,395	38,844	11,674
	Vr Com [MLL COP]	228,800	675,479	734,056	135,953	40,859
Sistemas estructurales	WMNR	120,278	264,889	299,470	70,983	20,820
	WMR	0	15,963	14,069	0	0
	WMC	5,515	47,011	48,414	3,703	1,308
	FCRND	855	40,113	37,906	470	75
	FCRD	214	10,028	9,477	118	19
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	32	229	590	149	278
	WE	21	2,948	2,715	99	185
	PC	32	229	590	149	278
	O	3,797	0	0	2,017	385
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Pablo VI	Santa Inés	Los Cerros El Vergel	Miraflores	San Miguel
Generales	Id	181	182	183	184	185
	Coord_X	836,645	837,272	837,665	837,028	836,367
	Coord_Y	1,189,032	1,185,645	1,181,326	1,181,686	1,183,688
	Población 2015	5,861	13,147	8,387	6,292	9,259
	Area Construida	88,992	284,432	214,782	297,524	385,244
	Vr Rep [MLL COP]	44,496	146,791	165,510	290,937	365,943
	Vr Com [MLL COP]	155,735	497,756	404,291	693,275	881,562
Sistemas estructurales	WMNR	75,380	233,690	137,769	154,145	203,265
	WMR	0	1,114	12,687	24,659	27,033
	WMC	8,503	29,184	27,455	34,696	39,712
	FCRND	3,236	13,562	27,865	38,677	39,555
	FCRD	809	3,476	7,626	25,776	32,065
	WCR	0	0	264	13,993	28,726
	SD	0	0	0	3,927	11,657
	WW	344	1,166	54	0	135
	WE	229	889	1,008	1,650	2,961
	PC	344	1,166	54	0	135
	O	147	184	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		López de Mesa	Kennedy	Mirador del Doce	Progreso N° 2	El Triunfo
Generales	Id	186	187	188	189	190
	Coord_X	833,579	833,435	833,352	833,362	833,136
	Coord_Y	1,186,832	1,187,408	1,189,012	1,189,397	1,189,506
	Población 2015	6,190	25,394	4,149	6,684	4,820
	Area Construida	130,082	619,334	52,266	89,793	65,617
	Vr Rep [MLL COP]	95,403	320,274	26,133	44,897	32,808
	Vr Com [MLL COP]	227,644	1,083,834	91,466	157,138	114,830
Sistemas estructurales	WMNR	89,209	506,949	46,203	74,168	58,550
	WMR	5,478	2,408	0	0	0
	WMC	18,460	64,530	4,076	7,156	5,039
	FCRND	13,243	32,679	908	1,681	844
	FCRD	3,311	8,170	227	3,579	211
	WCR	0	0	0	2,140	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	1,635	101	96	91
	WE	334	1,328	67	64	61
	PC	0	1,635	101	96	91
	O	47	0	583	814	730
	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Diamante	Andalucía	Oriente	Nueva Villa de la Iguaná	La Asomadera N° 2
Generales	Id	191	192	193	194	195
	Coord_X	832,948	836,272	838,062	833,122	835,712
	Coord_Y	1,187,029	1,188,488	1,185,930	1,184,509	1,179,513
	Población 2015	11,558	8,834	5,265	4,400	1,269
	Area Construida	402,055	191,978	83,476	30,865	115,433
	Vr Rep [MLL COP]	239,892	95,989	41,738	15,711	202,008
	Vr Com [MLL COP]	734,136	335,961	146,082	54,014	507,906
Sistemas estructurales	WMNR	297,969	163,473	73,865	25,724	8,531
	WMR	9,448	0	0	54	10,999
	WMC	46,241	17,966	5,149	3,106	11,581
	FCRND	32,230	6,427	709	1,322	17,401
	FCRD	10,224	1,827	177	330	36,492
	WCR	2,021	0	0	0	17,644
	SD	969	0	0	0	12,785
	WW	816	505	867	83	0
	WE	1,322	337	578	68	0
	PC	816	505	867	83	0
O	0	937	1,262	94	0	

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Boyacá	Monteclaro	Picachito	San Germán	Loreto
Generales	Id	196	197	198	199	200
	Coord_X	835,378	831,508	833,117	832,667	836,185
	Coord_Y	1,189,122	1,187,312	1,188,663	1,185,252	1,181,011
	Población 2015	8,801	1,591	7,388	6,640	26,830
	Area Construida	184,922	72,690	81,661	191,752	538,912
	Vr Rep [MLL COP]	162,982	63,056	40,831	208,378	399,584
	Vr Com [MLL COP]	388,042	151,518	142,907	498,324	1,044,291
	Sistemas estructurales	WMNR	112,237	31,096	72,760	80,936
WMR		14,145	5,029	0	17,398	21,057
WMC		25,377	12,360	6,039	20,828	58,651
FCRND		26,239	4,152	1,126	21,752	49,560
