

**CORRELACIÓN ENTRE LA FORMA URBANA Y LA
INFRAESTRUCTURA VERDE Y SU INCIDENCIA EN EL CONFORT
TÉRMICO DE MEDELLÍN**

DIANA PAOLA MORENO SALAZAR

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA
MAESTRÍA EN URBANISMO
MEDELLÍN**

2020

**CORRELACIÓN ENTRE LA FORMA URBANA Y LA
INFRAESTRUCTURA VERDE Y SU INCIDENCIA EN EL CONFORT
TÉRMICO DE MEDELLÍN**

DIANA PAOLA MORENO SALAZAR

Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Urbanismo

Director

Cesar Augusto Salazar Hernández, Mg

Asesor(es)

Bibiana Patiño, Esp

Sara Molina, Mg

Jhonatan Amado, MSc

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA
MAESTRÍA EN URBANISMO
MEDELLÍN**

2020

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Julio 14 de 2020

Diana Paola Moreno Salazar

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en ésta o en cualquiera otra universidad”.

Art. 92, parágrafo, Régimen Estudiantil de Formación Avanzada.

Firma:



A mi familia por ser mi apoyo.

A Nico por que su mirada siempre me inspira en cada momento

y a ti mi amor, porque me impulsas a soñar cada día más.

Agradecimientos

El desarrollo de la presente investigación fue posible gracias al apoyo incondicional de muchas personas que estuvieron hay para dar un consejo y/o sugerencia. A ellos doy mi especial agradecimiento.

Quiero iniciar por mi director Cesar Salazar por ser una persona tan comprensiva y paciente. Porque siempre estuvo atento para enseñarme desde su maravillosa experiencia en Medellín.

A Sara Molina y a Bibiana Patiño mis asesoras, quienes con toda la paciencia tuvieron disposición de hablar conmigo, de transmitirme un poco de su conocimiento y experiencia.

A Engelberth Soto, por que fue quien compartió la cartografía de los promedios de temperatura para cada uno de los barrios del área de estudio, información valiosa en el calculo del confort térmico de este proyecto.

A Sebastian Ruíz del grupo de investigaciones ambientales de la universidad Pontificia Bolivariana, porque gracias a él pude obtener información relacionada con humedad relativa y la velocidad del viento en cada uno de los barrios de la ciudad.

A Alejandro Martínez, quien en su proyecto investigativo generó la clasificación de ZCL para el Valle de Aburrá, la cual compartió conmigo de forma muy amable, y que fue de gran utilidad en mi proceso.

Resumen

El presente proyecto ahonda en el conocimiento que se tiene del confort térmico en el área urbana del municipio de Medellín. Para ello se identifican los periodos de tiempo que más han generado influencia en las formas edificadas y trazadas en la ciudad. Así como la distribución que cada unidad morfológica representa sobre la superficie de Medellín. Información que se recopiló en su mayoría en formato geoespacial con el fin de facilitar su uso al interior de aplicativos como ARCGIS.

Seguidamente se desarrolla la investigación en 3 fases fundamentales, en la primera se pone en contexto la distribución y forma de los componentes naturales y artificiales de la ciudad desde una escala urbana; En un Segundo momento se hace un ejercicio de correlación entre las variables que representan el clima del área urbana (Zonas Climáticas Locales) frente a las variables de infraestructura verde y morfología urbana, permitiendo en ese orden determinar relaciones directas, indirectas o aquellos casos en los que simplemente no existe correlación alguna. Para llegar así a un tercer momento en el cual mediante un análisis de conglomerados y en base a esos tipos de correlación, definir 3 pares de barrios del área urbana del municipio de Medellín (Tricentenario-Altamira), (Córdoba- La Mansión) y (Astorga-Los Alpes), los cuales son agrupados de acuerdo a sus condiciones de similitud del comportamiento de sus variables.

Con esos barrios finalmente, se evidencia como las formas del componente natural en asocio con las formas del componente edificado, pueden llegar a modificar el índice de confort térmico de los habitantes, dependiendo por supuesto de otros factores físicos y espaciales como la geomorfología, la ubicación, la altura y la geometría, entre otros. Esta investigación además plantea recomendaciones a la norma de planificación actual, dada la necesidad que existe de que el diseño y la edificación sean un poco más dependientes de las condiciones físicas, culturales y naturales del entorno sobre el cual se van a levantar. Logrando espacios que según ese equilibrio entre el verde y el gris modifiquen y mejoren los índices de confort térmico y de habitabilidad de los diferentes barrios de la ciudad.

PALABRAS CLAVE:

Infraestructura verde, morfología urbana, paisaje urbano, microclima urbano, confort térmico, urbanismo sostenible y ecología urbana.

Abstract

The interaction between the morphology related to the green infrastructure and the shape on how the cities have evolved are two key components associated with the thermal comfort index in the urban area of Medellín. This kind of information is mostly collected in geospatial format in order to facilitate its use within applications such as ARCGIS.

This research presents a three phases approach to identify how green and gray morphology are related. In the first phase, we recognize the different variables such as temperature, green zones, water network, road networks, building height, among others. During the second phase, we correlated those variables with the local climate zones (LCZ) to identify the direct, indirect or the not relationship between the multiple variables that the best describes the city. Finally, using cluster analysis and taking into account some internal dynamics of the district, three couples of neighbourhoods stood out in their similarity inside the urban area (Tricentenario Altamira), (Córdoba La Mansión) and (Astorga Los Alpes).

With those neighborhoods, it is evident how the forms of the natural component in association with the ways of the built-up element can modify the thermal comfort index, depending of course on other physical and spatial factors such as geomorphology, location, height and geometry, among others. This research also raises suggestions for the current planning standard, given the need that the design and building are more dependent on the physical, cultural and natural conditions of the environment.

KEYWORDS:

Green infrastructure, urban morphology, urban landscape, urban microclimate, thermal comfort, sustainable urban planning and urban ecology.

Contenido

	Pág.
Agradecimientos	5
Resumen	6
Abstract	8
Contenido	9
Lista de Figuras	14
Lista de Tablas	20
Introducción	22
1 ENFOQUE TEÓRICO CONCEPTUAL.	25
1.1 Teoría general de los sistemas	26
1.2 Sistema Urbano	27
1.2.1 Infraestructura urbana	28
1.2.2 Infraestructura Verde (IV)	32

1.3	Escalas de análisis del paisaje	36
1.4	Escalas climáticas	37
1.5	Parámetros Meteorológicos	40
1.5.1	Viento urbano	41
1.5.2	Temperatura urbana	42
1.5.3	Humedad relativa	43
1.6	Evapotranspiración urbana	43
1.7	Confort	45
2	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. CASO DE MEDELLÍN	49
2.1	Estudios locales	50
2.2	Otros Casos	52
2.2.1	Local Climates Zones for Urban Temperatures Studies	52
2.2.2	Identifying built environmental patterns using cluster analysis and GIS: Relationships with walkings, cyclings and body mass index in french adults	56
2.2.3	Detecting and Evaluating Urban Clusters with Spatiotemporal Big Data.	56
3	DISEÑO METODOLÓGICO	58
4	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	65
4.1	Fase 1: Escala urbana	65
4.1.1	Contexto urbano	65
4.1.1.1	Clima general	66
4.1.1.2	Temperatura urbana	68

4.1.1.3	Confort térmico	71
4.1.1.4	Vegetación urbana	75
4.1.1.5	Cuerpos hídricos urbanos	79
4.1.1.6	Estructura edificada	80
4.1.2	Indicadores de IV y FU elegidos para determinar la correlación de la morfología y la infraestructura verde a escala urbana	83
4.1.2.1	Indicadores de forma urbana	83
4.1.2.2	Indicadores de infraestructura verde	91
4.2	Fase 2: Correlación de variables urbanas	97
4.2.1	Correlación entre el índice de confort, temperatura y ZCL	99
4.2.2	Correlación entre el índice de confort, temperatura y FU	105
4.2.3	Correlación entre el índice de confort, temperatura e IV	111
4.2.4	Correlación entre el índice de confort, temperatura e indicadores	117
4.2.5	Correlación entre las variables de IV y FU	123
4.3	Fase 3: Definición de conglomerados urbanos	129
4.3.1	Análisis de Conglomerados con 19 Clústeres	131
5 ANÁLISIS DE CASOS A ESCALA BARRIAL		135
5.1	Pareja 1 :Barrio Tricentenario y Altamira	137
5.1.1	Barrio Tricentenario	137
5.1.2	Barrio Altamira	138
5.1.3	Barrio Tricentenario frente al barrio Altamira.	139
5.2	Pareja 2 :Barrio Córdoba y La Mansión	143

5.2.1	Barrio Córdoba	143
5.2.2	Barrio La Mansión	144
5.2.3	Barrio Córdoba frente al barrio La Mansión.	145
5.3	Pareja 3: Barrio Astorga y Los Alpes	149
5.3.1	Barrio Astorga	149
5.3.2	Barrio Los Alpes	150
5.3.3	Barrio Astorga frente al Barrio Los Alpes	152
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	156
6.1	Conclusiones	156
6.2	Recomendaciones a la gestión de la infraestructura verde	159
Anexo A	ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	162
A.1	Periodos determinantes en la transformación urbana de Medellín	164
Anexo B	BARRIO TRICENTENARIO Y BARRIO ALTAMIRA	170
B.1	Barrio Tricentenario	170
B.2	Barrio Altamira	177
Anexo C	BARRIO CÓRDOBA Y BARRIO LA MANSIÓN	183
C.1	Barrio Córdoba	183
C.2	Barrio La Mansión	190
Anexo D	BARRIO ASTORGA Y BARRIO LOS ALPES	196
D.1	Barrio Astorga	196

D.2 Barrio Los Alpes	202
Anexo E CÁLCULO DE COMPACIDAD ABSOLUTA Y CORREGIDA	208
E.1 Compacidad absoluta	208
E.2 Compacidad corregida	210
Anexo F CARTOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	211
F.1 Crecimiento histórico de Medellín	212
F.2 Espacio público en Medellín	213
F.3 Tramo quebradas Medellín	214
Anexo G CONGLOMERADOS URBANOS CALCULADOS	215
Bibliografía	217

Lista de Figuras

	Pág.
1.1 Sistema urbano. Tomado de (Bai et al., 2016)	27
1.2 Jerarquía de la infraestructura verde en Medellín. Tomado de (Alcaldía de Medellín, 2015)	36
3.1 Escala de color, índice de confort del IDEAM. Adaptado de (González, 1998)	61
3.2 Escala de color, índice de confort sugerida. Fuente: elaboración propia.	62
3.3 Modelo metodológico general. Fuente: elaboración propia.	63
3.4 Fases del modelo metodológico general. Fuente: elaboración propia.	64
4.1 Zonas climáticas locales urbanas. Tomado de (Martínez Osorio, 2018)	67
4.2 Temperatura promedio urbana. Fuente: elaboración propia con datos de (Soto Estrada, 2019)	69
4.3 Temperatura urbana aproximada para el año 2019. Fuente: elaboración propia.	70
4.4 Índice de confort urbano (escala del IDEAM). Fuente: elaboración propia.	72
4.5 Índice de confort (escala sugerida) . Fuente: elaboración propia.	74
4.6 Infraestructura verde urbana. Fuente: elaboración propia con datos de (Alcaldía de Medellín, 2019).	75

4.7	Cuerpos hídricos urbanos. Fuente: elaboración propia con datos de(Alcaldía de Medellín, 2019).	79
4.8	Estructura edificada. Fuente: elaboración propia con datos de (Alcaldía de Medellín, 2019).	81
4.9	Jerarquización vial urbana. Fuente: elaboración propia con datos de(Alcaldía de Medellín, 2019).	82
4.10	Mapa de unidades morfológicas. Fuente: elaboración propia con datos de(Universidad Nacional de Colombia & Empresa de Desarrollo Urbano, 2006).	84
4.11	Mapa área ocupada. Fuente: elaboración propia.	85
4.12	Mapa área de construcción urbana. Fuente: elaboración propia.	86
4.13	Mapa área de vías. Fuente: elaboración propia.	87
4.14	Mapa de volumen edificado. Fuente: elaboración propia.	88
4.15	Mapa de compacidad absoluta. Fuente: elaboración propia.	89
4.16	Mapa de compacidad corregida. Fuente: elaboración propia.	90
4.17	Porcentaje de área de zonas verdes en el ámbito río, ladera y borde. Fuente: elaboración propia.	92
4.18	Mapa de densidad árboles. Fuente: elaboración propia.	93
4.19	Mapa de densidad cuerpos hídricos. Fuente: elaboración propia.	94
4.20	Mapa de densidad de zonas verdes. Fuente: elaboración propia.	95
4.21	Diagrama de correlación entre IC, temperatura y ZCL (ámbito río). Fuente: elaboración propia.	100
4.22	Diagrama de correlación entre IC, temperatura y ZCL (ámbito ladera). Fuente: elaboración propia.	102
4.23	Diagrama de correlación entre IC, temperatura y ZCL (ámbito borde). Fuente: elaboración propia.	104

4.24	Diagrama de correlación entre IC, temperatura y FU (ámbito río). Fuente: elaboración propia.	107
4.25	Diagrama de correlación entre IC, temperatura y FU (ámbito ladera). Fuente: elaboración propia.	109
4.26	Diagrama de correlación entre IC, temperatura y FU (ámbito borde). Fuente: elaboración propia.	111
4.27	Diagrama de correlación entre IC, temperatura e IV (ámbito río). Fuente: elaboración propia.	113
4.28	Diagrama de correlación entre IC, temperatura e IV (ámbito ladera). Fuente: elaboración propia.	115
4.29	Diagrama de correlación entre IC, temperatura e IV (ámbito borde). Fuente: elaboración propia.	116
4.30	Diagrama de correlación entre IC, temperatura e indicadores (ámbito río). Fuente: elaboración propia.	119
4.31	Diagrama de correlación entre IC, temperatura e indicadores (ámbito ladera). Fuente: elaboración propia.	120
4.32	Diagrama de correlación entre IC, temperatura e indicadores (ámbito borde). Fuente: elaboración propia.	122
4.33	Diagrama de correlación entre ZCL e IV (ámbito río). Fuente: elaboración propia.	123
4.34	Diagrama de correlación entre FU e IV (ámbito río). Fuente: elaboración propia. .	124
4.35	Diagrama de correlación entre ZCL e IV (ámbito ladera). Fuente: elaboración propia.	126
4.36	Diagrama de correlación entre FU e IV (ámbito ladera). Fuente: elaboración propia.	127
4.37	Diagrama de correlación entre ZCL e IV (ámbito borde). Fuente: elaboración propia.	128
4.38	Diagrama de correlación entre FU e IV (ámbito borde). Fuente: elaboración propia.	129
4.39	Selección de número de clústeres. Fuente: elaboración propia.	131

4.40	Mapa de clústeres en Medellín. Fuente: elaboración propia.	134
5.1	Ubicación espacial barrio Tricentenario. Fuente: elaboración propia.	137
5.2	Ubicación espacial barrio Altamira. Fuente: elaboración propia.	138
5.3	Representación 3D. (a) Barrio Tricentenario, (b) Barrio Altamira. Fuente: elaboración propia.	139
5.4	Unidades morfológicas. Barrio Tricentenario (a). Barrio Altamira (b). Fuente: elaboración propia.	140
5.5	Zonas verdes. Barrio Tricentenario (a). Barrio Altamira (b). Fuente: elaboración propia.	141
5.6	Índice de confort térmico. Barrio Tricentenario (a). Barrio Altamira (b). Fuente: elaboración propia.	142
5.7	Ubicación espacial barrio Córdoba. Fuente: elaboración propia.	143
5.8	Ubicación espacial barrio La Mansión. Fuente: elaboración propia.	144
5.9	Representación 3D. (a) Barrio Córdoba, (b) Barrio La Mansión. Fuente: elaboración propia.	145
5.10	Unidades morfológicas. Barrio Córdoba (a). Barrio La Mansión(b). Fuente: elaboración propia.	146
5.11	Zonas verdes. Barrio Córdoba (a). Barrio La Mansión(b). Fuente: elaboración propia.	147
5.12	Índice de confort térmico. Barrio Córdoba (a). Barrio La Mansión(b). Fuente: elaboración propia.	148
5.13	Ubicación espacial barrio Astorga. Fuente: elaboración propia.	149
5.14	Ubicación espacial barrio Los Alpes. Fuente: elaboración propia.	150
5.15	Representación 3D. (a) Barrio Astorga, (b) Barrio Los Alpes. Fuente: elaboración propia.	152

5.16	Unidades morfológicas. Barrio Astorga (a). Barrio Los Alpes (b). Fuente: elaboración propia.	153
5.17	Zonas verdes. Barrio Astorga (a). Barrio Los Alpes (b). Fuente: elaboración propia.	154
5.18	Índice de confort térmico. Barrio Astorga (a). Barrio Los Alpes (b). Fuente: elaboración propia.	155
B.1	Barrio Tricentenario. (a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas. Fuente: elaboración propia.	171
B.2	Barrio Tricentenario. (a) Pisos edificadas. (b) Espacio público. Fuente: elaboración propia.	172
B.3	Barrio Tricentenario. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes. Fuente: elaboración propia.	173
B.4	Barrio Altamira. (a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas. Fuente: elaboración propia.	177
B.5	Barrio Altamira. (a) Pisos edificadas. (b) Espacio público. Fuente: elaboración propia.	178
B.6	Barrio Altamira. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes. Fuente: elaboración propia.	179
C.1	Barrio Córdoba. (a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas. Fuente: elaboración propia.	184
C.2	Barrio Córdoba. (a) Pisos edificadas. (b) Espacio público. Fuente: elaboración propia.	185
C.3	Barrio Córdoba. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes. Fuente: elaboración propia.	186
C.4	La Mansión. (a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas. Fuente: elaboración propia.	190
C.5	Barrio La Mansión. (a) Pisos edificadas. (b) Espacio público. Fuente: elaboración propia.	191

C.6	Barrio La Mansión. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes. Fuente: elaboración propia.	192
D.1	Barrio Astorga. (a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas. Fuente: elaboración propia.	197
D.2	Barrio Astorga. (a) Pisos edificados. (b) Espacio público. Fuente: elaboración propia.	198
D.3	Barrio Astorga. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes. Fuente: elaboración propia.	199
D.4	Barrio Los Alpes. (a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas. Fuente: elaboración propia.	202
D.5	Barrio Los Alpes. (a) Pisos edificados. (b) Espacio público. Fuente: elaboración propia.	203
D.6	Barrio Los Alpes. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes. Fuente: elaboración propia.	204
E.1	Cálculo de compacidad absoluta. Fuente: elaboración propia.	209
E.2	Cálculo de compacidad corregida. Fuente: elaboración propia.	210
F.1	Mapa de crecimiento histórico de Medellín. Fuente: elaboración propia con datos de(Salazar Hernández, 2012).	212
F.2	Mapa de espacio público en Medellín. Fuente: elaboración propia con datos de(Alcaldía de Medellín, 2019).	213
F.3	Mapa de tramos de las quebradas en Medellín. Tomado de (Alcaldía de Medellín, 2009).	214
G.1	Análisis de conglomerados urbanos. Fuente: elaboración propia.	216

Lista de Tablas

	Pág.
1.1 Tipologías Morfológicas urbanas. Adaptado de (Universidad Nacional de Colombia & Empresa de Desarrollo Urbano, 2006)	31
1.2 Elementos de la IV según (Calaza Martínez, 2017)	34
1.3 Elementos de la IV según (Benassi, 2015)	34
1.4 Clasificación de la EEP y EEC según el POT de 2014. Tomado de (Municipio de Medellín & Secretaria de Servicios Administrativos, 2014)	38
2.1 Zonas climáticas locales. Adaptada de (Stewart & Oke, 2012) y (Martínez Osorio, 2018) Ilustraciones de Martínez Osorio	54
2.2 Propiedades variables de cobertura de suelo. Adaptada de (Stewart & Oke, 2012) y (Martínez Osorio, 2018) Ilustraciones de Martínez Osorio	55
3.1 Tabla para el cálculo del índice de confort (IC). IC = Índice de confort, t_s = temperatura del aire, V = velocidad del viento, h = humedad relativa.	60
4.1 Tabla de temperaturas. Tomada de (Soto Estrada, 2019)	68
B.1 Indicadores calculados para el barrio Tricentenario.	176
B.2 Indicadores calculados para el barrio Altamira.	182

C.1	Indicadores calculados para el barrio Córdoba.	189
C.2	Indicadores calculados para el barrio la Mansión.	195
D.1	Indicadores calculados para el barrio Astorga.	201
D.2	Indicadores calculados para el barrio Los Alpes.	207

Introducción

Medellín es una ciudad en la cual se han instaurado diferentes modelos y trazados urbanos, que de acuerdo a los ideales propios de cada momento histórico, fueron desencadenando una urbe tan diversa en términos de forma y estructuras como la que existe hoy. Por otra parte en esta ciudad se viene afrontando un incremento de la temperatura de $0,7^{\circ}$ C por década en el periodo que va entre 1942 y 2009, por lo menos en la zona correspondiente a la estación del Aeropuerto Olaya Herrera (Soto Estrada, 2019). En donde la zona centro representa la isla de calor más contundente del área urbana del Valle del Aburrá (Martínez Osorio, 2018).