FCRD		6,560	14,499	281	24,614	27,426
WCR		0	5,385	0	18,872	25,024
SD		0	0	0	5,625	11,116
WW		0	0	136	0	905
WE		364	168	91	1,727	2,571
O		0	0	1,091	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Las Granjas	Tejelo	Suburbano El Manzanillo	Suburbano Patio Bonito	Zona Expansion El Noral
Generales	Id	201	202	203	204	205
	Coord_X	837,225	834,792	830,213	827,639	829,726
	Coord_Y	1,186,316	1,189,439	1,178,184	1,179,845	1,181,719
	Población 2015	29,653	15,346	1,158	1,631	22
	Area Construida	601,331	360,332	27,104	38,174	519
	Vr Rep [MLL COP]	318,568	259,483	16,679	20,357	260
	Vr Com [MLL COP]	1,060,953	630,580	51,797	66,804	908
	Sistemas estructurales	WMNR	486,633	244,268	22,845	32,293
WMR		3,939	17,376	483	179	0
WMC		63,256	43,108	2,373	3,599	11
FCRND		33,710	42,321	276	849	0
FCRD		8,427	10,727	69	212	0
WCR		0	59	0	0	0
SD		0	0	0	0	0
WW		1,563	0	349	351	0
WE		1,450	1,838	360	320	0
O		791	634	0	21	21

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Barrios de Jesús	Ocho de Marzo	Villa Hermosa	La Libertad	Juan Pablo II
Generales	Id	206	207	208	209	210
	Coord_X	838,284	839,357	837,039	837,863	839,359
	Coord_Y	1,180,893	1,180,739	1,183,971	1,182,122	1,180,885
	Población 2015	6,688	2,609	10,937	6,193	3,540
	Area Construida	160,809	30,278	289,673	134,015	37,771
	Vr Rep [MLL COP]	87,406	15,139	213,417	67,797	18,886
	Vr Com [MLL COP]	281,417	52,987	506,928	235,741	66,099
Sistemas estructurales	WMNR	115,439	26,852	186,896	116,696	33,423
	WMR	2,096	0	15,114	122	0
	WMC	17,395	2,226	37,689	11,263	2,833
	FCRND	4,611	349	37,554	2,145	408
	FCRD	13,435	87	9,862	536	102
	WCR	5,621	0	190	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	767	167	13	956	237
	WE	653	112	2,343	681	158
	PC	767	167	13	956	237
	O	25	318	0	659	373
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Suburbano Mirador del Poblado	Versalles Nº 1	Manrique Oriental	Batallón Girardot	San José La Cima Nº 2
Generales	Id	211	212	213	214	215
	Coord_X	837,187	837,716	837,106	837,666	837,774
	Coord_Y	1,179,414	1,184,719	1,184,697	1,184,214	1,186,237
	Población 2015	867	18,025	10,772	251	2,053
	Area Construida	45,137	328,893	352,718	18,316	32,978
	Vr Rep [MLL COP]	78,990	164,446	203,621	10,125	16,489
	Vr Com [MLL COP]	198,605	575,562	617,256	32,052	57,712
Sistemas estructurales	WMNR	8,836	280,125	280,618	15,842	30,048
	WMR	9,024	0	4,228	0	0
	WMC	12,398	30,959	38,692	1,567	1,608
	FCRND	11,891	10,432	19,870	0	315
	FCRD	2,973	2,626	4,967	0	79
	WCR	15	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	0	1,472	1,181	265	38
	WE	0	981	1,980	378	25
	PC	0	1,472	1,181	265	38
	O	0	827	0	0	828

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		María Cano-Carambolas	La Mansión	Prado	Suburbano Matasano 1	Simón Bolívar
Generales	Id	216	217	218	219	220
	Coord_X	838,072	836,406	835,742	842,252	830,884
	Coord_Y	1,186,617	1,184,167	1,184,195	1,186,181	1,182,698
	Población 2015	7,328	7,412	6,806	91	5,346
	Area Construida	55,235	227,054	568,034	4,712	326,865
	Vr Rep [MLL COP]	28,250	164,204	650,080	2,356	473,954
	Vr Com [MLL COP]	96,661	397,345	1,554,388	8,247	1,144,026
Sistemas estructurales	WMNR	49,259	135,834	344,004	4,046	115,930
	WMR	1	11,889	62,310	0	48,024
	WMC	3,230	29,605	62,117	354	47,483
	FCRND	348	28,321	50,347	0	79,055
	FCRD	87	14,439	28,419	0	30,235
	WCR	0	4,716	12,182	0	6,138
	SD	0	400	970	0	0
	WW	484	104	0	117	0
	WE	415	1,643	7,685	78	0
	PC	484	104	0	117	0
	O	927	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Villa Nueva	Zona Expansión Altos de Calasanz	Centro Admtivo	La Alpujarra	La Castellana