En ese orden el problema que se pretende atender es la desaforada urbanización que la ciudad afronta bajo modelos de desarrollo que obedecen a patrones espaciales que se repiten a lo largo de toda el área urbana, determinados en gran medida por intereses del mercado inmobiliario en detrimento del bienestar común. Sumado a esto, el componente verde se introduce sin tener parámetros claros de localización y distribución, por ende, el resultado es un paisaje urbano que no se adecuaba a las condiciones ambientales y geográficas de la ciudad. Un tema que aunque viene siendo tema de análisis académico, sobretodo desde el análisis de las islas de calor urbano, necesita ser mirado a profundidad desde los impactos que este fenómeno genera en los habitantes de la ciudad, para plantear así estrategias de mitigación útiles y efectivas.

La idea es abordar la investigación desde esos avances que se han realizado en cuanto a la determinación de la isla de calor urbano planteados principalmente por (Soto Estrada, 2019) y (Martínez Osorio, 2018), así como el reconocimiento de las formas edificadas instauradas (Universidad Nacional de Colombia & Empresa de Desarrollo Urbano, 2006) en determinados momentos de tiempo que marcaron la historia del desarrollo urbano de Medellín (Salazar Hernández, 2012). Momentos que además han tenido una relación específica frente a la introducción de los espacios naturales y verdes, los cuales fueron determinantes del orden vegetal que actualmente hace presencia.

Por ejemplo las islas de calor son entendidas como las perturbaciones de los campos de tem-

peratura superficial en las ciudades, los cuales pueden afectar los patrones de circulación de los vientos (Jiménez Mejía, 2016) y se relacionan con la alta densidad de edificaciones, con las estructuras urbanas que absorben la radiación solar, los materiales absorbentes, la falta de espacios verdes, las características de los cañones urbanos y la producción de calor antropogénico (Guo-yu et al., 2013).

Ya existen estudios como el desarrollado por Guo-yu et al. en el cual se deja en evidencia como la vegetación tiene gran potencial para reducir las temperaturas urbanas y globales, entre 0,5 y 4 °C en asocio con estrategias de agricultura urbana, techos verdes y cuerpos hídricos, donde las áreas verdes superiores a las 14 ha de extensión contribuyen específicamente al enfriamiento urbano, dado el consumo de calor latente que reduce el calor sensible, generando una reducción en la temperatura del aire. Lo cual finalmente mitiga el efecto de las islas de calor a escala urbana. Estudios que funcionan como punto de partida que permite verificar si las características morfológicas de los componentes edificados y naturales del área urbana del municipio de Medellín, influyen en el confort térmico de la ciudad.

En ese sentido se plantea como hipótesis de la presente investigación que en Medellín la interacción entre las formas urbanas y la infraestructura verde, genera variaciones en la sensación de confort de las personas según los atributos que estas zonas tienen en el territorio. Pues las estrategias de fortalecimiento del componente vegetal, se establecen de forma mecánica y repetitiva a lo largo de toda el área urbana, concentrándose en algunos barrios icónicos de la ciudad, sin importar la condición térmica, climática o ambiental de otros sectores que por sus condiciones, generan menor confort para sus habitantes.

De ahí que como objetivo principal se plantee analizar los principios de configuración espacial existentes entre la forma urbana y la infraestructura verde y su incidencia en el confort térmico de los habitantes de la ciudad de Medellín; a través de un análisis morfológico de la estructura urbana que conduzcan a la definición de criterios de ajuste a las iniciativas de reverdecimiento urbano. Igualmente se proponen los siguientes objetivos específicos: (1) Establecer las variables de forma urbana e infraestructura verde que representan la estructura físico espacial de la ciudad. (2) Determinar el índice de confort térmico que los habitantes del área urbana del municipio de Medellín experimentan en diferentes zonas de la ciudad, según los patrones físicos de la infraestructura verde y gris de cada uno de ellos. (3) Identificar la correlación existente entre las formas de la estructura urbana de Medellín frente a la infraestructura verde de la ciudad y el índice de confort térmico, con el fin de detectar zonas de contrastes del verde frente al gris. Para finalmente (4) Plantear sugerencias de ajuste al Sistema de planificación, de tal manera que se logre mejor articulación entre la forma urbana y la infraestructura verde para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

En ese orden, el lector encontrará, en el primer capítulo la explicación de como la ciudad se articula con cada una de las variables de forma que finalmente permite llegar a determinar un tipo de correlación débil, moderada o fuerte en la ciudad. Posteriormente, se exponen las investigaciones de base, que se consideraron para el desarrollo del presente proyecto. En un tercer momento se expone la metodología general, que se fundamenta en 3 fases fundamentales, para seguir con el análisis y el contexto a escala urbana, y la generación de gráficos de correlación que permiten llegar a un gráfico final de clústeres que agrupa los diferentes barrios de la ciudad según su grado de similitud. Finalmente, se hace un análisis de los barrios que por su condiciones de correlación merecen ser objeto de una mirada con un nivel de detalle de microescala urbana.

Capítulo 1

ENFOQUE TEÓRICO CONCEPTUAL.

CIUDAD COMO ECOSISTEMA

El punto de partida de esta investigación es entender la ciudad como el sistema más complejo que ha creado la especie humana. Resultado de un proceso colectivo, dadas las relaciones que el ser humano establece como animal social, para obtener las organizaciones y sinergias que de forma individual no puede conseguir (Tort Donada & Santasusagna Riu, 2018).

Ese sistema es un entramado de relaciones entre seres vivos y elementos inertes que forman un conjunto cuya complejidad es superior a la mera suma de sus partes. En el cual circula una serie de flujos de materia y energía, que para el caso de la materia se renuevan de forma cíclica, mientras que, para la energía, y en consideración de la segunda ley de la termodinámica, se degrada, considerando además los flujos de información que la globalización demanda. Todo esto como procesos que los seres vivos necesitan realizar para desarrollarse y mantenerse vivos (Higueras, 2006).

Es Kurbán quien considerando a (Papparelli, 2003), establece que el sistema general urbano se compone de la suma del sistema natural y del antropizado que se interrelacionan con unidades de información más pequeñas y desagregadas que independientemente de sus características dinámicas y de movilidad generan información que se modifica continuamente para cada componente. Creándose así el flujo que vigoriza el sistema general urbano, permitiéndole su

evolución, transformación y desarrollo.

Además de que la idea de concebir la ciudad como sistema no solo tiene interés cultural o científico, sino que también aporta a soluciones de mayor escala, que involucran el funcionamiento interno de la ciudad. Ya que dicha solución sistémica parece la única válida ante la complejidad de los problemas y su interacción en la ciudad actual.

1.1 TEORÍA GENERAL DE LOS SISTEMAS

Es hacia la década de 1950, cuando la teoría general de sistemas y la cibernética se aplicaron a las ciencias sociales, cuando las ciudades empezaron a ser tratadas como sistemas, que más adelante hacia finales de los 60 Ludwig von Bertalanffy en la rama de la biología y Norbert Weiner en la ingeniería, impulsaron a través de la teoría de que los fenómenos de interés de las diferentes disciplinas se articulan a la definición de sistemas (Batty, 2012).

Según (González González, 2002) "un sistema se define como un conjunto determinado de componentes, dotados de ciertas propiedades, atributos o valores, que están en relaciones directas o indirectas de interdependencia, que cumplen unas funciones determinadas y están implicados en la producción de un resultado del conjunto del sistema". Resultado que entre tanto obedece a las condiciones prevalecientes en su tiempo, en donde cada nuevo cambio superpone a los cambios anteriores (Peiravian, de Lapparent, & Derrible, 2015).

Bai et al., esquematizan las interacciones de un sistema urbano (ver figura 1.1), a tal punto donde se integran múltiples características, actores, estructuras, procesos, conexiones y funciones entre los componentes de la ciudad, los cuales interactúan desde escalas menores (barrio, calle, cuadra) reflejando en procesos y estructuras mayores como la urbe, la nación y la región.

Este sistema sinérgico, de interacción múltiple, constante y atemporal es la que permite valorar la ciudad como el punto de partida para implementar los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), ya que en esta escala es donde la inequidad y la disfuncionalidad se oculta dentro de los datos y procesos nacionales. Además en esta escala local, hay un mayor alcance a esos objetivos planteados por los países, que en este caso de análisis específico, esa mirada integradora de la ciudad como sistema, conlleva al cumplimiento de objetivos como el relacionado con el desarrollo de ciudades sostenibles, que se complementan con estrategias tecnológicas adecuadas que significan acciones cruciales por el clima local y global (objetivos 9, 11 y 13); pero que hacen parte fundamental para avanzar en la actuación de Colombia y específicamente

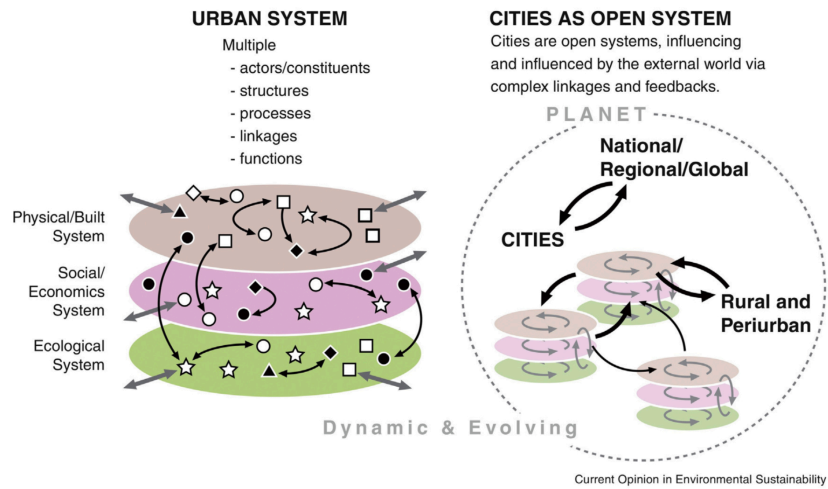


Figura 1.1: Sistema urbano. Tomado de (Bai et al., 2016)

de Medellín frente a los demás objetivos. De esa manera la presente investigación aborda múltiples escalas urbanas, que se interconectan logrando que la pieza más simple de la ciudad refleje incluso en la complejidad de una región.

1.2 SISTEMA URBANO

Según lo expuesto, el sistema urbano es espacialmente heterogéneo y dinámico, factor que es fundamental para la ciencia ecológica pero que, desde otras disciplinas como las ciencias sociales, el mismo urbanismo y las profesiones de planificación, integra una de sus preocupaciones principales. Dicha heterogeneidad biofísica y social de los sistemas urbanos puede tomar muchas formas, desde el ecosistema biológico puede significar la distribución diferencial de la estructura de la vegetación, como zonas críticas y con zonas muertas de procesamiento de nutrientes y materia orgánica, mientras que, para el entorno físico, puede referirse a las zonas más frías y cálidas de las temperaturas del aire y la superficie en la ciudad.

No obstante, el sistema urbano está ligado a una serie de procesos de intercambio de energía que dependen de recursos físicos, fuerza de trabajo e información, etc. Con los cuales su estado interno o estructura, se integra a una serie de componentes que a su vez tiene unas

propiedades, subcomponentes y relaciones entre si, donde cada aspecto como la energía, los recursos naturales y la producción de residuos actúan como flujos que, si se controlan, cierran y estimulan; pueden conllevar al desarrollo sostenible (González González, 2002).

1.2.1 INFRAESTRUCTURA URBANA

Entendida como los elementos del espacio urbano que han sido diseñados y edificados por el hombre, a fin de apoyar la producción social y económica mediante carreteras, redes de suministro de servicios públicos, edificaciones, entre otras estructuras que ofrecen mejoras en la calidad de vida de los habitantes en la ciudad. Caracterizada además por que su diseño busca principalmente suplir solo funciones individuales, a través de servicios urbanos específicos que brinda (Pakzad & Osmond, 2015).

Se clasifica de acuerdo a la categoría del servicio que ofrece en infraestructura de transporte, como carreteras, aeropuertos, vías urbanas, parqueaderos, ferrocarriles, terminales de carga. Infraestructura comercial, entendida como fábricas, oficinas y zonas comerciales. Además de todas las redes de servicios públicos urbanos y la infraestructura social que abarca escuelas, hospitales, edificios y viviendas. Estructuras que tienen el potencial de interferir negativamente en la vida silvestre de las especies, en especial de aquellas que tienen grandes cantidades de especies y tradiciones migratorias específicas de temporada (McKenna, 2012). Dichas estructuras edificadas abarcan las construcciones de uso privado o público, las cuales según su forma, tamaño y presencia demarcan el trazado de cada sector de la ciudad.

Actualmente, la infraestructura gris tiene que complementarse del componente vegetal de escala urbana o metropolitana, a fin de mitigar los impactos que la infraestructura gris por si sola genera, tales como calor urbano, contaminación, mayor escorrentía, ausencia de la biodiversidad urbana, entre otros . En ese orden, ese complemento hace que la ciudad pueda contemplar los servicios ecosistémicos que el componente natural brinda. Esto sustentado en múltiples investigaciones que plantean los diferentes beneficios a los que se llega con esta evidente asociación (Calaza Martínez, 2017), (Aleksandrova, 2016) y (Naylor et al., 2017).

Adicionalmente, la infraestructura urbana o infraestructura gris ha sido ampliamente estudiada por teóricos que pretenden analizar las lógicas de distribución del espacio, son por su parte Manuel de Solá Morales y Horacio Capel, autores que han identificado patrones de distribución de las principales ciudades de Europa, y que hoy se han implementado en otros centros urbanos del planeta, como medida que facilita la interpretación de la influencia de las formas urbanas frente al comportamiento de estos poblados. Formas que desde un ámbito de configuración urbana y de transformación de las estructuras se definen como morfología

urbana.

Ahora bien, la morfología de la ciudad se conforma principalmente por un plano, por edificios y por usos del suelo, definiendo así la composición de la urbe actual. Donde el plano tiene a su vez cuatro complejos distintos de elementos como las calles, las manzanas delimitadas por las calles, las parcelas individuales que sirven de soporte de los edificios y por las plantas o edificios que reflejan el crecimiento en altura de la ciudad. De la combinación de estas estructuras y procesos se da lugar a lo que se conoce como formas urbanas (Capel, 2002), que de ahora en adelante serán variable fundamental del análisis que este proyecto pretende analizar frente a la infraestructura verde y el confort urbano del municipio de Medellín.

(de Solà-Morales i Rubió, 1997) y (Capel, 2002) afirman sobre la formación de tejidos diferenciados en la expansión urbana, de acuerdo al patrón de parcelación, urbanización y edificación establecido, el cual forma hileras de distinto orden, de distinta forma y en distintos tiempos o momentos. Los cuales integran el paisaje y reflejan a forma de palimpsesto el tejido que se conforma en la ciudad, con huellas de formas anteriores en las cuales se borran y reescriben o incluso reutilizan dejando finalmente una huella espacial.

Unidades morfológicas urbanas

Corresponden a la unidad de forma que finalmente integra el trazado de toda una ciudad, formas que según su influencia histórico-temporal obedecen a geometrías diversas, que se establecen como base físico-espacial.

En ese orden es como tanto la alcaldía y el AMVA, recopilan todos los esfuerzos cartográficos realizados en la ciudad, y los llevan a mapas del crecimiento actualizado, paralelizando con los momentos y movimientos urbanos históricos más representativos, que permiten finalmente entender la causa de las huellas físico-espaciales presentes en Medellín. Para de esa forma definir comportamientos y usos del espacio en los cuales se han instaurado.

Las formas de trazado identificados para el municipio de Medellín son: el trazado barrial, los proyectos de ensanche, urbanización de gestores privados, urbanización marginal, polígonos especializados, invasión y los polígonos residenciales como los presentados en la tabla 1.1 .

Donde el trazado barrial es la forma que obedece a complejos barriales propios de la ciudad fundacional, la cual se caracteriza por corresponder a los principios del urbanismo tradicional con plazas, parques, calles y edificaciones. Esta tipología a su vez tiene pequeñas variaciones de su forma, que la definen en regular completa, de extensión ortogonal, de extensión irregular

y de extensión curva, para las cuales el tipo de manzana urbana será característico.

Los proyectos de ensanche por su parte son el trazado en el cual se mantiene el modelo de malla preexistente, realizando a esto la ampliación del tejido urbano, la cual se caracteriza por la repetición tipológica de la edificación. Además de que adopta modelos geométricos que se destacan por la ocupación del suelo.

En cuanto a la urbanización de gestores privados o urbanizaciones piratas son aquellas en las que urbanizadores privados, legales o ilegales entregaban al mercado porciones de suelo producto de la parcelación de fincas. De ahí que dichos urbanizadores no garantizaban acabados a vías ni redes de servicios. De esa forma es como este modelo de gran déficit en la adecuación infraestructural, está mayormente adaptado para las viviendas de tipo unifamiliar en la ciudad.

La urbanización marginal equivale a significativas porciones de suelo en la ciudad, realizadas de forma espontánea por los mismos pobladores, en zonas de difícil accesibilidad dado a su localización en zonas topográficamente complicadas, en donde además el espacio público pasa a un plano netamente residual.

La tipología de polígonos especializados, representa el modelo de agrupar dos o más manzanas tradicionales para fines industriales o de equipamientos públicos. Esto acorde a los preceptos de Wienert y Sert de inicios de la década de los 60, en los cuales no solo se pretendía regular el espacio sino la densidad poblacional y las actividades urbanas.

Por su parte la invasión es un modelo propio de las comunidades más vulnerables de la ciudad, que se ubican frecuentemente en las zonas de borde o de retiro de quebradas. Esto dado a que no se obedece ninguna norma urbanística, generando espacios con con altas densidades y sobreaprovechamiento del suelo. Al igual que la tipología de urbanización marginal, suele ubicarse en zonas de topografía compleja, donde la accesibilidad y el espacio público son bastante limitadas.

Finalmente el modelo de polígonos residenciales se caracteriza por ser diferencial frente a las tramas urbanas urbanas ya existentes, pues obedece a polígonos con organización interna definida. Con esta tipología se despliega un crecimiento urbano por paquetes cerrados, con bordes discontinuos, que genera segregación y monotonía interna. Limitando sus espacios de encuentro a dinámicas de permanente control en las que la dinámicas de la calle están totalmente aisladas.

Al fusionar todas esas unidades morfológicas urbanas sobre el plano de Medellín se obtiene el mapa de unidades morfológicas (ver figura 4.10), el cual es elaborado por la Universidad



























Unidad Morfológica	Trazado Barrial	Espacio Publico	Unidad Morfológica	Urbanizacion Marginal	Espacio Publico
Fundacional	 	Plaza Fundacional	Aglomeración, bordes curvos y/o rectos	 	Callejon Escalinatas Parque Quebrada
Ortogonal e irregular	 	Calle	Polígonos Especializados		
Ortogonal, irregular y Curva	 	Parque	Equipamientos	 	Áreas verdes interiores en inst edu.
Proyectos de Ensanche			Supermanzana Industrial	 	Áreas verdes interiores en fabricas
Ordenación en cuadrícula y malla rectangular	 	Plaza	Invasión		
Ordenación radiocéntrica	 	Parque	Invasión	 	Callejon Parque quebrada
Urbanización de Gestores Privados			Polígonos Residenciales		
Ordenación en cuadrícula y malla rectangular	 	Plaza	Poligonos Residenciales Cerrados	 	Áreas verdes interiores
Ordenación en cuadrícula y malla rectangular	 	Calle	Polígonos residenciales Abiertos	 	Áreas verdes interiores

Tabla 1.1: Tipologías Morfológicas urbanas. Adaptado de (Universidad Nacional de Colombia & Empresa de Desarrollo Urbano, 2006)

Nacional en convenio con la alcaldía de Medellín dentro del PEEP, desarrollado en el año 2006, y que ha sido base primordial de la comprensión histórica y espacial de la ciudad. Y que para efectos de esta investigación se toma como punto de partida.

Ámbitos territoriales urbanos

Son una clasificación territorial que la norma urbana (POT) plantea con el fin de parametrizar el desarrollo y ocupación de la ciudad. Donde existen siete categorías en total, que finalmente definen el accionar de dicha normativa urbana. Con estas siete categorías (regional-metropolitano, municipal-rural, borde rural, borde urbano, ladera y río), la ciudad controla y regula el territorio para de acuerdo a las características de cada uno, incentivar estrategias territoriales que conlleven al modelo de ocupación planteado para la ciudad (Municipio de Medellín & Secretaria de Servicios Administrativos, 2014).

Estas categorías urbanas, hacen parte de la estructura del plan de ordenamiento territorial, el cual por una parte focaliza sus esfuerzos en los sistemas físico-espaciales de la ciudad a través del uso y ocupación del territorio desde 3 miradas, por una parte desde los elementos de soporte físico de carácter natural, por otra desde la ocupación de los espacios públicos y colectivos y otro desde la ocupación de los espacios privados. Donde estos ámbitos surgen, como escalas que permiten finalmente aterrizar la norma y el análisis a un alcance previsto.

De ahí que por efectos del análisis y alcance físico-espacial del presente proyecto se centre principalmente en los tres ámbitos relacionados específicamente con el área urbana del municipio, es decir el ámbito de borde urbano, ladera y río.

1.2.2 INFRAESTRUCTURA VERDE (IV)

La infraestructura verde tiene múltiples definiciones en el campo de la investigación urbana, sin embargo, en esta investigación se asume el concepto planteado por (Calaza Martínez, 2017) y (Firehock, 2015), en el cual se le reconoce como una red que conecta espacios naturales y seminaturales (espacios introducidos de forma intencional por el hombre a la ciudad) que se organizan según su forma e importancia ecosistémica en nodos, parches y fragmentos, que poseen características ambientales diversas y que se entretujan con el medio construido y artificial.

La importancia de esta estructura en el entorno urbano radica en como logra mitigar los impactos negativos que la impermeabilización del suelo y la infraestructura gris infunden en

el territorio, afectando no solo las condiciones de vida de los humanos sino de las especies naturales y animales que allí habitan. Concibiéndose como una estructura pluridisciplinar que integra múltiples líneas del conocimiento en relación al análisis de la ciudad, que permite constituir un sistema de espacios naturales interconectados que complementan el urbanismo oficial, haciendo no solo construcciones sino ciudad (Salvador Palomo, 2003).

La condición de los espacios verdes urbanos sustenta el funcionamiento de los ecosistemas urbanos, a pesar de eso los arquitectos paisajistas tienden a suponer que "entre más verde el espacio, este es mucho mejor"; sin embargo la eficiencia de la vegetación en la ciudad en relación al confort urbano depende de otros factores como la densidad, distribución y los servicios prestados (Tavares & Swaffield, 2017). En esa medida se logra ser un apoyo real de la biodiversidad, además de que se influye adecuadamente en la salud física y bienestar mental de las personas, entre otros beneficios sociales como el de generar espacios encuentro y recreación ciudadana (Valdés, 2016).

Esta infraestructura surge de la articulación de espacios como son los corredores verdes, zonas de alto valor en términos de biodiversidad, zonas neurálgicas fuera de las zonas protegidas que contienen ecosistemas sanos, hábitats restaurados que conectan y mejoran las zonas naturales existentes, elementos naturales que rigen como puntos de enlace o corredores para la fauna silvestre, elementos artificiales que mejoran los servicios ecosistémicos o ayudan al movimiento de la fauna silvestre, zonas de amortiguamiento que mejoran la calidad ecológica general, la permeabilidad de la superficie y demás zonas multifuncionales donde coexisten diferentes usos del suelo compatibles para crear combinaciones de gestión del suelo en una misma zona espacial, entre otros espacios que por su riqueza natural y su conectividad al sistema, generan servicios ecosistémicos de gran valor urbano (Dirección General de Medio Ambiente, 2014).

(Benassi, 2015) plantea como la vegetación urbana a través de su diseño, ingeniería y manejo se articula a la infraestructura verde (sistema de espacios y vías verdes y azules), la cual se adhiere a la fase edificada o gris de la ciudad, es decir al modelo de ciudad dura e inerte. Este mismo autor establece las escalas del paisaje y las unidades verdes territoriales como modelos que permiten entender la función y planeamiento de esa infraestructura verde urbana. De modo que múltiples autores planteen categorías de la infraestructura verde acorde a los diferentes tipos de ciudades y sus realidades alrededor del mundo, elementos que entre tanto tienden a ser muy similares, dadas las estructuras vegetales impuestas en una ciudad u otra. Dichos elementos se organizan en el espacio acorde a la escala urbana (microescala, mesoescala y macroescala) y en función de las unidades territoriales que lo estructuran (Ver Tabla 1.2 y 1.3).

Vecindarios	Ciudad	Matrices Urbanas
	Parques de ciudad	Parques regionales
Arbolado viario	Canales urbanos y cursos de agua	Ríos y zonas de inundación
Jardines particulares	Redes verdes	Frente marítimo y puertos
Tejados verdes	Rutas multiusos	Recorridos estratégicos y de grandes distancias
Parques Pequeños	Zonas urbanas comunes	Bosques grandes (> 100 ha)
Plazas Urbanas	Parques forestales	Comunidades forestales
Village Gardens	Parques estatales	Sitios de acceso abierto
Cementerios y Jardines	Frentes de agua continuos	Marcas y vistas
Espacios Abiertos institucionales	Plazas municipales	Reservorios
Estanques y pequeños bosques	Lagos	Iniciativas de gestión medioambiental
Áreas de juegos	Espacios de recreo de gran tamaño	Corredores estratégicos
Reservas naturales locales	Cementerios	Reservas de la biosfera
	Parques periurbanos	

Tabla 1.2: Elementos de la IV según (Calaza Martínez, 2017)

Escala Regional			Escala de Ciudad		
Matriz	Mancha	Corredor	Conector	Cuadrícula o Tejido	Espacio Abierto
Sistemas productivos extensivos e intensivos, rural y periurbano	Áreas azules, lagos, lagunas, espejos	Ríos, arroyos, riberas, costas	Sendas verdes, Parques lineales	Accesos y distribuidores, calles, bulevares, avenidas	Parque urbano, áreas azules, campos deportivos
Misceláneas urbano-industrial	Aparque regional silvicultural	Vías de ferrocarril y autopistas	Vías verdes, Autopistas interurbanas	Ramblas arboladas y ajardinadas	Plaza, plazoleta, Jardín publico
Representación fitogeográfica parques nacionales	Reservas naturales, Parques naturales	Laderas continuas	Arroyos urbanos, espejos, costas	Veredas Arboladas y ajardinadas	Espacios verdes sobre losas

Tabla 1.3: Elementos de la IV según (Benassi, 2015)

Unidades Verdes Territoriales

Las unidades verdes territoriales corresponden a la clasificación del sistema de infraestructura verde cuando se analizan los niveles jerárquicos que las funciones ecológicas aportan al sostenimiento de la calidad ambiental urbana. Calidad que depende de la capacidad de articulación de todas esas zonas verdes proveedoras de funciones y servicios socioecosistémicos (más allá de las funciones recreativas y paisajísticas) que permiten garantizar hábitats para muchas especies de flora y fauna, además de que enriquecen el paisaje y mejoran la calidad de vida de los habitantes.

Dichas unidades han sido suficientemente estudiadas por (Forman, 1995) y aplicadas al entorno urbano por (Cook, 2002). Estructuras que acorde a su función ecológica y anatomía en el entorno se distinguen en: matriz, vista como el elemento espacial dominante y englobante en el que se insertan el resto de los elementos paisajísticos, manchas, que son elementos no lineales insertos en la matriz con características propias y bien diferenciadas de la misma y los corredores que son elementos lineales que pueden aparecer de forma aislada o conectada a otros elementos del paisaje (San Vicente & Lozano Valencia, 2008), (Monsalve Cuartas, 2009).

Ahora bien, la red ecológica urbana de la ciudad de Medellín y su área metropolitana asume dichos principios de la ecología urbana con el fin de caracterizar el territorio según su forma en la que se distribuyen las especies, la energía y los materiales, componiendo así un mosaico de ecosistemas constituido por nodos, fragmentos, enlaces y matriz. Los primeros equivalen a fragmentos de mayor tamaño y mejor composición vegetal que se encuentran entre los enlaces. Los fragmentos son de superficie no lineal y tamaño variable. Los enlaces por su parte son corredores que unen a los nodos, dirigiendo el flujo y movimiento entre ellos. Y la matriz es una masa homogénea, de gran extensión pues encierra y conecta los demás elementos: nodos, fragmentos y enlaces (Alcaldía de Medellín, 2015).

A partir de ello, se han jerarquizado los componentes de la infraestructura verde, en sub-sistemas que dada su escala de análisis e importancia urbana y regional, contiene una serie de componentes naturales que representan un beneficio ecológico. La categorización dentro del municipio se define en estructura ecológica principal y complementaria en referencia a la macroescala; a escala intermedia lo representa la red de conectividad ecológica y a microescala las áreas verdes diseñadas a pequeña escala, tales como techos verdes, jardines o pérgolas.



Figura 1.2: Jerarquía de la infraestructura verde en Medellín. Tomado de (Alcaldía de Medellín, 2015)

1.3 ESCALAS DE ANÁLISIS DEL PAISAJE

En cuanto a las escalas de análisis del paisaje se puede decir que es una forma de análisis espacial que interpreta ese paisaje desde distintos alcances o perspectivas, que determinan la relación jerárquica de niveles sobreordinados y subordinados, que se conocen como Macroescala, Mesoescala y Microescala Urbana (Benassi, 2015), (Calaza Martínez, 2017).

Estas escalas permiten organizar los elementos del territorio y sus ecosistemas, a fin de lograr su análisis y posterior interpretación acorde a los fenómenos urbanos. En términos de la estructura ecológica principal, el actual POT (2014) la clasifica en relación a su función ecosistémica (ver tabla 1.4), es decir, la clasifica en Estructura Ecológica Principal (EEP), y en Estructura Ecológica Complementaria (EEC).

La EEP, hace referencia al primer nivel de prioridad urbana, con cobertura de tipo nacional, regional y metropolitano, a parte de las áreas de interés estratégico como el sistema hidrográfico, orográfico y nodos y enlaces estructurantes de la red de conectividad ecológica. Esta estructura vela por el mantenimiento y recuperación de las funciones ecológicas esenciales en la prestación de los servicios ecosistémicos.

A escala intermedia, el POT plantea la EEC que equivale al segundo nivel de prioridad abarcando áreas prioritarias para la prevención de movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, la captura y almacenamiento de carbono en biomasa aérea, la recarga

de acuíferos, el aprovisionamiento de productos forestales, de alimentos y de prestación de servicios culturales.

Esta estructura asegura las funciones complementarias y conectoras de la EEP, donde cada estructura ecológica posee criterios de manejo establecidos desde la norma, a partir de los cuales se puede catalogar o no dentro de la estructura ecológica de Medellín y su Área Metropolitana.

Esta estructura del actual POT define las categorías de macro y mesoescala con una gran variedad de componentes al interior de ellas; complementario a esto, el Manual de Silvicultura Urbana de Medellín (2015), como ya se ha dicho, plantea una estructura del componente vegetal en la ciudad, tomando como base fundamental los principios de la norma urbana y de la infraestructura verde como estructura fundamental y multiescalar.

El Manual de Silvicultura, mantiene la definición de EEP y EEC, pero agrupándolas como estructuras que justifican la macroescala, ampliando la definición de Red de conectividad Ecológica, como aquella estructura de la escala intermedia o urbana que se asocia principalmente a los subsistemas de espacio público y encuentro, subsistema de movilidad y subsistema de procesos urbanísticos y predios privados.

1.4 ESCALAS CLIMÁTICAS

El creciente interés de la investigación en el confort térmico y la salud ha aumentado la necesidad de descubrir cómo responde el cuerpo humano, tanto psicológica como fisiológicamente, a diferentes microclimas, con el fin de lograr la sostenibilidad de las áreas urbanas (Liu, Lian, & Brown, 2019) . Dado que es a esa escala micro donde el efecto de la densidad, las características de la superficie y la forma construida afecta directamente sobre aspectos como la ventilación urbana y el confort térmico exterior (Ignatius, Hien Wong, & Kardinal Jusuf, 2015). Además de que los efectos de la escala atmosférica más grande, es decir, la escala local, son el resultado de la combinación de características de menor escala, es decir, de efectos microclimáticos.

En ese sentido, la existencia de las diferentes escalas climáticas no se debe pasar por alto dada la importancia que se le atribuye en temas como el diseño bioclimático, dada la incidencia que tiene sobre el confort térmico de la población. (Kurbán, 2017) afirma que la planificación urbana bioclimática hace uso de las ventajas de intercambio energético que ocurren entre el sistema urbano y el clima, por lo tanto existe una relación que hace que se deban reconocer las

Categoría	Sub categoría	Componentes	Elementos	
ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL (EEP)	Áreas protegidas	Áreas protegidas de carácter Nacional	RF Nare	
		Áreas protegidas de carácter Regional	DMI DVARC	
		Áreas protegidas de carácter Metropolitano	PNRM Volador, AR Nutibara, AR Asomadera	
		Reserva Natural de la Sociedad Civil	RNSC Montevivo	
	Áreas de interés estratégico	Sistema hidrográfico	Humedales con sus retiros	Ojos de sal
			Ríos y quebradas con sus retiros	Cuencas y microcuencas abastecedoras
			Cuencas de orden cero	Cerros tutelares
			Cadenas montañosas estructurantes	Red de conectividad
		Nodos y enlaces estructurantes (actuales y futuros) de la red de conectividad ecológica		
		ESTRUCTURA ECOLÓGICA COMPLEMENTARIA (EEC)	Áreas complementarias y conectoras de la EEP	Áreas para la prevención de inundaciones y avenidas torrenciales
Áreas con potencial para captura y almacenamiento de carbono en biomasa aérea	Áreas estratégicas para la recarga de acuíferos			
Áreas para aprovisionamiento de productos forestales	Áreas para aprovisionamiento de alimentos			
Áreas para la prestación de servicios culturales	Nodos y enlaces complementarios de la red de conectividad ecológica			

Tabla 1.4: Clasificación de la EEP y EEC según el POT de 2014. Tomado de (Municipio de Medellín & Secretaria de Servicios Administrativos, 2014)

interacciones que ocurren entre las principales variables y comportamientos del clima urbano.

El macroclima se refiere a la escala más amplia que abarca las condiciones generales y complejas de extensos territorios generados por la circulación de grandes masas de aire entre las superficies oceánicas y continentales. Para este nivel de escala, se habla de climas tropicales, polares o incluso del clima de un país o región.

El mesoclima corresponde a las condiciones locales y depende de la topografía, altitud y vegetación. En este caso, se habla de un clima de valle, de ciudad o de bosque. Mientras que el microclima abarca ámbitos reducidos y definidos que generalmente está cerca del suelo (Heuvelink, Pardo Tasies, Quiros, & Espinoza, 1986). Dentro de este último nivel de escala climática y urbana surge el concepto de isla de calor, el cual se refiere al incremento de la temperatura de la ciudad respecto al entorno rural, y dentro de un rango de altura aproximado de 1 a 2 m sobre la superficie del suelo, debido a la influencia directa que ejercen las formas edificadas, las coberturas del suelo, los materiales de construcción, la vegetación, entre otros.

Dicho fenómeno de isla de calor es propio de los centros urbanos del planeta, sin embargo, sus efectos difieren de una ciudad con clima relativamente frío con temporada fría frente a una ciudad cálida, debido a que la isla de calor urbana para el primer caso, puede significar beneficios que van desde menos uso de la calefacción, mejorando la sensación de confort en el exterior. Mientras que en zonas cálidas y tropicales este mismo fenómeno puede significar el incremento de disconfort e incluso el riesgo potencial de muerte por estrés térmico y mayores consumos de energía por el uso de aires acondicionados en las viviendas (Stewart & Oke, 2012). Además el clima urbano de las grandes ciudades no se comporta de forma homogénea pues estas son cuerpos vivos que se constituyen de formas y funciones distintas a temperaturas más frías o más cálidas, con superficies más o menos impermeables o altas (Pacifi, Rama, & de Castro Marins, 2018).

En ese orden la modificación del clima es más evidente día tras día a escala global, sin embargo es en los centros urbanos donde sus efectos son más perceptibles, lo cual incrementa la necesidad de estudiar sus comportamientos y transformaciones. Asimakopoulos et al. establece que el principal problema de dichos cambios son las relaciones e interacciones entre los componentes físicos de este sistema. Razón por la cual el conocimiento sobre esa mayoría de relaciones puede acercar a la comprensión de la modificación climática.

1.5 PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

Los parámetros meteorológicos son los datos que se obtienen a través de las mediciones meteorológicas realizadas con el fin de ejercer un pronóstico del tiempo y la climatología de un lugar específico, las cuales se miden regularmente en actividades que se relacionan no solo con el estado del tiempo sino con el transporte y las comunicaciones, entre otras como la contaminación del aire, la advertencia de avalanchas, las simulaciones solares, la industria de las energías renovables, la agricultura, la silvicultura, el suministro y distribución de agua y la planificación urbana y regional (Kipp & Zonen, n.d.).

Tal como lo plantea (Brunetti & Prodi, 2015) existe el problema sobre cual o cuales son los parámetros meteorológicos que se deberían elegir para describir el clima. La temperatura del aire cerca de la superficie de la tierra es el parámetro más factible que representa el clima, entre otros incluso con mayor valor científico, sin embargo, la ausencia de ellos en la mayoría de las mediciones determinan a la temperatura superficial como el parámetro más viable y común de obtener. El comportamiento de este parámetro se ve modificado dadas unas fluctuaciones internas que se presentan dentro del sistema climático, las cuales dependen en gran medida de las distancias que la región tiene del sol y de la orientación del eje solar frente a esa región analizada. Además dicho fenómeno se dificulta tras la consideración de la atmósfera como una capa de gases que envuelve la tierra y que afecta la radiación solar entrante y la infrarroja saliente (Brunetti & Prodi, 2015).

Muchos investigadores han desarrollado varios índices y modelos para evaluar el impacto del estrés térmico como resultado de los efectos combinados de varios parámetros meteorológicos en el cuerpo humano. De modo que la influencia del clima en el cuerpo humano, se determina analizando los efectos no solo de un parámetro sino de todos los componentes térmicos, lo cual conduce a la modelización del equilibrio térmico humano (Sahabi Abed, 2017).

En ese sentido los índices térmicos se basan en parámetros meteorológicos y termofisiológicos, según la prioridad que se le de a la fisiología humana, la actividad, la ropa, entre otros datos que determinan los intercambios de energía que ocurren entre una persona y el medio que la rodea (Kurbán, 2017). Índices expresados a partir de la ecuación 1.1 de balance de energía calórica del cuerpo humano dada por (Torneró, Perez Cueva, & Gómez Lopera, 2006):

$$M + W + Q^* + Q_H + Q_L + Q_{SW} + Q_{RE} = S \quad (1.1)$$

En donde M es la proporción metabólica (por ejemplo la producción de energía interna por la

oxidación de la comida), W el trabajo físico exterior, Q^* el saldo de radiación neta del cuerpo, Q_H el flujo de calor convectivo (sensible), Q_L el flujo de calor latente por la difusión del vapor de agua, Q_{SW} el flujo de calor latente debido a la evaporación del sudor, Q_{RE} el flujo de calor por la respiración (suma del flujo de calor para calentar y humedecer el aire inspirado) y S es el almacenamiento del flujo de calor para calentar (valor positivo) o enfriar el cuerpo (valor negativo).