Generales	Id	221	222	223	224	225
	Coord_X	835,512	830,586	834,408	834,014	830,889
	Coord_Y	1,183,509	1,185,306	1,182,464	1,182,450	1,182,088
	Población 2015	6,245	3,647	0	0	11,684
	Area Construida	512,153	101,404	171,227	159,810	424,793
	Vr Rep [MLL COP]	588,976	115,256	196,911	183,782	615,950
	Vr Com [MLL COP]	1,408,420	276,770	470,874	439,478	1,486,775
Sistemas estructurales	WMNR	147,159	5,801	16,201	46,525	131,016
	WMR	36,591	1,458	6,534	7,350	56,020
	WMC	36,766	1,417	7,357	7,522	53,045
	FCRND	37,454	2,260	11,527	3,979	86,221
	FCRD	100,820	27,697	35,141	39,075	70,232
	WCR	107,500	40,338	60,736	37,102	23,504
	SD	42,991	22,273	33,453	17,214	4,756
	WW	0	0	0	0	0
	WE	2,872	99	278	1,043	0
	PC	0	0	0	0	0
	O	0	61	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Guayaquil	Estadio	U.D. Atanasio Girardot	Las Acacias	Calasanz Parte Alta
Generales	Id	226	227	228	229	230
	Coord_X	834,429	832,136	832,585	831,391	831,263
	Coord_Y	1,182,919	1,184,218	1,183,836	1,182,146	1,184,952
	Población 2015	45	5,015	0	6,532	14,050
	Area Construida	497,637	397,302	78,280	438,176	396,025
	Vr Rep [MLL COP]	368,252	576,087	113,506	635,355	494,337
	Vr Com [MLL COP]	870,865	1,390,556	273,981	1,533,616	1,204,084
Sistemas estructurales	WMNR	188,182	125,458	38,881	104,537	81,586
	WMR	20,779	49,933	11,635	45,812	39,028
	WMC	50,474	48,469	13,955	43,557	40,517
	FCRND	42,400	76,638	10,396	75,711	73,369
	FCRD	99,905	70,678	3,115	110,041	78,960
	WCR	70,296	23,419	205	40,940	53,746
	SD	23,060	2,706	94	17,578	28,223
	WW	0	0	0	0	93
	WE	2,539	0	0	0	410
	PC	0	0	0	0	93
	O	0	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Sucre	Yolombo	Enciso	La Loma Oriental	Los Mangos
Generales	Id	231	232	233	234	235
	Coord_X	836,892	829,758	836,954	829,222	837,609
	Coord_Y	1,182,530	1,188,995	1,183,011	1,185,110	1,183,185
	Población 2015	5,443	1,052	8,779	1,519	14,094
	Area Construida	215,825	29,256	292,235	42,238	331,597
	Vr Rep [MLL COP]	158,806	33,644	198,513	28,736	167,542
	Vr Com [MLL COP]	377,694	80,453	511,412	73,916	580,294
Sistemas estructurales	WMNR	144,540	22,200	215,122	35,583	283,770
	WMR	9,009	2,926	8,926	137	334
	WMC	28,620	2,926	34,570	4,446	30,685
	FCRND	22,687	70	23,691	427	9,670
	FCRD	7,239	18	6,013	107	2,418
	WCR	627	0	36	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	14	0	515	145	1,254
	WE	3,073	1,117	2,846	1,248	889
	PC	14	0	515	145	1,254
O	0	0	0	0	1,323	

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Pinal	San José de la Montaña	Suburbano Aguas Frías	Suburbano Travesías	Suburbano El Llano
Generales	Id	236	237	238	239	240
	Coord_X	837,528	827,465	827,274	826,417	826,150
	Coord_Y	1,182,490	1,189,587	1,181,187	1,187,268	1,188,234
	Población 2015	12,066	1,733	308	4,465	1,230
	Area Construida	306,038	48,194	7,204	124,155	34,207
	Vr Rep [MLL COP]	167,136	55,424	3,602	85,879	25,313
	Vr Com [MLL COP]	557,285	132,535	12,607	231,685	59,862
	Sistemas estructurales	WMNR	256,765	36,492	6,187	101,985
WMR		2,203	4,819	0	2,085	267
WMC		29,952	4,819	629	13,435	4,015
FCRND		10,311	94	93	2,749	640
FCRD		2,578	24	23	687	160
WCR		0	0	0	0	0
SD		0	0	0	0	0
WW		1,428	0	102	545	0
WE		1,324	1,945	68	2,124	1,011
PC		1,428	0	102	545	0
O		48	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Suburbano El Corazon	La Florida	El Astillero	Yarumalito	El Vergel
Generales	Id	241	242	243	244	245
	Coord_X	827,781	823,799	822,856	821,179	825,795
	Coord_Y	1,182,914	1,174,386	1,182,830	1,180,717	1,174,235