En Medellín los parámetros meteorológicos se miden a través de una serie de sensores y radares que registran datos en tiempo real de la red de monitoreo hidrometeorológico instalada en el Valle de Aburrá, ubicados generalmente a nivel de la superficie con alcance de hasta 10 km por encima de ella. El sistema de alertas tempranas (SIATA), ofrece en ese sentido datos de humedad, precipitación, presión temperatura, viento y radiación, de las estaciones instauradas de las cuales solo 10 se ubican dentro del área urbana del municipio. El instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), igualmente controla los parámetros atmosféricos pero a mayor escala, a fin de ofrecer monitoreos de talla no solo local sino nacional.

1.5.1 VIENTO URBANO

El viento es uno de los elementos más importantes que definen el clima a escala de ciudad, pues la dispersión del aire contaminado y el confort humano dependen enormemente de su manejo adecuado (García Chávez & Fuentes Freixanet, 1985). La complejidad morfológica de las ciudades hace que la descripción analítica del flujo del viento en la ciudad sea bastante difícil, pues factores como la geometría heterogénea, el impacto del flujo, la separación, la recirculación y los efectos térmicos locales influyen y modifican sus comportamientos, haciendo que nunca se alcance una condición de flujo homogéneo (Ricci et al., 2017).

La topografía es el primer factor que incide en el comportamiento del viento, por ejemplo las montañas representan el máximo grado de rugosidad superficial, por lo que generan considerables modificaciones en la dirección y velocidad de los vientos, ya que estas corrientes son canalizadas por la topografía a través de las depresiones principales. En ese orden, los obstáculos topográficos naturales o edificados modifican el régimen laminar del viento, sobre todo en las zonas más bajas, pues cuando la corriente choca con un obstáculo se desvía tanto vertical como horizontalmente. Además cuando ese viento laminar se concentra en mayor medida, aumenta su velocidad en la parte superior, disminuyendo en la inferior (Bustamante, Jans, & Higuera, 2014).

En el caso específico de los vientos de valle se identifican 3 tipos de corrientes, aquellos que

circulan a lo largo del eje del valle, los vientos de pendiente y los de fondo. Donde los que circulan a lo largo del eje del valle, son aquellos que cambian de dirección en el transcurso del día, pues posterior a la puesta del sol estos circulan valle abajo en función de los gradientes de presión superficial. Presión que poco a poco se invierte ante la presencia de barreras urbanas que atrapan el calor condensando ese flujo de energía aguas arriba. Por su parte los vientos de pendiente se dan hacia las laderas, cuando se presentan variaciones verticales de presión, pues los que se dan pendiente arriba, ocurren después de la salida del sol cuando la atmósfera del valle está más caliente e inestable, mientras que los pendiente abajo ocurren tras la puesta del sol, cuando la atmósfera está estable (Zardi & Whiteman, 2012). Mientras que los vientos de fondo son aquellos influenciados por la escala sinóptica en donde los vientos por encima de las laderas se pueden encausar en el valle e ir en dirección contraria o a favor de los vientos a lo largo del eje (Zardi & Whiteman, 2012), (Martínez Osorio, 2018).

1.5.2 TEMPERATURA URBANA

La temperatura indica el estado energético del aire que rodea al cuerpo humano, pues es determinante en el intercambio de calor con el ambiente a través de convección, conducción y respiración (Cordero Ordoñez, 2014). La temperatura del aire es más alta en las zonas urbanas que en sus alrededores (Stewart & Oke, 2012), fenómeno conocido como isla de calor urbano, el cual depende de factores como la infraestructura, el diseño y la densidad de edificios, entre muchas otras.

Para el caso específico de Medellín se registran evidentes incrementos en la temperatura urbana que años atrás nunca se pensaron en alcanzar; por ejemplo el análisis realizado por (Restrepo Betancur, Peña Serna, & Martínez Gonzalez, 2019) sobre las variables de temperatura media, máxima, mínima y humedad relativa entre 1960 y 2010 permite afirmar como la temperatura incrementó a lo largo del tiempo en esta ciudad. Con incrementos de hasta 1,3 °C para el caso de la temperatura media. Un evidente cambio climático que (Restrepo Betancur et al., 2019) asocia a actividades como el incremento vehicular, incremento de la población, la expansión territorial y la industrialización.

(Soto Estrada, 2019) por su parte plantea estimaciones de temperatura superficial con valores entre los 19,12 y 30,19 °C , esto para el periodo entre 1986 y 2016. Estimaciones que según el autor fluctúan dadas las condiciones climatológicas variadas durante la adquisición de las imágenes satelitales analizadas en su estudio. Además establece que en Medellín la intensidad de la isla de calor urbana promedio (IIC) se estima entre los 3,41 y 6,23 °C, con un promedio general de 4,81 °C.

1.5.3 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que posee el aire, la cual puede afectar la evaporación de nuestra piel (sudor), si la humedad en el aire está saturada (Roset & Navés, 2013). Estudiar la humedad es de gran importancia por el hecho de que actúa como agente regulador térmico, logrando absorber tanto la radiación solar como la terrestre, además de que indica la potencialidad en la atmósfera para producir lluvia inmediatamente sobre la superficie. Igualmente ayuda a enfrentar el problema de la contaminación atmosférica, retirando contaminantes del aire a través de procesos físicos conocidos como remoción por la vía húmeda. Así como condiciona la vitalidad de la vegetación, los periodos de floración, el predominio de diversas especies y la remoción de contaminantes del aire (Dorighello Tomás, 2002).

De acuerdo con (Dirección General de Medio Ambiente, 2014) las zonas urbanas tienen generalmente un nivel de humedad más bajo que la zona rural circundante, dada la ausencia de vegetación y mayor absorción de energía del sol por las superficies oscuras de asfalto y cemento. Lo cual se puede contrarrestar empleando estrategias de vegetación natural, que conllevan a mejorar la humedad, la temperatura y el confort urbano.

En la ciudad de Medellín de acuerdo al estudio realizado por (Restrepo Betancur et al., 2019) se puede verificar que la humedad relativa en el transcurso de 1960 a 2010 no presentó diferencia estadística entre las décadas del 60, 70 y 80, sin embargo a partir de la década del 90 se presentó un cambio en el comportamiento con una disminución considerable en relación a los 30 años anteriores (1960-1990), aumentando nuevamente para la primera década del 2000. Para el año 2010 el IDEAM reporta que la humedad relativa del aire fluctuó durante el año entre 63 y 73%, siendo mayor en la época lluviosa del segundo semestre (Soto Estrada, 2019).

1.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN URBANA

Múltiples estudios revelan que el efecto de isla de calor se relaciona principalmente con la alta densidad de edificios y estructuras que absorben la radiación solar, el uso de materiales altamente absorbentes, la falta de espacios verdes, las características de los cañones urbanos y la producción de calor antropogénico (T. R. Oke, Johnson, Steyn, & Watson, 1991), (Perico Agudelo, 2009), (Pacifi et al., 2018), (Conrado Castro, Figueroa Fernández, & Álvarez López, 2015). En ese sentido una isla de calor puede presentarse en múltiples escalas,

es decir puede manifestarse alrededor de un edificio, alrededor del dosel pequeño de un árbol o simplemente alrededor de un área urbana (Guo-yu et al., 2013).

Cuando la evapotranspiración disminuye genera la reducción en el consumo de calor latente (es el calor que genera un cambio de estado, por ejemplo cuando se pasa de líquido a gaseoso), por lo tanto, hay más energía disponible como calor sensible (es el calor que genera cambios de temperatura pero no cambios de estado), lo que provoca temperaturas más altas en la superficie terrestre que pueden contribuir sustancialmente al efecto de isla de calor urbano (Schmidt, 2010). En ese sentido es la vegetación influye en el enfriamiento de la ciudad, ya que tiene el potencial de moderar la temperatura del aire no solo a través del sombreado y la reducción de las temperaturas en la superficie, sino a través de los efectos de enfriamiento por evaporación (Shashua-Bar, Pearlmutter, & Erell, 2009).

Adicionalmente, en (Guo-yu et al., 2013) se plantea que en la ciudad existen tres tipos de plantas que influyen en la modificación térmica urbana, donde los árboles tienden a ser más efectivos en el mejoramiento de los ambientes microclimáticos que los mismos pastos y arbustos. Donde las zonas verdes superiores a las 14 [ha], pueden provocar un efecto notable de enfriamiento en una isla de calor.

De ese modo, el mejoramiento que la evapotranspiración genera en las modificaciones térmicas se da a través de múltiples procesos como: la protección que el componente vegetal genera reduciendo las ganancias de calor solar en ventanas, paredes y techos; reducción del intercambio radiante de onda larga entre los edificios y el cielo, esto a medida que las temperaturas de las superficies edificadas se reducen por acción del sombreado; reducción en las ganancias del calor conductivo y convectivo al disminuir la temperatura a través de la evapotranspiración; además de aumentar el enfriamiento por evaporación al agregar humedad al aire a través de la evapotranspiración (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003).

Los cuerpos hídricos también tienen influencia en el efecto de isla de calor urbano, tanto por sus propiedades inherentes como por sus interacciones con las condiciones climáticas circundantes. La mayoría de los estudios publicados se centran en el enfriamiento por evaporación, donde la energía térmica absorbida (energía en forma de calor) transforma el calentamiento sensible en latente con la producción de vapor de agua. Sin embargo las propiedades térmicas de la alta capacidad calorífica específica (cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa para elevar su temperatura) y la entalpía de vaporización le dan al agua una alta inercia térmica (cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con la que cede o absorbe) , con un papel importante en la moderación de las temperaturas, permitiéndole actuar como amortiguador térmico (T. Oke, 1987). De modo que la efectividad de enfriamiento sensible de un espacio azul o cuerpo hídrico depende del efecto neto del balance de radiación,

las variables climáticas que fomentan la conversión de calor sensible a latente (evaporativo) y su advención atmosférica (transferencia de una propiedad de la atmósfera, como calor, frío o humedad, por el movimiento horizontal de una masa de aire). Además del tamaño y la extensión de dichos espacios y la distancia que existe desde ellos (Gunawardena, Wells, & Kershaw, 2017).

Los cuerpos hídricos entonces han sido empleados por arquitectos y planificadores urbanos como herramienta de diseño (Coutts, Beringer, Tapper, & Loughnan, 2012), considerando en algunos casos la intención de que la evaporación enriquecida de los cuerpos de agua genere beneficios a nivel térmico urbano. Los cuerpos hídricos requieren hasta 3 veces más calor que el que necesita la superficie del suelo para calentarse, además su temperatura durante el día es más baja que incluso en la zona rural. Sin embargo son capaces de mantener la temperatura del agua durante la noche, dada esa inercia térmica y capacidad calorífica.

(Cai, Han, & Chen, 2018) establecen que el impacto de enfriamiento de un cuerpo hídrico se va debilitando hasta desvanecerse alrededor de las 4 am y luego se detiene para tener nuevamente su efecto de enfriamiento, ya que en ese momento es cuando la temperatura del aire es más baja que la del agua. A partir de ahí el cuerpo de agua comienza a calentar el entorno con su más alta intensidad, esto alrededor de la 6 am (Theeuwes, Solcerová, & Steeneveld, 2013). Igualmente si un cuerpo de agua tiene temperatura alrededor de 20° C, tiene un efecto de calentamiento mucho más poderoso durante la noche que el mismo enfriamiento que genera durante el día. Fenómeno que depende además de la densidad de los edificios y los ríos y del ancho de la calle, del tamaño del cuerpo hídrico y su geometría natural o intervenida. Ranhao and Chen plantea como la forma natural de los cuerpos hídricos conlleva a efectos de mayor beneficio en relación al enfriamiento, así mismo como lo hace el efecto de sombreado brindado por los árboles, o por determinadas condiciones de velocidad y turbulencia del viento.

1.7 CONFORT

El confort es un conjunto de condiciones óptimas que deben coincidir simultáneamente en un espacio público para lograr su máximo aprovechamiento o disfrute durante una actividad o momento concreto (Guzmán Ochoa & Ochoa De la Torre, 2014). Que a su vez engloba numerosos aspectos: ambientales, formales, sensoriales, físicos, e incluso subjetivos que hace difícil su medición y definición a través de un único parámetro o indicador.

Por ejemplo, (Perico Agudelo, 2009) y (Pacifci et al., 2018), plantean como el confort es

determinado por factores como la naturaleza de los materiales de construcción, las condiciones climáticas (meteorológicas), la función (uso) del espacio, la vegetación existente, la morfología urbana circundante, los diferentes intercambios térmicos entre el cuerpo humano y el medio ambiente. Sin embargo, Perico Agudelo plantea como (Nikolopoulou & Steemers, 2003), introducen un último factor influenciador del confort: las sensaciones de la percepción humana, las cuales determinan la forma como el hombre se adapta física y fisiológicamente a las condiciones climáticas del espacio. Según la American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, más conocida como ASHRAE, el confort equivale a aquellas condiciones mentales que expresan satisfacción del ambiente térmico (Peña, Erazo, Garzón, & Salazar, 2014). Además dicho confort para las personas que se encuentran en espacios abiertos, es uno de los factores que influye en las actividades al aire libre en calles, plazas, parques infantiles, parques urbanos, etc (Guzmán Ochoa & Ochoa De la Torre, 2014).

Determinar las condiciones de comodidad de un espacio público no es una tarea fácil, dado que distintos factores se mezclan en diferentes intervalos de tiempo y escala, alimentados por las sensaciones percibidas por el ser humano (Perico Agudelo, 2009). Autor que además establece como la definición de confort debe asociar dos tipos de indicadores en su determinación: unos objetivos, correspondientes a medidas in situ y en tiempo real; y otros subjetivos, correspondientes a las percepciones humanas, lo cual permite entre tanto incluir al individuo como ser perceptor de estímulos en la ciudad.

Olgay, uno de los autores de mayor influencia en la investigación relacionada con el efecto del clima en el diseño urbano, plantea una teoría de diseño bioclimático urbano que reconoce la influencia de los efectos del medio ambiente sobre la energía y la salud del hombre. En ese orden es como el hombre reacciona ya sea de forma positiva o negativa a los diversos factores lumínicos, acústicos, climáticos, espaciales, animados y térmicos del espacio (Olgay, 2008). Además plantea como los elementos que principalmente afectan el confort humano son: temperatura del aire, radiación solar, movimiento del aire, y la humedad.

La experiencia de múltiples investigadores como (Liu et al., 2019), (García Tavares, 2015) y (Derkzen, Van Teeffelen, & Verburg, 2016) en el análisis del confort resalta la forma como el confort térmico es un indicador importante pero insuficiente del buen diseño del microclima, ya que los valores sociales y culturales son influencias importantes en la experiencia y la adaptación climáticas. Por ello se necesita investigación interpretativa para comprender completamente el confort urbano y proporcionar soluciones de diseño de microclima urbano para mejorar el uso de espacios públicos abiertos en ciudades en proceso de cambio.

Dicho lo anterior, se propone determinar el confort urbano del área urbana del municipio de Medellín, en términos de la adaptabilidad térmica que los habitantes tienen al espacio,

dada la disponibilidad de la información existente y las investigaciones previas que permiten considerar el clima como una variable que determina el confort y que para este proyecto se asume como punto de partida principal.

Dada las múltiples escalas e importancia que el sistema climático representa en las condiciones de vida urbana, es que se considera el clima como un aspecto que influye en el estado térmico de los diferentes sectores de la ciudad, asociado a una serie de factores de balance energético, calor antropogénico (calor generado por las actividades humanas), materiales de acabado, vegetación urbana, cañón urbano, geometría de los cañones urbanos, rugosidad urbana, contaminación ambiental y orientación de las estructuras entre otros (Cabras, 2014), (Asimakopoulos et al., 2001).

Por otra parte, Kurbán reconoce la existencia de índices empíricos que ignoran la fisiología humana, la actividad, la ropa y otros datos tales como altura, peso, edad o incluso sexo, en el cálculo del confort urbano. A parte de los índices racionales que han sido desarrollados por técnicas informáticas que dependen más del equilibrio de energía humano. Para el primer grupo el autor identifica el Effective Temperature Comfort Index (ET), el Wind Chill (Sensación Térmica), el Thermohygroscopic Index (THI), el Thermohygroscopic Global Index o Environmental Quality Index (TGI o EQI) y el Actual Sensation Vote (ASV). Mientras que para los racionales plantea, el Predicted Main Vote (PMV) y Predicted Percentage Dissatisfied (PPD), el Physiological Equivalent Temperature (PET), el Out Standard Effective Temperature (OUT-SET), el Comfort Formula (COMFA), el Universal Thermal Climatic Index (UTCI), el Temperature Humidity Sun Wind (THSW), el Índice de Confort Térmico para Ciudades de Zonas Áridas (IZA).

Dentro de los métodos más usados en el cálculo del índice de confort térmico urbano se destaca entonces, UTCI, TGI o EQI y el IZA, usados por Kurbán para el Área Metropolitana de San Juan en Argentina, debido a que representan los factores propios de los espacios abiertos, además permiten comparar los resultados a nivel internacional, por otro lado sus valores son numéricos, incorporan evaluaciones fisiológicas del cuerpo humano, y resultan del cálculo de valores que se toman con sensores in situ.

Para el caso específico colombiano, la investigación científica asociada a temas de confort térmico es bastante escasa, un ejemplo de ello es que en 2018 en la base de datos Scopus, solo registraban 3 publicaciones relacionadas con el confort térmico al interior de estructuras; mientras que solo 1 publicación para exteriores. (Velasco Gómez, Chaparro Ayala, Botero López, & Rueda Plata, 2018) confirman como el aumento del uso de los sistemas HVAC (Heating, Ventilation and Air Condition) se le atribuye en parte al inadecuado uso de estándares para el cálculo del confort térmico como el ASHRAE Standard 55, la norma ISO 7730 o la norma

CSN en 15251, que entre tanto son diseñados para su utilización en países como Estados Unidos y Europa.

(Velasco Gómez et al., 2018) confirman además como muchos países implementan estos estándares sin considerar las condiciones geográficas, económicas o políticas propias de cada región, incluso omitiendo prácticas y tradiciones culturales en cuanto a adaptación climática. En Colombia se implementa la Norma Técnica Colombiana NTC 5316: Condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas, la cual ha sido traducida de forma exacta al español de la norma norteamericana ASHRAE Standard 55. Estudios implementados en otros países demuestran que estos estándares no son los más apropiados para los climas tropicales como el del caso Colombiano (Velasco Gómez et al., 2018).

Capítulo 2

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. CASO DE MEDELLÍN

La ciudad de Medellín se encuentra ubicada en la cordillera central del departamento de Antioquia, unida a otros nueve municipios que integran lo que se denomina Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Este valle alcanza unos 1.152 Km² que hacen parte de la cuenca del río Aburrá, que lo recorre de sur a norte a donde gran cantidad de afluentes hídricos vierten sus aguas a lo largo de los 60 km de todo este recorrido (Restrepo Mesa, 2006).

Presenta aspectos geomorfológicos contrastantes, por ejemplo el valle se divide en cuatro unidades geomorfológicas principales: La planicie aluvial, referente a las zonas que se ubican alrededor de un cauce que puede ser inundado por una eventual creciente de las aguas, las vertientes suaves, correspondientes a las superficies inclinadas entre las zonas altas (ladera y altiplanos) y zonas bajas (planicie aluvial). Así mismo está la ladera, equivalente a una formación geológica de pendientes pronunciadas mayores al 20% y el altiplano que finalmente es la meseta elevada que se encuentra entre dos cadenas montañosas cuya elevación ocurrió en momentos diferentes (Urban, Universidad Eafit, & Leibniz Universität Hannover, 2013).

Las cordilleras que encierran este valle aportan en la formación de diversos microclimas, fuentes hídricas, bosques y sitios de gran valor paisajístico y ecológico urbano, donde posee elementos que sobresalen de su topografía tales como el Cerro Nutibara, Cerro El Volador y

El Picacho.

Las características geográficas y topográficas de este valle se asocian a condiciones hidrometeorológicas particulares. Por una parte, la zona de convergencia intertropical definida por la convergencia de los vientos alisios, oscila alrededor del ecuador geográfico según la temporada. Sobre Colombia, durante los meses de octubre- noviembre se traslada hacia el sur, para luego hacia el mes de enero (verano del hemisferio sur) lograr su posición extrema meridional. Durante abril y mayo (verano en el hemisferio norte) se ubica en los 10°N, lo cual evidencia su gran oscilación anual, dados los vientos alisios provenientes del noreste y del sureste (Correa, Zuluaga, Palacio, Pérez, & Jiménez, 2009).

En cuanto a la precipitación media de la región, se puede decir que es de 1.500 mm, con máximos de 3.500 mm en las épocas de abril a junio y de septiembre a noviembre, siendo mayor en las vertientes y disminuyendo hacia el centro del valle. La temperatura ambiente es mayor en el fondo del valle, en donde predominan rangos entre los 18°C y 22°C (Restrepo Mesa, 2006).

2.1 ESTUDIOS LOCALES

A escala metropolitana se reconocen esfuerzos desde la academia y los entes gubernamentales por analizar los comportamientos urbanos a fin de plantear estrategias que contrarresten los problemas ambientales, sociales e incluso económicos que atraviesa la ciudad.

En estos esfuerzos se evidencia por una parte, el Plan Especial de Espacio Público (PEEP), desarrollado por la Alcaldía de Medellín, en apoyo de la Empresa de Desarrollo Urbano (EDU) y la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), en el año 2006, que como ya se mencionó en el apartado de morfologías urbanas clasifica la ciudad de acuerdo a las formas del trazado que se han impuesto sobre la superficie terrestre que conforma lo que se denomina AMVA. En esta clasificación, siguiendo modelos de tipologías morfológicas urbanas se llega a determinar que Medellín y sus municipios aledaños se componen de unidades morfológicas de trazado barrial, proyectos de ensanche, urbanización de gestores privados, urbanización marginal, polígonos especializados, invasión, polígonos residenciales y otras formas. Estudio que paraleliza el desarrollo urbano de Medellín con un momento histórico que determinó e influyó las formas impuestas en cada uno de los polígonos de cobertura de su momento.

Hacia el año 2007, el AMVA, con el apoyo de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB),

avanzó en la clasificación de las formas urbanas de Medellín, con miras a agrupar toda la cartografía oficial existente, generando una base cartográfica georreferenciada que fuese base para futuros estudios de análisis urbano. En este estudio, llamado *Estudio de la forma y el crecimiento urbano de la región metropolitana* además, se clasificó la estructura viaria con relación a la condición estructurante y a la relación con el medio de transporte.

Otro estudio es el realizado por (Martínez Osorio, 2018), quien en su interés por encontrar lugares del Área Urbana del Valle de Aburrá con anomalías de temperatura de superficie a causa de los efectos urbanísticos generados, detecta zonas de temperaturas más frías y más cálidas, que el denomina a estas segundas como islas de calor urbanas. En este proceso Martínez Osorio, caracteriza la ciudad en función de sus construcciones y morfometría urbana, para confrontarlo así frente a la topografía que permite justificar el porque de un lugar más caliente o frío que otro.

Dicha caracterización de construcciones y morfometría urbana, recibe el nombre de Zonas Climáticas Locales, dada la estructura (altura, espaciamiento entre edificios y árboles) y cobertura (vegetal, construida, pavimentada, natural, suelo desnudo o cuerpo de agua) de su entorno, las cuales impactan diferenciadamente el clima urbano dada la interacción de variables presentes en cada área definida. De ahí que puedan soportar parte de los comportamientos térmicos experimentados en una ciudad. Por otra parte, los climatopos es un concepto que este autor introduce a la escala de Medellín, para relacionar del uso del suelo, la topografía y el clima urbano. Sin embargo dada la escasa información que se asocia a esta estructura en el AUVA, se calcula haciendo uso principal de las condiciones topográficas que en Medellín se ajustan dentro de las subcuencas que convergen con el río principal. Dada esa condición de acoplamiento de características topográficas que cada subcuenca aporta al área urbana que abarca, es que el autor decide asumir a cada una de ellas como un propio climatopo urbano. para a partir de esto poder calcular la isla de calor urbano, empleando imágenes satelitales y sensores de monitoreo In Situ, que permiten entre tanto confirmar los datos de temperatura superficial cerca a la ZCL mas extensa a escala urbana. Con esto Martínez Osorio finalmente logra definir las zonas de Medellín de mayores picos térmicos, en relación a su composición topográfica y físico-espacial.

Anterior a (Martínez Osorio, 2018), (Jiménez Mejía, 2016) considero el concepto de ZCL y climatopo urbano en su afán por analizar y modelar la altura de capa de mezcla del limite urbano de Medellín, sin embargo, dado que las ZCL se aplican generalmente para ciudades planas cuya geografía permite identificar zonas homogéneas por lo menos desde su estructura y cobertura. Donde cada ZCL tiende a regímenes de temperaturas característicos. Sin embargo este otro autor, decide avanzar en el modelado de la capa de mezcla urbana, a partir de una clasificación para ciudades de terrenos complejos, la cual se centra mas en la condición

orográfica de la ciudad.

Por su parte (Herrera Hurtado, 2019), alinea su interés en relacionar la morfología urbana y el clima local de Medellín, a partir del estudio de 3 casos de específicos en la ciudad, correspondientes al barrio Fátima, y a la unidad residencial siempre verde, ubicados ambos en la comuna Belén; además de el barrio Santa Inés, localizado en comuna de Manrique. Estos casos específicos son elegidos por la autora dada la interacción de zonas climáticas locales, morfología urbana, localización en la ciudad, pendiente del área de estudio, orientación de las vías respecto al sol y las tipologías de infraestructura verde. En este ejercicio, se toma como punto de partida las morfologías urbanas planteadas por Schnitter et al. y anteriormente mencionadas. Además de la clasificación de infraestructura verde, establecida en el plan maestro de espacios públicos verdes urbanos de la región metropolitana del Valle de Aburrá. La cual se asocia principalmente a elementos naturales con función ecológica y paisajística y elementos naturales asociados a componentes artificiales o construidos. Las ZCL de base en esta investigación, son las establecidas por (Martínez Osorio, 2018), quien clasifica la ciudad en 13 zonas que como ya se dijo anteriormente, tiende cada una a tener condiciones climáticas características. De ahí la importancia de su determinación y consideración a escala urbana.

En este estudio (Herrera Hurtado, 2019), modela el microclima de los casos analizados a través del software Envimet, comparando los escenarios actuales, impermeables y potenciales que finalmente permiten verificar si la presencia especialmente del componente vegetal, contribuye en la modificación del fenómeno de microclima urbano.

Hasta aquí se enlistan los estudios que a escala de Medellín, se han avanzado en temas que se alinean a los propósitos de la presente investigación. Los cuales son base conceptual fundamental para el análisis aquí planteado.

2.2 OTROS CASOS

2.2.1 LOCAL CLIMATES ZONES FOR URBAN TEMPERATURES STUDIES

Este estudio realizado por (Stewart & Oke, 2012) es la base teórica fundamental del análisis térmico a escala urbana, en el cual los autores definen las *Local Climate Zones*, como un sistema de clasificación urbano que permite estandarizar las observaciones de temperatura urbana para los estudios de isla de calor urbano alrededor del mundo.

Para ello se basaron en esfuerzos de investigadores anteriores como (Chandler, 1965), quien para entonces venía clasificando la ciudad de Londres, con fin de analizar su clima urbano. En su momento Chandler determinó 4 regiones locales basadas en el clima, fisiografía y formas edificadas. Posteriormente, Auer reconoce 12 zonas de gran significancia meteorológica, en la ciudad de St Louis, Missouri, basadas principalmente en las características de la vegetación y las edificaciones instauradas. Ya para 1991, Ellefsen, hablaba de 17 zonas de terreno urbano (UTZs), en las cuales parámetros mayor detalle urbano como la geometría, la configuración de las calles y los materiales empezaron a definir dicha caracterización urbana. Que es hacia 2004, cuando Stewart and Oke, diseña el sistema de clasificación urbano conocido como Zonas Climáticas Locales, las cuales contemplan zonas desde semi-rurales hasta totalmente acaparadas por el desarrollo urbano. En estas zonas Stewart and Oke, se contempla la estructura urbana (edificaciones y dimensiones de vías), cobertura del suelo (permeabilidad), materiales de fabricación o cobertura urbana, la actividad desarrollada. De ahí que los modeladores o investigadores relacionados con los fenómenos atmosféricos urbanos puedan diferenciar áreas urbanas según la radiación entrante, lo cual además influye en aspectos térmicos urbanos que modifican incluso la habitabilidad de los espacios de la ciudad.

La tabla 2.1, representa las 10 ZCL asociadas a la cobertura edificada urbana y otras zonas que se asocian a coberturas del suelo de tipo natural (ver tabla 2.2). Que al ser implementadas en cualquier ciudad permiten llegar a una clasificación como la planteada por (Calaza Martínez, 2017) para el caso de Medellín, (Ren, Cai, Wang, & Xu, 2016) para Wuhan y Hangzhou en China, (Kotharkar & Bagade, 2017) para Nagpur en India. Entre muchos otros casos que incluso hoy se vienen adelantando dadas las graves condiciones térmicas y atmosféricas del planeta en general.

Tipo de construcción	Definición	Tipo de construcción	Definición
<p data-bbox="305 1436 493 1507">Compacto de gran altura:</p> 	<p data-bbox="597 1409 748 1549">Conjunto de edificios altos, con decenas de pisos.</p> <p data-bbox="597 1562 748 1619">Sin o con pocos árboles.</p> <p data-bbox="597 1631 748 1734">Suelo mayormente pavimentado.</p>	<p data-bbox="852 1436 1037 1507">Abierta de baja altura:</p> 	<p data-bbox="1136 1465 1365 1522">Construcciones separadas de altura (1-3 pisos). Abundante suelo permeable (plantas bajas, árboles dispersos).</p>

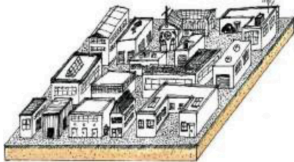
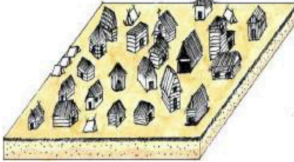
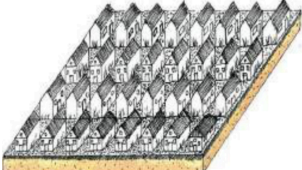
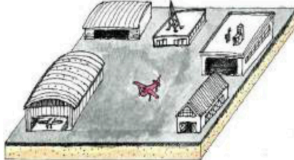


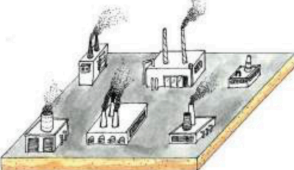
Tipo de construcción	Definición	Tipo de construcción	Definición
Compacto de mediana altura: 	<p>Conjunto de edificios de mediana altura (3-9 pisos). Sin o con pocos arboles. Suelo mayormente pavimentado.</p>	Liviana de baja altura: 	<p>Conjunto de construcciones livianas de un solo piso. Suelo compactado.</p>
Compacto de baja altura: 	<p>Construcción de baja altura (1-3 pisos). Sin o con pocos arboles. Suelo mayormente pavimentado.</p>	Grande de baja altura: 	<p>Construcciones separadas de baja altura (1-3 pisos). Sin o con pocos arboles. Suelo mayormente pavimentado.</p>
Abierto de gran altura: 	<p>Construcciones separadas de gran altura, con decenas de pisos. Abundante suelo permeable (plantas bajas, arboles dispersos).</p>	Construcción dispersa: 	<p>Edif dispersos de pequeña o med altura en medio de un paisaje natural. Abundante suelo permeable (plantas bajas, arboles dispersos)</p>
Abierta de mediana altura: 	<p>Construcciones separadas de mediana altura (3-9 pisos). Abundante suelo permeable (plantas bajas, arboles dispersos)</p>	Industrial pesada: 	<p>Estruc Indust de baja y med altura (torres, tanques, chimeneas). Sin o con pocos arboles. Suelo mayormente pavimentado compactado.</p>

Tabla 2.1: Zonas climáticas locales. Adaptada de (Stewart & Oke, 2012) y (Martínez Osorio, 2018) Ilustraciones de Martínez Osorio

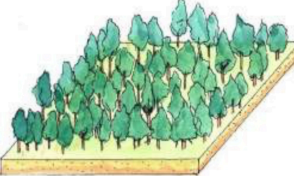
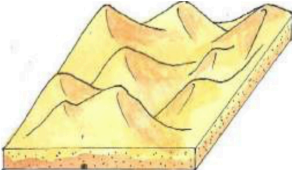
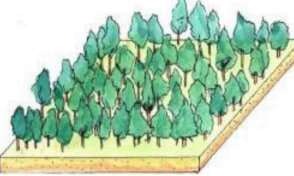
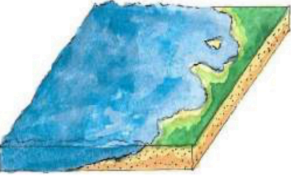
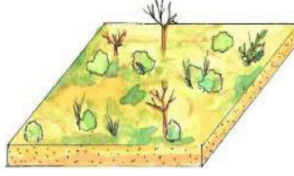
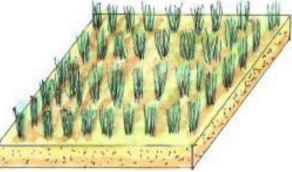
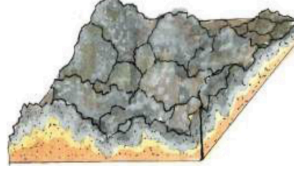
Tipo de cobertura	Definición	Tipo de cobertura	Definición
<p>Arboleda densa:</p> 	<p>Arboles siempre verdes o estacionales, muy juntos entre si. Suelo mayormente permeable (plantas bajas). Función de bosque natural, forestal o parque urbano.</p>	<p>Suelo desnudo o arena:</p> 	<p>Paisaje homogéneo de suelo desnudo o arena. Sin o con escasos arboles o plantas. Función agrícola o desierto natural.</p>
<p>Arboles dispersos:</p> 	<p>Arboles dispersos siempre verdes o estacionales. Suelo mayormente permeable (plantas bajas). Función de bosque natural, cultivo forestal o parque urbano.</p>	<p>Agua:</p> 	<p>Grandes cuerpos de agua como mares, lagos; o pequeños cuerpos de agua como ríos, embalses y lagunas.</p>
<p>Arbustos matorrales:</p> 	<p>Arboles bajos maderables, arbustos, matorrales. Suelo mayormente permeable (suelo desnudo o arena). Función de matorrales naturales o plantación agrícola.</p>	<p>Plantas bajas:</p> 	<p>Paisaje homogéneo de prado, herbáceas o plantas de cultivo. Sin o con pocos arboles. Función de pradera natural, plantación agrícola o parque urbano.</p>
<p>Roca desnuda:</p> 	<p>Paisaje homogéneo de roca o suelo pavimentado. Sin o con escasos arboles o plantas. Función desierto natural o gran zona de parqueo.</p>		

Tabla 2.2: Propiedades variables de cobertura de suelo. Adaptada de (Stewart & Oke, 2012) y (Martínez Osorio, 2018) Ilustraciones de Martínez Osorio

2.2.2 IDENTIFYING BUILT ENVIRONMENTAL PATTERNS USING CLUSTER ANALYSIS AND GIS: RELATIONSHIPS WITH WALKINGS, CYCLINGS AND BODY MASS INDEX IN FRENCH ADULTS

Esta investigación desarrollada por (Charreire et al., 2012) identifica patrones ambientales construidos en un contexto urbano europeo. Para abordar la complejidad de las formas urbanas utilizaron una metodología que analiza la concurrencia de varias características importantes del entorno construido, utilizando conjuntos de datos SIG de características urbanas y una combinación de análisis de múltiples variables y de conglomerados, identificando patrones ambientales construidos en la región alrededor de París.

Identificando siete conglomerados en vecindarios distintos en relación a tres variables ambientales (áreas verdes, ciclovías y la proximidad de esas instalaciones) que permitieron demostrar que los sujetos que viven en vecindarios caracterizados por la alta accesibilidad a espacios verdes e instalaciones de proximidad y la alta disponibilidad de ciclovías hicieron significativamente más caminatas y ciclismo que aquellos que viven en vecindarios con poca accesibilidad y disponibilidad.

Una investigación que reconoce que los análisis de detección de patrones ambientales son útiles en la influencia que ejerce en las políticas urbanas y de salud pública ya que tiene en cuenta las especificidades del entorno físico en contextos urbanos. Además de que la distribución espacial de los siete patrones y los análisis de la relación entre estos patrones y los comportamientos de caminar y andar en bicicleta develan la complejidad del entorno urbano construido en esta región estudiada. Por otra parte las dimensiones factoriales más significativas obtenidas por el análisis multivariable se incluyeron en el análisis de conglomerados para generar grupos de vecindarios con características ambientales construidas similares.

2.2.3 DETECTING AND EVALUATING URBAN CLUSTERS WITH SPATIOTEMPORAL BIG DATA.

Es un estudio en el cual (Tang et al., 2019), emplean el análisis de clústeres o conglomerados dada la importancia que representa en el planeamiento urbano. Para ello, estos autores emplean un método para evaluar y detectar grupos urbanos haciendo uso de la plataforma Spatiotemporal Big Data, la cual contiene la información de las actividades diarias de los residentes y su interacción con otros residentes de la ciudad Wuhan en China.

Los métodos tradicionales para detectar grupos urbanos son inexactos ya que los datos sin

procesar generalmente se recopilan a través de cuestionarios de muestra de pequeños viajes de residentes en lugar de estudios a gran escala. Big Data proporciona una mirada para comprender los clústeres urbanos de forma natural y detallada, de modo que en esta investigación se emplea detectando los grupos urbanos a través de las trayectorias de taxi y datos de registro en un sitio web chino de redes sociales conocido como Sina Weibo.

Con esta información de Spatiotemporal Big Data, se detectaron 13 agrupaciones urbanas que finalmente en contraste con los grupos definidos en la planificación de la ciudad, solo 2 coincidían. Los restantes por su parte eran más pequeños o más grandes o se desviaban de los grupos planificados. Además se evidencia un aumento en el número de clústeres entre el periodo de 2009 y 2015, lo cual se relaciona con el progreso de la construcción del clúster urbano. De modo que los grandes datos espacio temporales, se pueden ver como una nueva mirada para comprender los clústeres urbanos, lo cual puede proporcionar evidencia científica para la toma de decisiones en el desarrollo urbano.

Capítulo 3

DISEÑO METODOLÓGICO

El presente proyecto toma como referencia estudios como los de (Taleghani, Kleerekoper, Laura, Tenpierik, & Van den Dobbelsteen, 2015) y (Amirtham, Horrison, & Rajkumar, 2015), quienes definen como determinados tipos de formas urbanas influyen en la variación del microclima en la ciudad lo cual termina impactando la sensación de confort térmico de sus habitantes. En ese sentido se plantea analizar si las formas definidas en el área urbana del municipio de Medellín, a partir de la presencia y asociación del componente vegetal y gris influyen en la sensación de confort térmico de las personas que allí habitan.

Para eso se considera la ciudad como el resultado de una serie de procesos históricos que suceden a nivel urbano, los cuales van dejando marcas en su estructura físico-espacial; Razón que lleva a la realización de una recapitulación histórica que permite entender los motivos por los cuales cada barrio o lugar tiene una razón de ser. Identificándose 6 periodos de grandes transformaciones en Medellín (ver anexo A) que van desde el momento en que se plantea la propuesta de la realización del plano de ensanchamiento futuro entre 1791 y 1900 llegando incluso a las transformaciones urbanas del momento actual.

Por otro lado, se recopiló la información referente a los edificios construidos al interior del área de estudio, para los cuales se extrae la información correspondiente al área de cobertura y número de pisos, al igual que la cartografía relacionada con las unidades morfológicas, las zonas verdes, los cuerpos hídricos, el componente arbóreo urbano, las zonas de vías y el espacio público. Información revisada con detenimiento para de esa forma reclasificar o mantener las categorías determinadas por los entes creadores de la cartografía inicial.