	Población 2015	2,651	1,794	1,607	1,597	509
	Area Construida	62,070	40,574	36,341	36,112	11,502
	Vr Rep [MLL COP]	49,421	37,882	18,170	41,529	12,094
	Vr Com [MLL COP]	132,640	98,073	63,596	99,308	29,887
	Sistemas estructurales	WMNR	49,522	30,229	31,044	27,168
WMR		2,654	2,707	0	3,611	976
WMC		6,234	3,886	2,638	3,611	1,119
FCRND		1,542	2,021	3	0	71
FCRD		386	505	1	0	18
WCR		0	0	0	0	0
SD		0	0	0	0	0
WW		349	190	996	0	32
WE		1,034	846	664	1,722	398
PC		349	190	996	0	32
O		0	0	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Suburbano Altavista	Travesías	Altavista	Zona de Expansion Altavista	Suburbano Pedregal alto
Generales	Id	246	247	248	249	250
	Coord_X	828,565	826,655	830,351	829,887	828,115
	Coord_Y	1,180,338	1,188,704	1,180,015	1,179,842	1,187,141
	Población 2015	3,114	194	11,159	3,492	1,013
	Area Construida	72,897	5,391	310,114	81,749	28,179
	Vr Rep [MLL COP]	47,109	6,200	194,251	55,931	20,853
	Vr Com [MLL COP]	132,348	14,826	550,925	166,224	49,314
Sistemas estructurales	WMNR	59,483	4,059	227,115	50,479	22,495
	WMR	1,092	539	7,945	9	391
	WMC	7,799	539	33,121	5,772	3,451
	FCRND	2,348	0	23,593	1,497	937
	FCRD	587	0	10,521	9,606	234
	WCR	0	0	3,575	9,231	0
	SD	0	0	739	4,616	0
	WW	381	0	961	202	0
	WE	769	254	1,584	136	671
	PC	381	0	961	202	0
	O	60	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Aures Nº 1	Aures Nº 2	El Picacho	La Verde	Bomboná Nº 2
Generales	Id	251	252	253	254	255
	Coord_X	832,189	832,481	832,143	826,594	837,566
	Coord_Y	1,187,187	1,187,771	1,188,564	1,177,414	1,180,768
	Población 2015	23,911	23,825	2,445	4,026	16,412
	Area Construida	471,010	346,161	67,974	91,077	361,000
	Vr Rep [MLL COP]	260,955	188,146	50,000	45,539	248,662
	Vr Com [MLL COP]	848,961	615,078	118,955	159,385	678,196
Sistemas estructurales	WMNR	385,123	288,319	56,035	77,858	241,075
	WMR	4,197	1,755	470	0	10,537
	WMC	49,353	35,579	7,622	6,885	40,842
	FCRND	22,243	13,037	1,171	326	26,872
	FCRD	5,561	3,259	293	81	19,838
	WCR	0	0	0	0	12,771
	SD	0	0	0	0	6,084
	WW	1,577	1,440	10	2,222	783
	WE	1,312	1,331	2,356	1,482	1,414
	PC	1,577	1,440	10	2,222	783
	O	65	0	7	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Santa Mónica	Cabecera San Antonio de Prado	SUBURBANO BARRO BLANCO	Suburbano La Loma	Zona Expansion San Antonio
Generales	Id	256	257	258	259	260
	Coord_X	830,016	826,875	845,310	828,190	825,384
	Coord_Y	1,182,903	1,175,401	1,181,787	1,185,261	1,175,075
	Población 2015	8,956	69,446	149	8,100	3,139
	Area Construida	299,038	1,571,231	7,713	225,214	71,020
	Vr Rep [MLL COP]	343,893	943,365	3,857	149,764	48,251
	Vr Com [MLL COP]	822,354	2,782,562	13,499	408,844	143,887
Sistemas estructurales	WMNR	177,684	1,168,581	6,658	186,416	58,039
	WMR	34,662	33,552	0	2,973	1,992
	WMC	33,840	178,932	603	23,976	6,685
	FCRND	33,849	97,045	3	4,360	1,561
	FCRD	13,627	48,881	1	1,090	390
	WCR	3,873	15,593	0	0	0
	SD	0	5,493	0	0	0
	WW	0	7,036	168	1,298	639
	WE	1,503	9,083	112	3,805	1,075
	PC	0	7,036	168	1,298	639
	O	0	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Suburbano El Llano	La Oculta	Pajarito	Suburbano Chacaltaya	El Salado
Generales	Id	261	262	263	264	265
	Coord_X	842,253	823,822	830,622	838,014	823,487
	Coord_Y	1,177,756	1,177,374	1,186,780	1,175,399	1,178,329
	Población 2015	356	2,827	4,182	272	1,749
	Area Construida	18,548	63,948	70,799	14,173	39,561
	Vr Rep [MLL COP]	9,274	31,974	51,259	24,803	19,781
	Vr Com [MLL COP]	32,458	111,908	123,898	62,363	69,233
Sistemas estructurales	WMNR	15,971	55,055	54,156	2,765	34,271
	WMR	0	0	1,551	2,827	0