La cartografía de árboles urbanos se obtuvo a partir del reporte que el Sistema SAU (Sistema

de Árbol Urbano) registraba hasta junio de 2019. Posteriormente, y teniendo la cartografía recopilada, se procedió a calcular el indicador de densidad arbórea, el cual relaciona el número de individuos existentes por unidad de superficie, que en este caso es la extensión de superficie que tiene cada barrio de la ciudad. En el caso de las zonas verdes, se obtuvo la información cartográfica en base a los registros cargados por los entes municipales al portal virtual de open data, con lo cual se calculó el área de zonas verdes el interior de cada barrio de la zona de estudio. Similar ocurrió con los cuerpos hídricos, para los cuales se obtuvieron los datos a partir de open data, y así se procedió al cálculo de la densidad hídrica de cada barrio. Dicha densidad se calculó considerando la extensión de cada red hídrica y la extensión total de cada barrio analizado. Cada uno de los indicadores calculados fue representado por una fórmula matemática que ha sido planteada por teóricos como (Agencia d'Ecología Urbana de Barcelona, 2010), (Mega & Pedersen, 1998), (Kurbán & Cúnsulo, 2017), (Cordero Ordoñez, 2014) quienes analizan a detalle las formas urbanas y su funcionamiento en los espacios de la ciudad, de ahí su credibilidad y función.

Para el caso de la compacidad relativa y absoluta, se calculó en base a la información y estudios existentes como los que se han desarrollado en Europa y otros países, donde existe toda una escala de valores que explica el grado de equilibrio entre la compresión y la descompresión urbana. En ese sentido la compacidad es un indicador que aborda la realidad física del territorio, permitiendo dar soluciones en base a la densidad edificada, distribución de usos espaciales y el porcentaje de espacio verde o de viario. Para el área de ocupación, área de construcción y volumen construido se determinó desde los aportes y sugerencias realizadas por los arquitectos e ingenieros asesores de este proyecto, para ello, se lo cual se tomó como base la cartografía de las edificaciones construidas y las dimensiones de cada una de ellas.

La compacidad relaciona el volumen edificado frente a una extensión de superficie, sin embargo la irregularidad del trazado urbano y el tamaño de cada barrio de la ciudad, así como la necesidad de estandarizar los resultados, llevó a la decisión de realizar su cálculo a través de una malla de 200 m x 200 m, en la que cada celda representa el resultado para esa porción de territorio de la ciudad.

Para el área de espacio público y área de las vías se obtuvieron por su parte a partir de la información cartográfica que reposa en la página de Open Data de la Alcaldía de Medellín, dado que es información actualizada y oficial que permite dar credibilidad a los datos que se usan para los posteriores análisis investigativos. Para el caso del espacio público se obtuvo el mapa con los polígonos de espacio público de la ciudad, el cual se intersecó con el mapa de los polígonos de cada barrio, para obtener así el área de espacio público al interior de cada barrio del área de estudio. Por su parte para el área de vías fue necesario partir del mapa que representa el polígono del margen del área urbana del municipio de Medellín y el mapa

de manzanas urbanas, para a través de la opción de borrado eliminar las manzanas dejando como resultado los polígonos que se forman entre ellas, mejor conocidos como vías urbanas. Para así proceder a interceptar con los barrios y determinar un área de vías aproximado.

El confort térmico del área urbana del municipio de Medellín se calculó a través del índice de confort térmico, el cual es hallado para cada uno de los barrios de la zona de estudio, a fin de conocer que tan confortable puede llegar a ser el espacio exterior en términos de la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento. Esto siguiendo un estudio realizado por el IDEAM en 1998 en donde se desarrolló una metodología específica para el cálculo del índice de sensación térmica en las ciudades colombianas, con base a los esfuerzos realizados principalmente por Víctor Olgyay, la sociedad americana de ingenieros de calefacción y ventilación y el servicio meteorológico nacional de Argentina (Gonzáles, 1998). Donde Víctor Olgyay analizó por años los parámetros metodológicos que permiten cuantificar el grado de confort climático o de sensación térmica de ciudades templadas, frías, cálidas- áridas y cálidas-húmedas como Minneápolis, Nueva York, Phoenix y Miami.

Para esto el IDEAM tuvo en cuenta una serie de ábacos y gráficas que se adaptaron a la realidad de las condiciones geográficas y meteorológicas nacionales, que resultaron en una metodología que lleva a una ecuación específica del índice de confort térmico a escala colombiana. En esta se consideraron las alturas sobre el nivel de mar de las ciudades, la velocidad de los vientos, la humedad relativa y la temperatura superficial. Para resultar así en la ecuación de índice de confort térmico que varía según el caso de altura sobre el nivel del mar de la ciudad o poblado al cual se le quiere analizar.

Para el cálculo de este índice de confort fue necesario recopilar la información de velocidad del viento y de humedad relativa asociada al área urbana del municipio de Medellín, la cual esta disponible dentro del aplicativo del *SIATA*. Sin embargo, dentro del municipio se tienen 17 estaciones meteorológicas, de las cuales únicamente 10 están asociadas a barrios del área urbana. De ahí la necesidad de recurrir a otras fuentes de información meteorológica, como es el software *Brazilian Developments on the Regional*

	Ecuación	Aplicabilidad
	$IC = (36.5 - t_s)(0.05 + 0.04\sqrt{V}) + \frac{h}{250}$	Elevaciones inferiores a 1000 metros
	$IC = (34.5 - t_s)(0.05 + 0.06\sqrt{V}) + \frac{h}{180}$	Elevaciones entre 1000 y 2000 metros
	$IC = (33.5 - t_s)(0.05 + 0.18\sqrt{V}) + \frac{h}{160}$	Elevaciones superiores a 2000 metros

Tabla 3.1: Tabla para el cálculo del índice de confort (IC). IC = Índice de confort, t_s = temperatura del aire, V = velocidad del viento, h = humedad relativa.

Atmospheric Modeling System (BRAMS), el cual permite obtener la información para simulaciones de circulaciones atmosféricas de escala hemisférica hasta grandes simulaciones de remolinos de la capa límite planetaria. Desarrollado en el Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos del Instituto de Investigaciones Espaciales de Brasil (CPTEC-INPE) y aplicado en mayor medida para simular fenómenos de meso y micro escala, como herramienta comunitaria para el análisis de la calidad del aire, que desde 2003 con una versión anterior (CCATT-BRAMS) se extiende a pronósticos en un dominio que abarca toda América del Sur con una resolución espacial de 25 km (Freitas et al., 2017).

Este software ofrece datos meteorológicos específicos y necesarios en esta investigación como son la velocidad del viento y la humedad relativa, para cada uno de los barrios del área estudiada y durante el periodo analizado, siendo información tomada directamente desde los sensores que diariamente actualizan la información en busca de cuantificar la habilidad del modelo en base a las variables cercanas a la superficie.

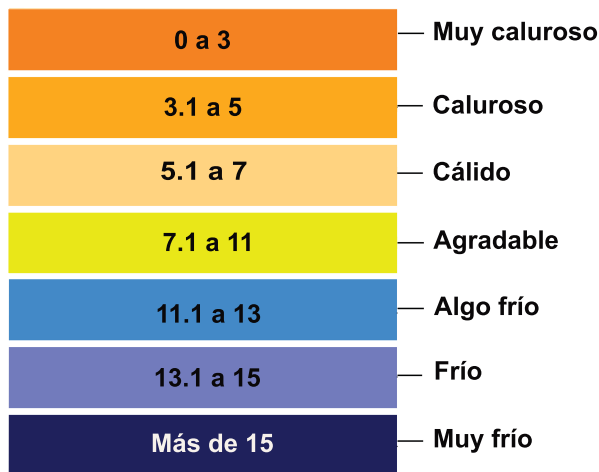


Figura 3.1: Escala de color, índice de confort del IDEAM. Adaptado de (González, 1998)

decidió trabajar con los datos meteorológicos obtenidos en los horarios de 2 am, 8 am, 12 m, 5 pm y 10 pm de cada día, datos que se promediaron con el fin de llegar a un valor mensual de humedad relativa, velocidad del viento y temperatura superficial. Finalmente se llegó a un solo promedio de humedad, velocidad del viento y temperatura superficial para cada barrio de la ciudad.

Es así como estos datos finalmente se emplearon en el cálculo del índice de confort planteado por el IDEAM, el cual clasifica los resultados en una escala de valores de sensación experi-

Debido al volumen de datos que BRAMS genera para un solo día, se decidió determinar los meses en los que las temperaturas urbanas son de mayor contraste en Medellín, para de esa forma extraer a través de este software la información requerida y proceder a su posterior análisis. Para ello, se solicitaron entonces los datos correspondientes a los meses de enero y mayo de 2019, debido a que enero representa en el promedio histórico uno de los meses de menos lluvias y mayo contrariamente es uno de los más lluviosos.

Teniendo claras estas fechas se de-

mentada que va de muy caluroso con un índice entre 0 y 3 a muy frío con un índice mayor a 15. Dicha escala tiene 7 categorías (ver figura 3.1) de sensación térmica que se representan en una escala de siete colores que finalmente permite mapear los índices térmicos del área de estudio. En base a esa clasificación del IDEAM, se sugirió una escala que permite igualmente mapear el índice de confort de la zona estudiada pero tratando de homogeneizar el tamaño de los rangos de valor que planteó originalmente el IDEAM en su estudio de cálculo de confort climático en Colombia, dado que el rango planteado originalmente para el índice agradable es muy extenso, lo cual dificulta la visualización de contrastes de temperatura en la ciudad. Esta nueva clasificación plantea 8 categorías que resaltan el índice de confort propio del área de estudio, en donde los rangos de índice de confort entre 0 y 7 se unificaron en uno solo, fragmentando el rango entre 7,1 y 11 en 4 categorías (ver figura 3.2).

En cuanto al manejo y generación de cartografía al interior del presente proyecto se realizó a través del software ARCGIS, el cual se define como un modelo informatizado de la realidad geográfica para satisfacer unas necesidades de información concretas, como crear, compartir y aplicar información útil basada en datos y en mapas (Pucha-Cofrep et al., 2017). De modo que ARCGIS, permitió el mapeo de los datos urbanos que conllevaron al cálculo de los indicadores de análisis, resultando en cartografía que puede ser empleada

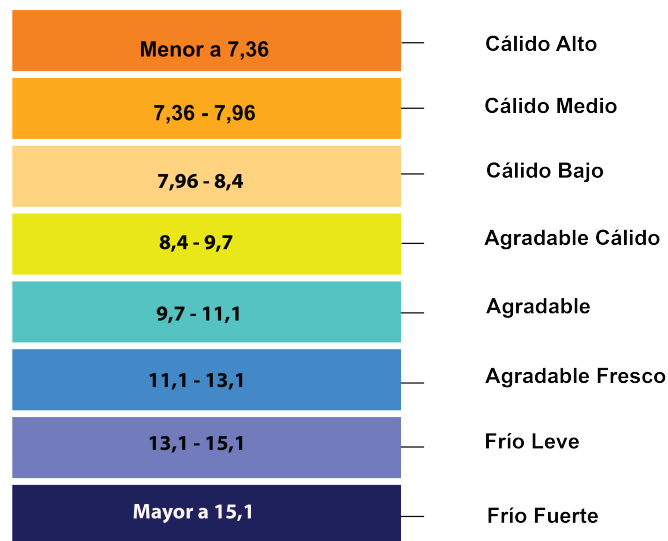


Figura 3.2: Escala de color, índice de confort sugerida.

Fuente: elaboración propia.

para futuros análisis térmicos, urbanísticos y ambientales de la ciudad. Además de que es la plataforma a través de la cual se ha venido generando toda la información georreferenciada que existe en relación al municipio de Medellín y que como ya se ha mencionado reposa en la base de datos open data. Para lograr la representación gráfica de los datos se eligió primero que todo clasificar la información de acuerdo a uno de los métodos estandarizados que tiene el software ARCGIS, el método conocido como *cortes naturales*, el cual genera agrupaciones naturales a partir de los valores según su propio comportamiento, identificando los cortes de clase que agrupan los valores parecidos, maximizando sus diferencias y dividiendo las clases donde el límite representa las diferencias más considerables. Con ese ejercicio de estadística espacial se plantean las categorías de rango de color presentes para cada uno de los mapas de

indicadores obtenidos para esta investigación. Logrando mapas con contrastes de color que señalan el comportamiento fuerte o ausente de cada indicador.

En ese orden se prosigue a cargar los valores de cada variable al software R, un programa estadístico aplicado en ciencias como la economía, la medicina, la ingeniería entre otros. Un software compatible con otros aplicativos como ARCGIS, el cual es de uso libre y cuenta con varios paquetes gráficos especializados que ofrece diferentes opciones gráficas estadísticas para la lectura e interpretación de los resultados. Permite igualmente aplicar cálculos a un conjunto de valores a la vez, además de que consume pocos recursos, es vectorial y esta disponible para todos los sistemas operativos (Crawley, 2013),(Lafaye de Micheaux, Drouilhet, & Liquet, 2014). Con este software se realizó el análisis de la información que consistió en el estudio de la relación de las múltiples variables, análisis conocido como correlación. El cual en su resultado muestra la fuerza o sentido de la relación.

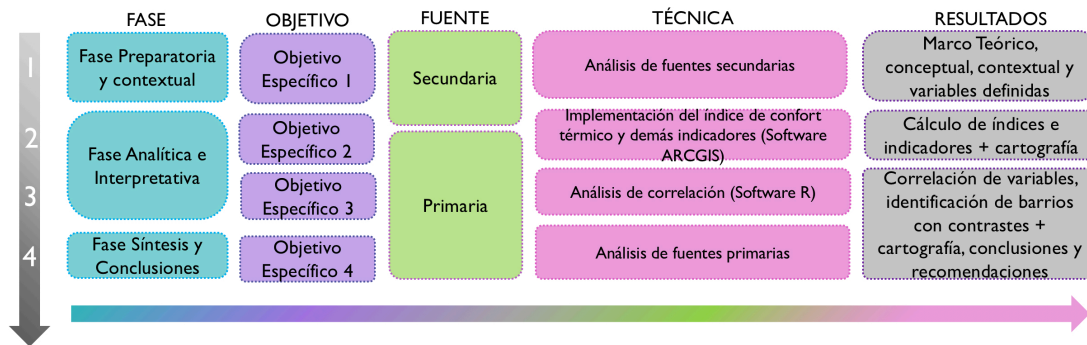


Figura 3.3: Modelo metodológico general.

Fuente: elaboración propia.

Así se procedió a correlacionar las variables de cada barrio que integra el área de estudio, generando un dendograma que organiza los datos en subcategorías que se van dividiendo en otras hasta llegar a un nivel de detalle que depende de la homogeneidad de la información que la compone. Donde la correlación se realiza de acuerdo a si la interrelación de sus variables es nula (no existe correlación), directa (si una variable aumenta, la otra variable con la que se relaciona también aumenta) o indirecta (cuando una variable aumenta la otra disminuye).

Con esos resultados se seleccionaron los barrios con correlaciones estadísticas particulares dentro del área urbana, de los cuales se eligieron 3 parejas de barrios que por sus características

y comportamiento del confort térmico merecen ser objeto de análisis a una escala de detalle superior. Detalle que comprendió realizar una comprensión histórica de cada pareja, así como un análisis morfológico relacionado principalmente con la altura de las edificaciones presentes, el área de ocupación edificada, el área de zonas verdes, el área de zonas de espacios públicos, área de los cuerpos hídricos, el área de las vías y la tipología de las mismas, la cantidad y tipo de árboles y zonas verdes presentes, así como la distribución y acercamiento de cada una de las características mencionadas hasta aquí. Para finalmente observar el confort térmico de esas parejas frente a la composición de cada barrio, relacionando el componente verde y gris a los resultados térmicos obtenidos.

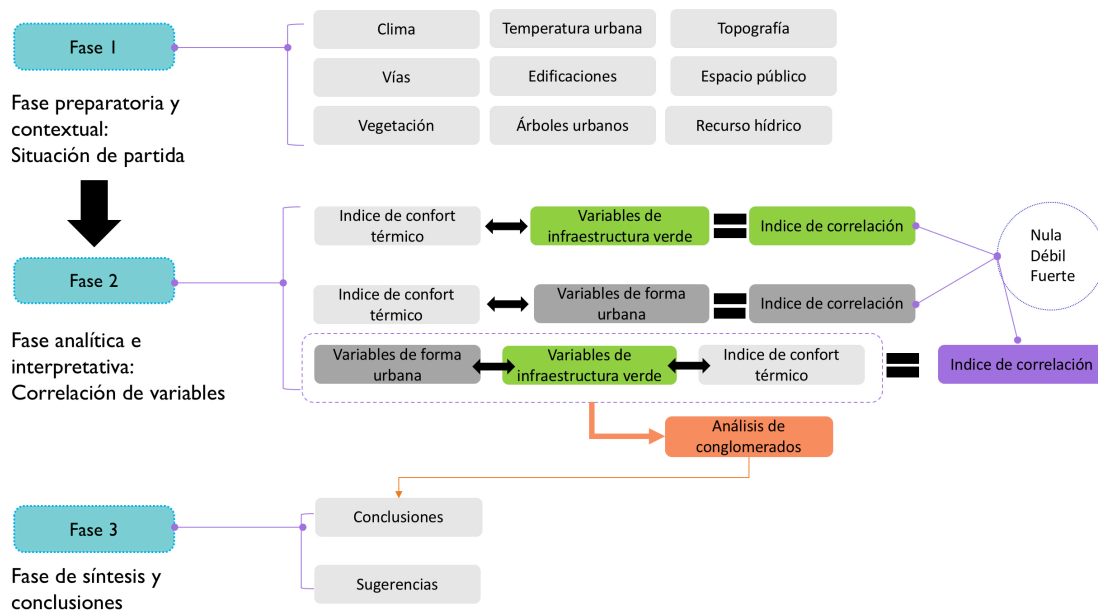


Figura 3.4: Fases del modelo metodológico general.

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 4

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 FASE 1: ESCALA URBANA

4.1.1 *CONTEXTO URBANO*

En esta fase se determinó el estado en el cual se encuentra el área urbana del municipio de Medellín, en relación a los factores que no solo determinan su composición físico-espacial sino su comportamiento térmico y climático. Dado que es a partir de la interpretación de dichos factores que más adelante se detectan patrones de relacionamiento de variables a través de un programa estadístico especializado, que finalmente justificará o no la hipótesis planteada.

Dichas variables de influencia térmica y climática son base en el desarrollo del presente proyecto, dado que cualquier transformación del componente físico natural o edificado de la ciudad resulta en modificaciones de ese clima que trasciende de escalas incluso regionales y departamentales.

En esa medida es como los procesos de antropización de las áreas urbanas, modifican las condiciones del soporte físico original del territorio, generando alteraciones al clima dados los volúmenes edilicios, las características de la infraestructura vial, la forestación urbana y el calor antropogénico (calor generado por el hombre a través de sus actividades desarrolladas) (Kurbán, 2017). Procesos que, en términos de confort, reflejan principalmente en la

temperatura y el grado con el cual las personas lo perciben.

4.1.1.1 *Clima general*

Obedece a la información correspondiente al comportamiento del clima a escala metropolitana y local. La cual se obtiene de reportes y análisis que la administración realiza, con el fin de tener conocimiento y control de los comportamientos meteorológicos de la ciudad, a fin de prevenir posibles emergencias de carácter ambiental.

Para entender el clima del AMVA e incluso de la región, es preciso definir que los principales factores geográficos determinantes son: la localización en la zona ecuatorial al noreste de Colombia, la presencia de los ramales occidental y central de la cordillera de los Andes y su cercanía a los océanos Atlántico y pacífico, además de su vegetación (Poveda, 2006).

Las zonas montañosas del departamento de Antioquia se extienden aproximadamente entre la latitud 5,4 N (kilómetros al norte del Parque Natural los Nevados) y la 8,7 N (donde desaparecen las últimas estibaciones de la cordillera central y occidental colombianas). Vecinas del océano Atlántico y Pacífico, lo que hace que el clima sea cálido y húmedo, con diversidad de ecosistemas y zonas de vida propias del trópico andino, que van desde el nivel del mar hasta los páramos a más de 3000 msnm, pero sin alcanzar la cota de los picos nevados (Jiménez Mejía, 2016).

”De modo que las cordilleras altas que rodean el valle sumado al régimen de vientos de baja velocidad que provienen del norte, permiten la generación de un microclima relativamente estable y agradable de temperaturas promedio alrededor de los 18-22 °C” (Daniels et al., 2007).

A escala general el clima se puede ver alterado dados los más de 3,5 millones de habitantes que se han asentado alrededor del estrecho valle del río Aburrá, generando problemas ambientales y usos del suelo que terminan amenazando la normalidad de los ciclos de lluvia, de temperatura y humedad, que se suma a complejas dinámicas demográficas, sociales, culturales e inmobiliarias (Jiménez Mejía, 2016).

Como ya se ha planteado las ZCL son una clasificación del componente físico espacial de la ciudad que dada la cobertura existente y las estructuras físicas, naturales y artificiales instauradas, conllevan a una serie de condiciones climáticas características. De ahí la definición de múltiples Zonas Climáticas Locales (ZCL) que aportan a la aproximación climática urbana.

En base a la figura 4.1 obtenida a partir de (Martínez Osorio, 2018) , se puede decir que

200 [ha] del área urbana corresponden a la ZCL de Árboles Abundantes (AA), 318 [ha] a la ZCL abierta de gran altura (AAA), 585 [ha] a la ZCL abierta de baja altura (ABA), 316 [ha] a la ZCL abierta de mediana altura (AMA), 220 [ha] a la ZCL baja de materiales ligeros (BC), 4 [ha] a la ZCL compacta de gran altura (CAA), 2911 [ha] a la ZCL compacta de baja altura (CBA) y 246 [ha] a la ZCL compacta de mediana altura (CMA), 64 [ha] corresponden a la ZCL de edificios dispersos (ED), 555 [ha] a la de construcciones grandes de baja altura (LBA), 60 [ha] a plantas bajas (PB) y 11 [ha] a superficies cubiertas por pavimento o arena (P). Además de las 488 [ha] que corresponden a árboles dispersos (AD).

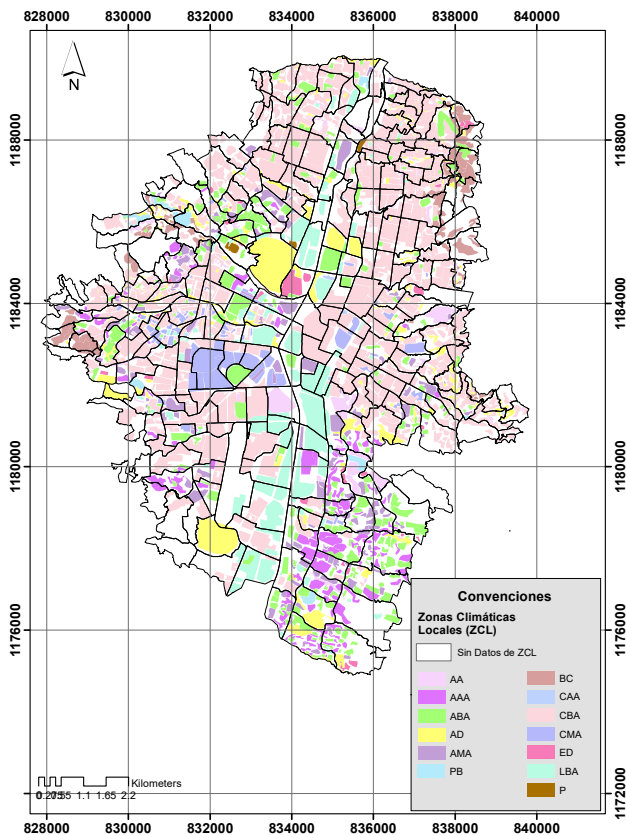


Figura 4.1: Zonas climáticas locales urbanas. Tomado de (Martínez Osorio, 2018)

ZCL como las de superficies cubiertas solamente por pavimento o arena (P) es típica de barrios del borde urbano de la ciudad como Carpinelo, El Salado, La Avanzada, La Cruz, Las Independencias, María Cano Carambolas entre otros, que se ubican generalmente hacia la zona norte oriental y centro occidental de la ciudad. La ZCL compacta de mediana altura (CMA), es típica de barrios como Laureles, San Joaquín, Villa Nueva, Bolivariana y Enciso, barrios ubicados en inmediaciones de la banda centro oriental y occidental de la ciudad.

Además se observa en la figura 4.1 que la distribución de la ZCL abierta de gran altura (AAA) se concentra en mayor medida hacia la zona sur oriental de la ciudad, en inmediaciones de la comuna 14 correspondiente a El Poblado. Además de pequeñas porciones en barrios como La Asomadera n.1, el barrio Loma de Los Bernal, Los Alpes y Las Playas, en la comuna de Belén, barrios como Calasanz parte alta, cuarta brigada, los colores, entre otros más al norte de Belén, sobre el costado occidental. La ZCL compacta de baja altura (CBA) abarca la mayoría del área urbana, desde el norte hasta el centro oriental y occidental de Medellín, y hacia el sur más hacia el costado occidental.

En cuanto a las ZCL de árboles tanto dispersos (AD) como abundantes (AA) son más escasas en la ciudad, sobretodo la de abundantes. Los árboles dispersos, se concentran principalmente en las zonas del Cerro El Volador, El Club El Rodeo, El Parque Norte, El Jardín Botánico, Área de Expansión El Noral, El Chagualo, entre otros.

4.1.1.2 Temperatura urbana

La temperatura es uno de los indicadores de mayor importancia a escala urbana, debido a que permite determinar las transformaciones térmicas del espacio, propias de las islas de calor que resultan de la edificación y erradicación vegetal descontrolada. Este parámetro en la ciudad de Medellín, ha estado vinculado a diferentes investigaciones y proyectos de escala urbana, en los cuales se evidencian modificaciones climáticas dadas no solo las condiciones geográficas del Valle de Aburrá sino la desaforada urbanización que se ha introducido en el área metropolitana.

(Soto Estrada, 2019), logra representar los barrios del área metropolitana que mayor y menor temperatura urbana presentan en base a la recolección de 15 imágenes satélites Landsat 5, 7 y 8, sensores TM (Thematic Mapper), ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) y OLI/TIRS (Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor), tomadas del periodo que va de 1986 a 2016. Los registros tomados por los satélites, corresponden respectivamente al promedio de temperatura captado sobre las 10 a.m. de cada uno de los días especificados en la tabla 4.1. Esto dado que sobre las 10 a.m., se pueden obtener imágenes con la máxima iluminación y el mínimo vapor de agua en la atmósfera. Considerando además que los satélites landsat tienden a pasar por un determinado lugar diariamente, debido a que se encuentran en órbitas heliocéntricas.

Fecha	Urbano		
	Min	Max	Promedio
08-09-1986	15.11	41.00	25.46
21-08-2000	1.30	39.00	19.17
18-04-2001	4.90	42.51	24.34
02-01-2003	9.26	43.04	26.97
16-06-2008	16.88	37.54	23.48
07-09-2012	17.71	52.80	30.19
08-07-2013	8.37	46.71	26.49
13-11-2013	2.58	36.52	19.12
24-05-2014	11.14	46.97	25.68
20-08-2014	9.09	40.55	26.91
11-01-2015	10.44	44.35	28.39
16-09-2015	14.64	50.29	29.68
29-12-2015	11.90	43.57	28.27
22-06-2016	7.43	43.20	25.90
21-11-2016	15.20	52.05	27.76
Promedio	9.06	44.01	25.85

Tabla 4.1: Tabla de temperaturas. Tomada de (Soto Estrada, 2019)

A partir de eso, el autor logra espacializar los resultados, obteniendo así el promedio de

temperatura superficial por barrio, el cual es representado en la figura 4.2. En esta se visualiza que los barrios que se posicionan sobre el ámbito río, principalmente en su costado oriental, tienden a tener las temperaturas más elevadas de toda el área urbana de Medellín, entre otras zonas como la norte occidental de la ciudad, específicamente en inmediaciones de la comuna 5 y 6.

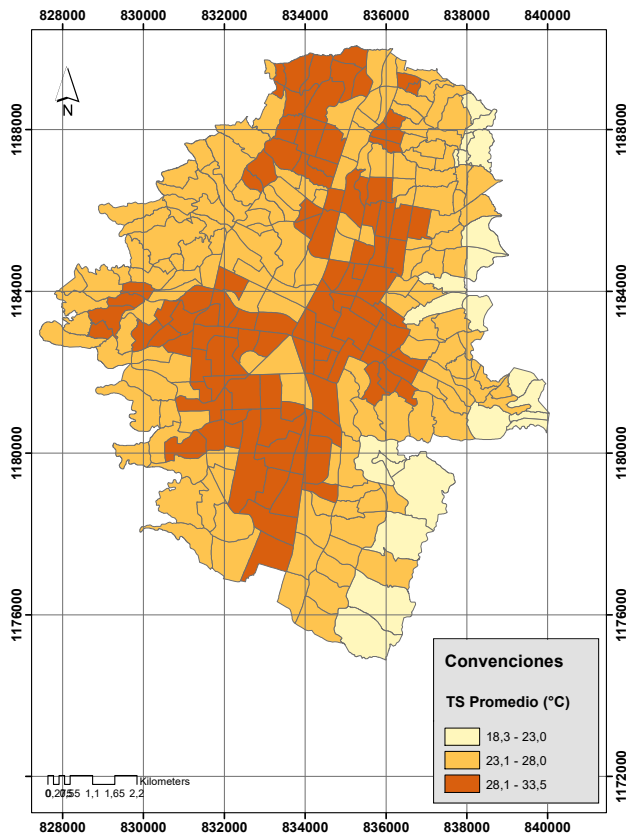


Figura 4.2: Temperatura promedio urbana.

Fuente: elaboración propia con datos de (Soto Estrada, 2019)

su lado opuesto, el costado occidental urbano.

Es a partir de esos datos de temperatura urbana obtenidos por (Soto,2019), que se analizó el comportamiento o variación de sus promedios anuales, los cuales se emplearon para la implementación de una regresión lineal que aproximó al valor de la temperatura superficial urbana para el año 2019, la cual más adelante se tuvo en cuenta en el cálculo del confort térmico urbano. Datos considerados a pesar de que los valores de temperatura obtenidos por (Soto,2019), no han sido validados previamente para el área analizada. Sin embargo

En relación al costado occidental de la ciudad, se reconoce que sobre las 10 a.m. (hora en la que los satélites captan los datos usados), ha recibido mayor exposición al sol que el costado oriental, lo cual se refleja incluso en la elevada temperatura de zonas como la comuna 11, 12, 15 y 16. Que reflejan incluso en la temperatura de cierta parte de la comuna 13 que comprende mayormente barrios del borde urbano.

Los barrios de menores temperaturas, se ubican en el costado oriental de la ciudad, justo en la zona de transición al área rural. Es entonces en esta zona de borde oriental, de pendientes superiores al 60%, donde los barrios cuyas temperaturas oscilan entre los 18,3 °C y 23 °C se ubican. Costado por el que, además, sale el sol reflejando como ya se mencionó desde las primeras horas de la mañana en

representan datos que ya han empezado a considerar las temperaturas de cada barrio de la ciudad, las cuales empiezan a ser objeto de estudio urbano, por lo cual se emplean como un recurso de gran valor investigativo.

El mapa de la figura 4.3 obtenido como una suposición de temperatura para el año 2019 en base a la regresión lineal realizada, refleja que los barrios con temperaturas superiores a los 28 °C se podrían ubicar en general en los alrededores del ámbito de río urbano, sobretodo en la zona centro y sur de la ciudad. Al norte, los barrios de mayores temperaturas se ubican en el costado occidental, justo en las comunas de Castilla, Doce de Octubre y Robledo, mientras que hacia el centro de la ciudad se ubican sobre el costado oriental de río Medellín, y hacia el sur corresponden a los barrios del costado occidental. En relación a las temperaturas que oscilan entre los 18,3 °C y los 23°C se puede confirmar que se ubican igualmente al costado oriental, siempre en la zona de borde. Mientras el resto de la ciudad tiende a mantener temperaturas entre los 23,1°C y los 28°C.

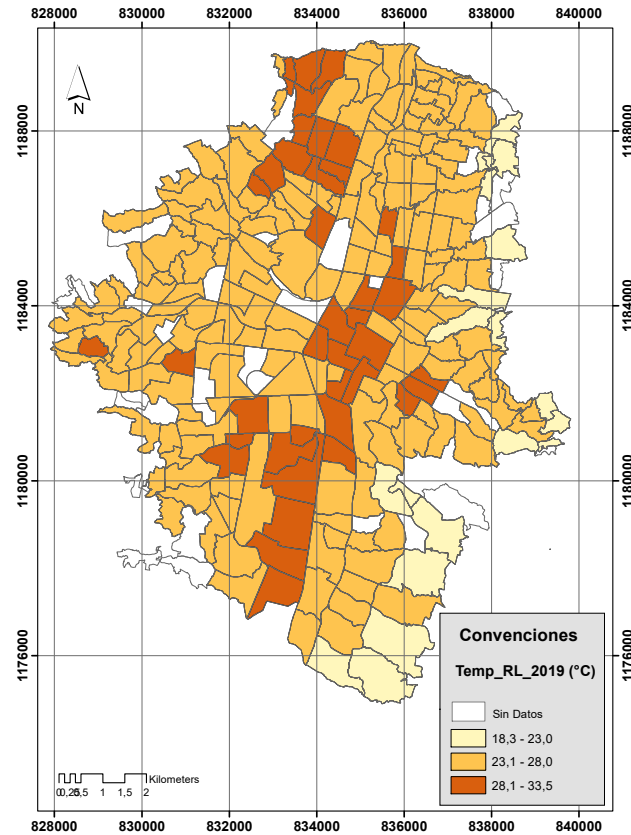


Figura 4.3: Temperatura urbana aproximada para el año 2019.

Fuente: elaboración propia.

Se identifican igualmente algunos barrios que aunque están rodeados de temperaturas intermedias (23,1°C y 28°C) poseen un índice térmico elevado (28,1 °C y 33,5 °C). Estos casos corresponden por ejemplo al barrio Pablo VI, el Estadio, la Gloria, la Frontera y Campo Valdés 2, entre otros.

4.1.1.3 Confort térmico

El confort térmico es una experiencia individual que puede ser controlada y manipulada a través de una serie de estrategias e intervenciones a escala de microclima urbano. Sin embargo, depende de la relación multi-escalar del clima de la ciudad, en la cual la diversidad de variables climáticas urbanas influencia el comportamiento térmico del espacio público. Autores como (Nikolopoulou & Steemers, 2003) definen como el estado fisiológico del ser humano responde a las inclemencias del medio ambiente, generando a su vez reacciones que definen la forma como los habitantes y transeúntes experimentan el nivel térmico del espacio. Es así como el confort urbano es un indicador que trasciende el confort térmico como tal, vinculando aspectos de la vida urbana y del significado de los lugares (Tavares & Swaffield, 2017).

Además depende de la tipología del espacio público en que las personas se encuentran, por ejemplo si es una calle, plaza o parque, influenciado a su vez por el uso que el ciudadano de a estos espacios. Pues cada ciudadano demanda unas condiciones de confort a la hora de satisfacer sus propias necesidades (Rein, 2013).

Desde la antigüedad se ha tratado de cuantificar dicho estado de bienestar, encontrando un índice que cuantifique la temperatura que efectivamente tiene el organismo. Sin embargo el confort no solo depende de la temperatura del entorno, sino de la biológica y de la que resulta de la intensidad de enfriamiento, pues es en esta última donde interviene el viento y la humedad, ya que al interactuar con el proceso de evapotranspiración modifica el estado térmico.

En 1923 Houghton y Yaglou elaboran una escala de temperatura efectiva según los valores de la temperatura, la humedad y el movimiento del aire. Donde posteriormente Missenard emplea la temperatura resultante, incluyendo la radiación. En 1976 Givoni, emplea la producción de sudor como parámetro que cuantifica el índice de tensión térmica. En ese orden existen múltiples esfuerzos por cuantificar dicho parámetro, entre ellos Víctor Olgyay, gran influenciador de la interacción entre la arquitectura y la energía (Kurbán, 2017). Siendo este último autor uno de los que el IDEAM tomó como referencia para el planteamiento de las fórmulas que permiten cuantificar el índice de confort térmico a escala Colombiana.

Como se mencionó anteriormente en Colombia el análisis del confort térmico es un campo que se está explorando, lo cual se evidencia en la cantidad de publicaciones investigativas realizadas en relación a este tema. Además, los esfuerzos globales por analizar el fenómeno térmico a escala urbana, se concentran principalmente en países cuyo clima varía según las estaciones del año, en los cuales se alcanzan climas extremos. De ahí la justificación por la cual se retoma el método desarrollado por el IDEAM en el año de 1998 para el caso específico colombiano.

Las ecuaciones obtenidas e implementadas por el IDEAM en el cálculo del índice de confort térmico, se diferencian entonces en función de si el poblado analizado se ubica por debajo de los 1000 m.s.n.m, entre los 1000 y 2000 m.s.n.m y superior a los 2000 m.s.n.m. esto debido a la diversidad de comportamientos que tiene la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa, incluso dentro de una misma ciudad. Tal como ocurre en el caso de Medellín.

En ese orden se mapean los resultados obtenidos al aplicar los planteamientos del IDEAM, realizados a partir de los datos de humedad relativa y velocidad del viento extraídos del software BRANDS y de la temperatura aproximada que se calculó para

2019, con el propósito de obtener el índice confort térmico. Un ejemplo de implementación de la ecuación de cálculo del índice de confort térmico es la que se observa a continuación, en la cual se halla el índice de confort para el barrio Tricentenario durante el mes de enero del 2019, en donde se obtiene un valor de $IC = 8.24$.

$$IC = (34.5 - 19.96) * (0.05 + 0.06\sqrt{6.02}) + \frac{66.57}{180}$$

Donde IC = Índice de confort, $t_s = 19.96$ (°C), $V = 6.02$ (m/s), $h = 66.57$ (%).

Con esos resultados se observa que tanto la zona del ámbito de río y ladera urbana presentan un índice de confort que oscila entre 7,1 y 11, es decir que son zonas con una sensación experimentada agradable. De modo que solo los barrios de la zona de borde urbano presentan sensaciones experimentadas algo frías y muy frías. En el gráfico 4.4, se evidencia además como ninguno de los barrios del área de análisis arroja sensaciones experimentadas asociadas al calor.

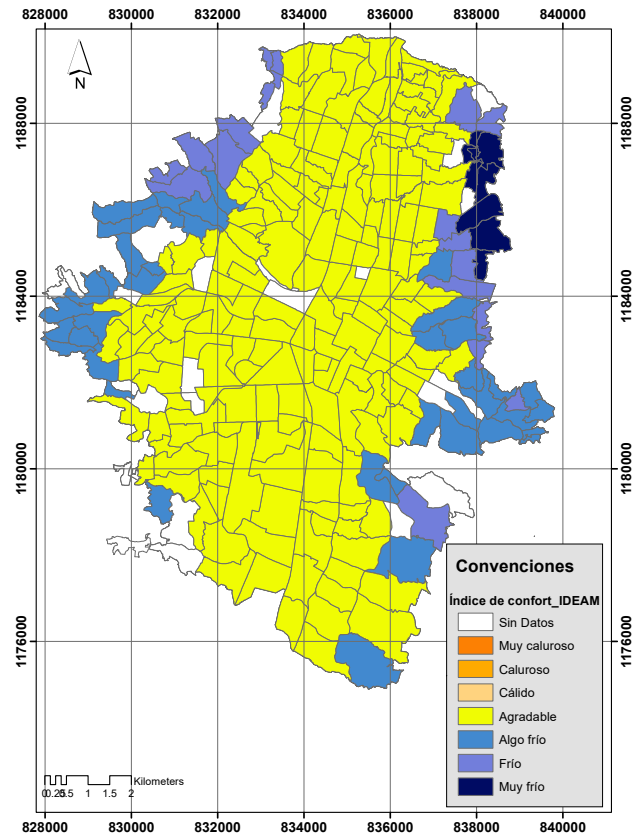


Figura 4.4: Índice de confort urbano (escala del IDEAM).

Fuente: elaboración propia.