	WMC	1,444	5,026	9,730	3,878	3,173
	FCRND	20	173	3,846	3,738	23
	FCRD	5	43	961	934	6
	WCR	0	0	0	32	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	415	1,369	30	0	784
	WE	277	913	469	0	522
	PC	415	1,369	30	0	784
	O	0	0	25	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Cerro	El Placer	Piedras Blancas	Santa Elena Central	La Frisolera
Generales	Id	266	267	268	269	270
	Coord_X	843,129	842,452	839,593	842,600	822,534
	Coord_Y	1,177,223	1,180,547	1,183,853	1,178,403	1,188,929
	Población 2015	732	281	1,853	652	827
	Area Construida	38,099	14,640	96,558	33,974	20,671
	Vr Rep [MLL COP]	19,050	7,320	48,279	16,987	10,335
	Vr Com [MLL COP]	66,673	25,620	168,977	59,455	36,174
Sistemas estructurales	WMNR	32,864	12,669	83,958	29,127	17,613
	WMR	0	0	0	0	0
	WMC	2,967	1,160	6,303	2,593	1,483
	FCRND	17	0	524	72	14
	FCRD	4	0	629	18	4
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	843	304	1,474	812	584
	WE	562	203	983	541	389
	PC	843	304	1,474	812	584
	O	0	0	1,212	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Llano	Las Playas	Barro Blanco	Zona de Expansion Belen Rincon	Boqueron
Generales	Id	271	272	273	274	275
	Coord_X	842,305	824,543	844,219	830,686	825,292
	Coord_Y	1,177,059	1,187,527	1,182,479	1,179,188	1,190,475
	Población 2015	233	481	509	4,344	697
	Area Construida	12,096	13,364	26,507	101,686	19,386
	Vr Rep [MLL COP]	13,910	6,682	13,253	147,445	27,302
	Vr Com [MLL COP]	33,263	23,386	46,387	355,902	65,832
Sistemas estructurales	WMNR	9,181	11,557	22,894	2,109	11,147
	WMR	1,210	0	0	4,066	2,773
	WMC	1,210	1,062	2,073	2,502	3,536
	FCRND	32	10	0	10,093	1,451
	FCRD	8	2	0	20,328	363
	WCR	0	0	0	30,921	0
	SD	0	0	0	31,667	0
	WW	0	275	577	0	0
	WE	456	183	385	0	116
	PC	0	275	577	0	0
	O	0	0	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Uvito	Naranjal	San Antonio	Los Ángeles	La Suiza
Generales	Id	276	277	278	279	280
	Coord_X	824,546	824,584	838,408	836,118	820,198
	Coord_Y	1,188,433	1,189,132	1,181,842	1,183,396	1,187,880
	Población 2015	83	399	4,164	4,969	227
	Area Construida	2,302	11,091	64,089	265,539	5,670
	Vr Rep [MLL COP]	1,704	12,755	32,045	294,587	2,835
	Vr Com [MLL COP]	4,029	30,501	112,156	703,933	9,922
Sistemas estructurales	WMNR	1,957	8,353	56,138	127,511	4,859
	WMR	0	1,109	0	28,247	0
	WMC	230	1,109	4,779	29,871	432
	FCRND	0	19	170	34,769	15
	FCRD	0	5	42	22,814	4
	WCR	0	0	0	14,800	0
	SD	0	0	0	5,423	0
	WW	0	0	990	0	135
	WE	115	497	660	2,105	90
	PC	0	0	990	0	135
O	0	0	320	0	0	
	Parámetros	Nombre Barrio				
		La Ladera	La Milagrosa	Francisco Antonio Zea	Cataluña	Castilla
Generales	Id	281	282	283	284	285
	Coord_X	837,301	836,502	834,424	836,844	834,585
	Coord_Y	1,183,596	1,181,516	1,187,093	1,181,058	1,187,642
	Población 2015	1,675	5,432	13,991	11,114	22,387
	Area Construida	41,944	208,059	243,135	264,442	598,428
	Vr Rep [MLL COP]	25,006	153,964	163,883	195,687	424,850
	Vr Com [MLL COP]	73,402	364,104	425,486	462,774	1,054,722
Sistemas estructurales	WMNR	31,322	126,904	158,514	150,621	394,489
	WMR	688	11,673	12,153	14,061	30,231
	WMC	5,362	28,282	29,997	39,178	73,823
	FCRND	3,336	27,007	33,191	36,955	77,081
	FCRD	834	10,903	8,412	17,009	19,270
	WCR	0	1,660	46	4,593	0
	SD	0	0	0	1,006	0
	WW	0	0	108	0	278
	WE	211	1,631	604	1,019	2,976
	PC	0	0	108	0	278
O	191	0	0	0	0	

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		La Urquita	Laureles	U.P.B.	Suramericana	Naranjal
Generales	Id	286	287	288	289	290
	Coord_X	821,573	831,985	832,656	833,384	833,249
	Coord_Y	1,196,036	1,182,370	1,182,262	1,183,633	1,183,204
	Población 2015	436	18,051	0	6,476	2,858
	Area Construida	10,912	1,096,769	81,635	438,014	271,499
	Vr Rep [MLL COP]	5,456	1,586,873	118,370	629,055	331,140
	Vr Com [MLL COP]	19,096	3,830,087	285,721	1,517,886	794,403
	Sistemas estructurales	WMNR	9,344	178,051	24,900	99,987
WMR		0	96,797	11,776	40,687	32,251
WMC		805	76,839	11,237	39,379	33,895
FCRND		0	142,643	20,274	68,950	42,473
FCRD		0	397,046	10,872	112,501	19,348
WCR		0	152,186	2,576	41,903	4,582
SD		0	53,125	0	34,530	0
WW		286	0	0	0	0
WE		191	82	0	77	3,634
PC		286	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Betania	Belencito	Suburbano La Aldea	Suburbano Potrera Miserenga	La Potrera Miserenga
Generales	Id	291	292	293	294	295
	Coord_X	829,290	829,556	820,171	820,517	822,833
	Coord_Y	1,182,315	1,182,933	1,193,260	1,194,239	1,195,289
	Población 2015	6,933	2,932	375	710	515
	Area Construida	144,501	187,411	9,365	17,758	12,873
	Vr Rep [MLL COP]	79,590	207,390	4,683	8,879	6,437
	Vr Com [MLL COP]	252,876	495,545	16,389	31,077	22,528
	Sistemas estructurales	WMNR	121,061	103,016	8,072	15,240
WMR		403	20,361	0	0	0
WMC		15,331	24,475	723	1,337	961
FCRND		4,615	19,620	0	9	20
FCRD		1,154	14,262	0	2	5
WCR		0	3,949	0	0	0
SD		0	0	0	0	0
WW		667	0	214	439	327
WE		601	1,728	143	293	218
PC		667	0	214	439	327
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Cabecera San Cristobal	Pedregal Alto	La Aldea	Santa Teresita	Patio Bonito
Generales	Id	296	297	298	299	300
	Coord_X	828,012	828,673	819,620	830,217	834,214
	Coord_Y	1,186,208	1,187,361	1,193,825	1,182,480	1,178,255
	Población 2015	12,697	2,497	143	8,626	7,750
	Area Construida	353,035	69,423	3,566	439,172	562,904
	Vr Rep [MLL COP]	239,429	77,655	1,783	635,756	984,094
	Vr Com [MLL COP]	617,811	186,479	6,241	1,534,494	2,473,813
	Sistemas estructurales	WMNR	259,405	52,518	3,048	84,472
WMR		9,890	6,541	0	43,964	39,424
WMC		43,009	6,943	260	40,548	33,292
FCRND		25,370	488	0	86,603	75,517
FCRD		9,847	122	0	108,097	236,701
WCR		1,402	0	0	41,233	103,688
SD		0	0	0	34,224	49,510
WW		385	33	97	0	0
WE		3,221	2,746	65	30	0
PC		385	33	97	0	0
O		122	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		Guayabal	La Palma	La Aguacatala	Eduardo Santos	Trinidad
Generales	Id	301	302	303	304	305
	Coord_X	833,105	831,228	833,991	828,279	833,347
	Coord_Y	1,177,479	1,180,800	1,177,449	1,184,077	1,180,646
	Población 2015	3,005	5,130	6,292	3,293	15,950
	Area Construida	522,045	284,535	476,575	49,209	564,896
	Vr Rep [MLL COP]	569,238	395,561	811,537	25,385	423,074
	Vr Com [MLL COP]	1,359,736	953,335	2,029,522	86,116	1,006,101
Sistemas estructurales	WMNR	312,141	86,649	35,474	41,838	401,885
	WMR	54,210	34,767	43,721	0	20,840
	WMC	61,128	32,935	39,474	4,614	70,949
	FCRND	46,578	55,349	76,137	1,547	48,429
	FCRD	29,337	46,708	159,486	387	13,371
	WCR	8,280	22,189	81,485	0	506
	SD	24	5,526	40,799	0	0
	WW	0	0	0	203	57
	WE	10,348	412	0	250	8,803
	PC	0	0	0	203	57
	O	0	0	0	167	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Astorga	Aeroparque Juan Pablo II	Cristo Rey	Altos del Poblado	El Diamante N° 2
Generales	Id	306	307	308	309	310
	Coord_X	834,432	832,606	833,176	836,805	834,386
	Coord_Y	1,178,684	1,179,723	1,178,270	1,178,890	1,175,783
	Población 2015	2,859	0	19,989	3,657	7,161
	Area Construida	181,104	192,588	638,006	262,336	560,981
	Vr Rep [MLL COP]	295,671	221,476	503,282	459,088	981,717
	Vr Com [MLL COP]	735,785	529,617	1,192,504	1,154,278	2,468,318
Sistemas estructurales	WMNR	34,408	103,235	421,985	26,013	26,613
	WMR	19,741	21,508	35,994	29,965	36,721
	WMC	22,533	23,682	79,305	31,089	36,336
	FCRND	26,491	13,223	71,401	50,818	60,434
	FCRD	47,364	19,652	20,686	56,570	233,198
	WCR	19,036	7,313	1,159	35,368	103,448
	SD	11,176	0	0	32,514	64,231
	WW	0	0	0	0	0
	WE	355	3,975	7,476	0	0
	PC	0	0	0	0	0
	O	0	0	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Rincón	La Loma	Zona Expansión Pajarito	Las Violetas	Los Alpes
Generales	Id	311	312	313	314	315
	Coord_X	831,154	825,768	830,022	829,937	830,628
	Coord_Y	1,178,747	1,184,828	1,186,926	1,181,223	1,180,960
	Población 2015	28,601	927	19,664	9,642	5,589
	Area Construida	490,443	25,775	546,737	319,378	216,684
	Vr Rep [MLL COP]	316,154	25,675	586,435	168,236	158,246
	Vr Com [MLL COP]	858,275	63,956	1,464,598	558,911	395,868
Sistemas estructurales	WMNR	326,633	20,000	138,863	261,001	105,659
	WMR	12,479	1,914	37,931	949	10,257
	WMC	53,525	2,583	67,129	35,017	29,802
	FCRND	37,297	301	18,576	14,858	25,957
	FCRD	20,447	75	183,195	3,753	22,695
	WCR	21,223	0	88,366	17	15,248
	SD	14,399	0	10,077	0	5,855
	WW	1,100	44	158	1,387	45
	WE	2,202	813	2,283	1,007	1,120
	PC	1,100	44	158	1,387	45
	O	38	0	0	0	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Santa María de los Ángeles	Belén	Cucaracho	Aguas frías	Olaya Herrera
Generales	Id	316	317	318	319	320
	Coord_X	833,732	831,493	831,219	826,656	829,948
	Coord_Y	1,176,522	1,181,137	1,186,548	1,182,077	1,185,607
	Población 2015	9,160	8,535	9,464	5,274	8,882
	Area Construida	578,955	651,425	301,374	123,462	118,707
	Vr Rep [MLL COP]	1,013,171	745,946	232,781	132,200	59,353
	Vr Com [MLL COP]	2,547,403	1,785,460	572,209	324,472	207,737
Sistemas estructurales	WMNR	18,888	245,004	183,102	94,553	104,018
	WMR	32,739	66,143	8,267	10,847	0
	WMC	27,098	70,134	31,299	12,219	8,468
	FCRND	65,808	92,877	17,601	831	1,248
	FCRD	185,475	99,640	7,330	208	312
	WCR	148,840	60,880	29,613	0	0
	SD	100,108	13,594	21,891	0	0
	WW	0	0	327	141	1,308
	WE	0	3,153	1,616	4,522	872
	PC	0	0	327	141	1,308
	O	0	0	0	0	1,173
	Parámetros	Nombre Barrio				
		La Independencia	El Corazón	Santa Margarita	Villatina	Suburbano San Pablo
Generales	Id	321	322	323	324	325
	Coord_X	828,876	828,487	829,786	838,139	828,032
	Coord_Y	1,183,027	1,182,793	1,185,978	1,181,614	1,181,326
	Población 2015	14,552	9,516	11,651	15,201	2,682
	Area Construida	203,587	97,845	148,759	265,707	62,774
	Vr Rep [MLL COP]	101,793	50,159	79,155	132,853	33,639
	Vr Com [MLL COP]	356,277	171,229	262,724	464,987	113,319
Sistemas estructurales	WMNR	179,999	82,824	127,088	226,564	53,592
	WMR	0	93	465	0	347
	WMC	15,088	9,681	13,716	24,957	5,643
	FCRND	4,114	2,711	2,905	6,605	1,025
	FCRD	1,031	678	786	1,651	256
	WCR	2	0	0	0	0
	SD	1	0	0	0	0
	WW	254	663	1,209	2,080	688
	WE	170	532	1,093	1,387	536
	PC	254	663	1,209	2,080	688
	O	2,673	0	289	383	0

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Socorro	Nuevos Conquistadores	Veinte de Julio	La Pradera	Santa Lucía
Generales	Id	326	327	328	329	330
	Coord_X	829,538	828,383	829,172	830,278	830,767
	Coord_Y	1,184,249	1,183,171	1,183,366	1,184,322	1,183,939
	Población 2015	6,697	7,974	10,771	7,914	11,003
	Area Construida	123,268	156,417	289,773	367,505	225,962
	Vr Rep [MLL COP]	66,936	78,209	161,726	277,438	186,608
	Vr Com [MLL COP]	215,719	273,731	507,102	671,371	442,740
Sistemas estructurales	WMNR	99,220	139,963	215,024	226,256	125,672
	WMR	1,017	0	5,760	22,527	15,702
	WMC	13,321	10,705	33,884	47,697	29,965
	FCRND	6,869	2,448	24,908	49,805	34,281
	FCRD	1,717	612	7,228	16,722	13,239
	WCR	0	0	439	2,477	4,135
	SD	0	0	0	0	1,693
	WW	352	48	878	105	0
	WE	420	32	775	1,811	1,274
	PC	352	48	878	105	0
	O	0	2,562	0	0	0
	Parámetros	Nombre Barrio				
		San Javier Nº 1	Campo Alegre	Los Naranjos	Suburbano Santa Elena Central	El Salado
Generales	Id	331	332	333	334	335
	Coord_X	829,554	830,169	836,013	842,256	828,469
	Coord_Y	1,183,794	1,183,526	1,177,162	1,178,810	1,183,649
	Población 2015	4,582	6,095	9,492	523	12,258
	Area Construida	192,801	275,619	589,182	27,219	234,370
	Vr Rep [MLL COP]	142,673	302,228	1,011,655	13,610	141,494
	Vr Com [MLL COP]	337,402	722,016	2,541,464	47,633	410,148
Sistemas estructurales	WMNR	121,777	114,032	55,124	23,279	150,117
	WMR	9,474	34,353	50,132	0	7,624
	WMC	27,019	33,159	54,316	2,228	28,411
	FCRND	24,752	42,345	83,927	190	14,509
	FCRD	7,336	29,914	126,459	47	22,835
	WCR	931	16,427	116,603	0	7,868
	SD	363	3,407	102,389	0	154
	WW	0	0	0	553	378
	WE	1,147	1,982	230	369	625
	PC	0	0	0	553	378
	O	0	0	0	0	1,471

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Antonio Nariño	San Javier Nº 2	El plan	La Hondonada	Las Palmas
Generales	Id	336	337	338	339	340
	Coord_X	829,222	829,916	840,598	831,068	837,901
	Coord_Y	1,184,155	1,184,014	1,177,547	1,178,056	1,177,379
	Población 2015	8,714	3,477	367	2,209	3,433
	Area Construida	332,721	145,147	19,115	334,967	178,871
	Vr Rep [MLL COP]	186,797	156,431	21,982	320,717	313,025
	Vr Com [MLL COP]	582,261	376,096	52,565	763,854	787,034
Sistemas estructurales	WMNR	256,902	78,244	14,424	81,503	33,586
	WMR	4,510	13,806	1,911	9,935	35,446
	WMC	34,513	15,291	1,911	16,807	48,932
	FCRND	20,596	16,793	138	18,493	47,642
	FCRD	8,171	10,923	34	73,777	12,056
	WCR	3,022	6,260	0	88,281	1,210
	SD	1,511	2,975	0	45,370	0
	WW	1,137	63	0	0	0
	WE	1,151	730	696	801	0
	PC	1,137	63	0	0	0
O	72	0	0	0	0	
	Parámetros	Nombre Barrio				
		El Tesoro	Los Conquista- dores	San Joaquín	Altavista	Piedras Blancas Represa
Generales	Id	341	342	343	344	345
	Coord_X	836,369	833,411	833,079	828,483	840,449
	Coord_Y	1,177,911	1,182,291	1,182,713	1,178,692	1,186,531
	Población 2015	10,246	10,576	8,406	6,486	863
	Area Construida	870,497	751,522	396,411	151,824	44,947
	Vr Rep [MLL COP]	1,523,369	1,089,707	448,856	164,517	32,024
	Vr Com [MLL COP]	3,830,185	2,630,327	1,073,018	399,780	78,657
Sistemas estructurales	WMNR	46,740	139,336	154,135	97,977	38,200
	WMR	55,991	73,422	44,127	11,481	20
	WMC	59,120	62,878	42,743	13,169	4,675
	FCRND	92,364	121,998	55,528	2,589	60
	FCRD	183,408	231,511	57,606	8,871	15
	WCR	228,306	86,601	37,664	8,660	0
	SD	204,567	35,775	2,907	4,403	0
	WW	0	0	0	167	107
	WE	0	0	1,702	4,340	1,764
	PC	0	0	0	167	107
O	0	0	0	0	0	

**Tabla A.2 (continuación). Modelo de exposición de la ciudad de Medellín en términos de áreas [m<sup>2</sup>] construida por cada sistema estructural en cada barrio**

	Parámetros	Nombre Barrio				
		Piedra Gorda	Media Luna	Suburbano El Plan	Suburbano El Placer	Suburbano Piedra Gorda
Generales	Id	346	347	348	349	350
	Coord_X	843,659	840,566	840,117	843,055	842,795
	Coord_Y	1,181,513	1,180,547	1,178,131	1,180,681	1,181,873
	Población 2015	324	1,566	1,069	562	99
	Area Construida	16,845	81,589	55,692	29,244	5,144
	Vr Rep [MLL COP]	8,422	40,795	27,846	14,622	2,572
	Vr Com [MLL COP]	29,479	142,781	97,460	51,176	9,002
Sistemas estructurales	WMNR	14,509	68,842	48,105	25,288	4,408
	WMR	0	0	0	0	0
	WMC	1,293	7,187	4,425	2,331	382
	FCRND	0	1,216	88	33	0
	FCRD	0	304	22	8	0
	WCR	0	0	0	0	0
	SD	0	0	0	0	0
	WW	391	1,515	1,144	594	133
	WE	261	1,010	763	396	89
	PC	391	1,515	1,144	594	133
	O	0	0	0	0	0