Ante el gráfico 4.4 se plantea una adaptación de la escala del IDEAM según los valores de índice de confort obtenidos para el área estudio, dado que en Medellín los valores están en general por encima de 7.1. Además de que la escala original tiene siete rangos en la cual el rango agradable es atípico en relación al tamaño de los demás. Así se propone una escala más homogénea que permita resaltar las variaciones térmicas del área urbana del municipio de Medellín, que valla acorde a la problemática climática que los habitantes de la ciudad perciben diariamente. Para lo cual se proponen ocho rangos que van de menores a 7.36 a mayores a 15.1, con índices de sensación experimentada de tipo cálido alto, cálido medio, cálido bajo, agradable cálido, agradable, agradable fresco, frío leve y frío fuerte según el valor del IC.

Ante esta escala propuesta se obtienen resultados que arrojan que las zonas de borde se asocian principalmente al frío leve y a la sensación agradable. Solo los barrios La Aldea Pablo IV, Carpinelo, El Compromiso, La Cruz, La Esperanza n.2, Oriente, San José de la Cima n.1 y Versalles n.2, ubicados en el costado nororiental sobre la zona de borde urbano reflejan índices superiores a 15.1 es decir, sensaciones térmicas asociadas al frío fuerte (ver figura 4.5).

Es hacia la zona norte al interior del ámbito de ladera urbana donde los barrios de la comuna 1, 2, 3 y 6 tienden a tener uno de los índices de confort más cercanos al agradable cálido. En este punto la sensación es agradable, pues se logra cierto equilibrio entre el calor y el frío urbano. Por su parte el estado agradable, se ilustra únicamente en los barrios La Castellana, La Colina, Granizal, Villatina y Las Violetas, la mayoría sobre la franja occidental de la ciudad, entre el centro y sur urbano. Barrios que se ubican como zona de frontera frente a la ruralidad.

Las sensaciones más extremas se presentan igualmente sobre el costado occidental del valle, especialmente en los barrios que van del centro al sur de la ciudad. Con algunas excepciones hacia el costado oriental como el barrio Astorga y Villa Carlota.

El índice cálido medio, igualmente se vincula a sensaciones térmicas de calor intermedio, presentándose principalmente en los alrededores del centro de la ciudad, sobre los ámbitos de río y ladera. Extendiéndose un poco hacia el norte hasta el barrio Palermo y hacia el sur hasta el barrio Santa María de Los Ángeles.

El índice asociado al calor que genera quizá menos nivel de estrés en los habitantes es el de los barrios que se ubican hacia la zona norte de la ciudad, en inmediaciones de los barrios de sensación agradable cálida. Es sobre la zona centro y sur de la ciudad, donde se evidencia mayor predominancia de índices de confort asociados a calor alto y medio, lo cual concuerda con versiones dadas por los habitantes que experimentan el día a día urbano.

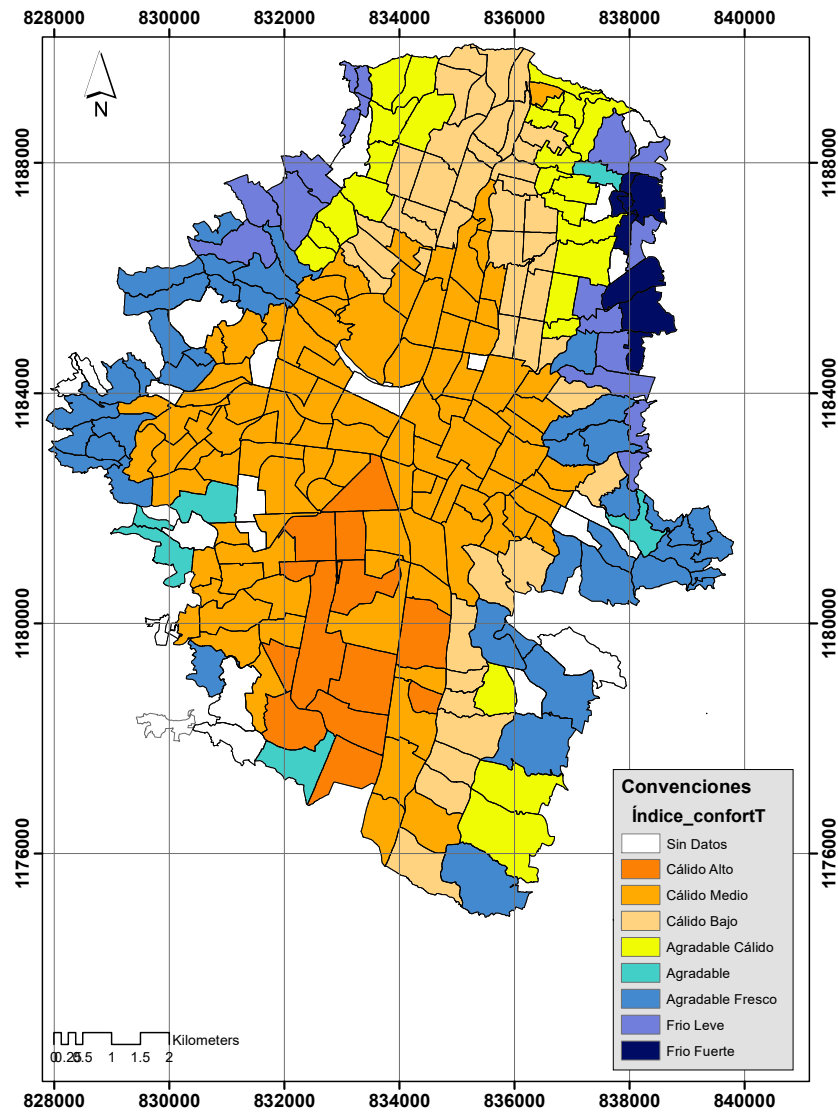


Figura 4.5: Índice de confort (escala sugerida) .

Fuente: elaboración propia.

En ese sentido se entiende entonces que no hay un rango de confort térmico que se pueda estandarizar como óptimo, ya que su resultado depende de la combinación múltiples factores que permiten entre tanto validar los resultados obtenidos desde métodos numéricos y matemáticos frente a las sensaciones térmicas humanas que definen la efectividad de si los espacios son realmente acogedores y habitables para los habitantes.

4.1.1.4 Vegetación urbana

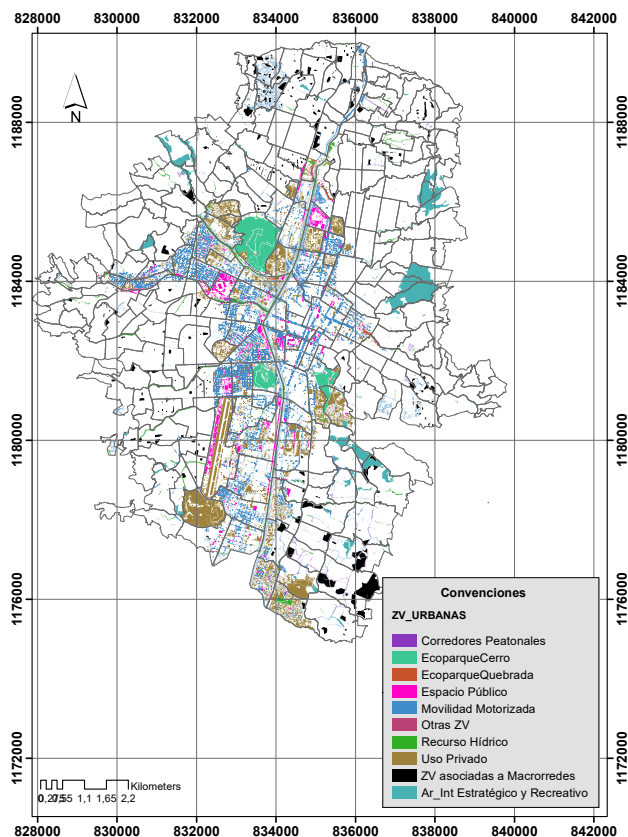


Figura 4.6: Infraestructura verde urbana.

Fuente: elaboración propia con datos de (Alcaldía de Medellín, 2019).

En las zonas bajas del Valle de Aburrá donde la temperatura aproximada se ubica alrededor de los 24 °C la vegetación corresponde a bosques urbanos donde el elemento predominante es el árbol, disponibles con la mayor cantidad de estratos posibles, de especies multifuncionales que tratan de imitar las diferentes fases y sucesiones de un bosque natural (Alcaldía de Medellín, 2015); allí las precipitaciones promedio se dan entre los 900 m y 1800 mm/año. Hacia las zonas altas se encuentran los bosques húmedos montanos bajos, con elevaciones que van desde los 1800 a 2500 msnm, sus precipitaciones medias oscilan entre los 1000 y 2000 mm/año y las temperaturas entre los 12°C y los 18 °C. Además, los bosques muy húmedos montanos bajos, se encuentran a más de 2500 msnm, con precipitaciones promedio entre 2000 y 4000 mm/año y temperaturas entre 12 y 18 °C (Urbam et al., 2013). Estas zonas, mejor conocidas como zonas de vida de acuerdo al sistema de clasificación ecológica planteado por (Holdridge, 1967), define los límites de los diferentes sistemas naturales acorde a los cambios que ocurren en la vegetación y los factores ambientales que afectan el desarrollo o la presencia de los ecosistemas.

Y son entre tanto, la clasificación más general referente a los tipos de vegetación presente en el área urbana del Valle de Aburrá. Por su parte la vegetación que se asocia al área urbana y periurbana, se acoge al concepto de bosque urbano, como el conjunto de todos los espacios verdes, reconociendo incluso los ejemplares solitarios como árboles aislados en el bosque urbano y zonas con mayor densidad como fragmentos del bosque de protección. Desde esa mirada urbana y periurbana, la administración pública, hace una gestión de los

En las zonas bajas del Valle de Aburrá donde la temperatura aproximada se ubica alrededor de los 24 °C la vegetación corresponde a bosques urbanos donde el elemento predominante es el árbol, disponibles con la mayor cantidad de estratos posibles, de especies multifuncionales que tratan de imitar las diferentes fases y sucesiones de un bosque natural (Alcaldía de Medellín, 2015); allí las precipitaciones promedio se dan entre los 900 m y 1800 mm/año. Hacia las zonas altas se encuentran los bosques húmedos montanos bajos, con elevaciones que van desde los 1800 a 2500 msnm, sus precipitaciones medias oscilan entre los 1000 y 2000 mm/año y las temperaturas entre los 12°C y los 18 °C. Además, los bosques muy húmedos montanos bajos, se encuentran a más de 2500 msnm, con precipitaciones promedio entre 2000 y 4000 mm/año y temperaturas entre 12 y 18 °C (Urbam et al., 2013). Estas zonas, mejor conocidas como zonas de vida de acuerdo al sistema de clasificación ecológica planteado por (Holdridge, 1967), define los límites de los diferentes sistemas naturales acorde a los cambios que ocurren en la vegetación y los factores ambientales que afectan el desarrollo o la presencia de los ecosistemas.

recursos naturales la cual se esmera por que la estructura de una zona verde sea la relación morfológica y espacial entre los elementos bióticos (árboles, palmas, arbustos, herbáceas, etc.) y abióticos que la conforman en un área determinada. La idea no es conformar espacios que no sean intervenidos por el hombre, sino copiar o paralelizar los espacios antrópicos frente a un espacio que no haya sido intervenido, de modo que se conserven la mayoría de características naturales (Alcaldía de Medellín, 2015).

Así mismo, desde los entes gubernamentales del área metropolitana, se adopta el término de infraestructura verde como toda combinación de zonas verdes ambientalmente eficientes, funcionales y útiles para la ciudad. Que desde el Manual de Silvicultura Urbana, se analizan de forma multiescalar; reconociendo ante todo que un espacio verde no depende únicamente de las dimensiones o de la vegetación contenida, sino de la función que presta dentro del territorio.

En el desarrollo de esta investigación se recopiló toda la cartografía oficial relacionada con el componente vegetal urbano, cartografía normalmente disponible en la base de datos de open data, o propia de instrumentos como el POT 2014 o el Plan Bio2030, información que igualmente aportó a la recolección de datos georeferenciados relacionados con el componente vegetal.

En términos del (Departamento Administrativo de Planeación & Alcaldía de Medellín, 2014) el componente vegetal se organiza en 2 grandes categorías correspondientes a la estructura ecológica principal (EEP) y la estructura ecológica complementaria (EEC). La primera abarca todas las subcategorías correspondientes a áreas protegidas y áreas de interés estratégico como los componentes del sistema hidrográfico, orográfico y los nodos y enlaces estructurantes de la red de conectividad ecológica. En cuanto a la EEC, comprende las demás áreas que permiten conectar y complementar a la EEP.

El manual de silvicultura urbana por su parte organiza el componente vegetal en función de su multiescalaridad urbana y territorial, es decir en función de la macroescala, mesoescala y microescala. donde la estructura ecológica abarca la escala más amplia vegetal, con todo lo referente a la estructura ecológica principal y complementaria. La red de conectividad ecológica comprende todas las zonas verdes de escala inferior a la anterior categoría, con aquellas asociadas al espacio público, la movilidad y los procesos urbanísticos, mientras que a escala micro, se representa por las áreas verdes diseñadas a pequeña escala, como cubiertas, jardines verticales y jardinerías etc.

Es en base a esa clasificación del componente vegetal que se definen finalmente 10 categorías de la infraestructura verde urbana, para efectos de la presente investigación. Categorías que

se asocian principalmente a la escala y a la función urbana que ejerce. Para comenzar, se encuentran las zonas verdes asociadas a macrorredes, las cuales se asocian a unas 43 redes ecológicas urbanas que ejercen una vital función sobre la avifauna de la región, es decir redes que permiten la movilidad de las aves, por eso su nombre de macro-redes, dada la facilidad de movilizarse a través de estas redes ecológicas. Por otra parte, se plantean las zonas verdes asociadas a los corredores de movilidad, tanto motorizada como peatonal. Estos espacios enlazan toda la red verde, unificando las áreas verdes existentes. Es así como estas zonas verdes de movilidad abarcan todos los corredores viales que tienen como parte su sección vial, zonas verdes arborizadas y las zonas aledañas, como puentes, glorietas e intercambiadores, entre otros.

Según lo anterior en la ciudad se evidencian aproximadamente 16 ha de zonas verdes vinculadas a los corredores verdes urbanos y 237 ha a los ejes viales de movilidad motorizada, concentrados principalmente al interior de lo que se conoce como el polígono prioritario urbano para la conectividad ecológica de los corredores verdes urbanos de la ciudad.

En cuanto a los parques urbanos corresponden a las zonas de la ciudad a las cuales se asocia por excelencia el subsistema de espacio público de esparcimiento y encuentro. Allí, se logra la recreación pasiva y activa de los ciudadanos, además de que desde esos lugares se entra en contacto directo con la naturaleza. El POT, define que, según implantación y función, se dividen en ecoparques y parques recreativos. Mientras que los ecoparques de cerro, son los espacios públicos que se asocian a los elementos del sistema orográfico es decir cerros y cuchillas, que en la ciudad alcanzan una gran importancia simbólica, natural, ecológica, paisajística, histórica y turística. Con estos espacios se logra orientar el crecimiento urbano a zonas apropiadas además de mejorar la calidad de vida no solo de las comunidades aledañas sino de la ciudad en general. En el área urbana del municipio de Medellín, existen 146 ha asociadas a esta categoría de IV, representadas principalmente por el Cerro El Volador, El Cerro Nutibara y El Cerro La Asomadera. Los aciales actúan a modo de nodos urbanos, dado el tamaño y mejor composición vegetal.

El ecoparque de quebrada por su parte obedece a aquellos espacios públicos generados a partir de los cuerpos hídricos, con los cuales se protege y conserva la estructura ecológica del recurso hídrico en general. En la ciudad 10 [ha] de zonas verdes hacen parte de esta categoría del recurso vegetal urbano, las cuales se distribuyen a lo largo del ámbito de río, ladera y borde. En cuanto a las demás categorías de parques urbanos, se puede decir que, para efectos de la presente investigación, se mantiene la clasificación planteada por el POT para el subsistema de espacio público; es decir que la categoría que se observa en el mapa de la figura F.2 con el nombre de espacio público, comprende todas las zonas verdes asociadas a dicho subsistema, entre ellos, el parque recreacional, las zonas verdes recreacionales y el parque cívico. Se

resalta que aunque los ecoparques son parte del subsistema de espacio público, se tomaron como categorías independientes dada la importancia ecológica que significa a escala urbana.

Los parques cívicos en Medellín, tienen una extensión que no supera las 4 [ha], concentradas principalmente en la comuna 10 conocida como la candelaria. Mientras que el parque recreacional alcanza las 36 [ha], distribuidas a lo largo del margen del río Medellín, pero con mayor presencia sobre la franja centro y sur de la ciudad. En cuanto a las zonas verdes de tipo recreacional, por su parte ocupan 42 [ha] de la superficie urbana en general, con una distribución bastante similar a la del parque recreacional urbano. Ahora bien, las zonas verdes asociadas al recurso hídrico son aquellas zonas verdes que contribuyen a mantener el servicio ecosistémico de aprovisionamiento y regulación hídrica, mediante la conservación de los flujos de agua superficial. Este sistema además se integra a los conectores de conectividad ecológica que conforman la infraestructura verde de escala urbana. Esta categoría abarca 98 [ha] de la superficie urbana, que se suman a los ecoparques de quebrada en su labor de fortalecer la conectividad ecológica con los ecosistemas hídricos de Medellín.

En relación a las zonas verdes que se vinculan a las áreas de interés estratégico y recreativo, corresponden a aquellas áreas de especial importancia ecosistémica que actúan a modo de bosque urbano, las cuales se asocian principalmente al sistema hidrográfico, orográfico, nodos y enlaces estructurantes urbanos, que por sus características brindan mejor calidad ambiental. Esta categoría cubre 217 [ha] del territorio, y la integran zonas del borde urbano principalmente.

En cuanto al componente vegetal asociado a procesos urbanísticos y predios privados, se puede decir que, a escala de ciudad, da continuidad a la infraestructura verde, los cuales, según su extensión, pueden llegar incluso a categorías de nodos o enlaces. Estas zonas a pesar de ser de uso privado tienen una importancia ambiental significativa la cual se vuelve estratégica en la ciudad por su carácter de poco ser intervenido (Alcaldía de Medellín, 2015). Estas áreas verdes, se identifican a lo largo del denominado polígono prioritario o zona de la ciudad que ha sido delimitada para la ejecución del proyecto de conectividad ecológica de los corredores verdes urbanos del municipio, el cual inicia hacia el año 2016, con el único fin de mejorar y recuperar las zonas verdes de la ciudad generando corredores ecológicos urbanos.

Finalmente, la categoría de otras zonas corresponde a la vegetación que se mira desde un nivel de detalle correspondiente a la microescala urbana. En este caso esta categoría abarca todas las zonas verdes que a pesar de no estar directamente vinculadas a la estructura ecológica principal si logran ejercer una labor complementaria. Estructuras de gran detalle tales como las jardinerías urbanas, los techos y muros verdes, comprenden 2 [ha] del territorio, por lo menos al interior del ya mencionado polígono prioritario. Esta zona ha despertado el interés

lluviosas, pero aún así mantienen el flujo permanente de agua durante todo el año. De acuerdo con (Aristizábal Uribe, 2013) el Valle de Aburrá, tiene unas 1200 quebradas que bajan por sus laderas oriental y occidental, que vierten sus aguas al Río Medellín. Son estas cuencas, paisajes de borde que actúan no como límites sino como un espacio común entre el ecosistema hídrico y el terrestre.

Por su parte la precipitación del valle depende de los vientos alisios que circulan en función de la topografía. Esta ciudad, presenta 2 estaciones húmedas alrededor de abril y octubre, donde las lluvias permiten alcanzar de 1400 a 3000 mm anuales. De esa forma el agua que se precipita se infiltra generando un nivel freático que al encontrar de nuevo la superficie forma los nacimientos de las principales quebradas, principalmente en las partes más altas de las laderas urbanas (Urbam et al., 2013).

En ese orden y de acuerdo con la figura 4.7, se establecen para el área de estudio 8 drenajes de orden principal, correspondientes a la quebrada Santa Elena, La Presidenta, La Guayabala, Altavista, La Picacha, Ana Diaz, La Iguaná y el Río Medellín o Aburrá; que comprenden cerca de 83.603 metros lineales del valle. Por su parte los drenajes secundarios dependen de unos 383 cuerpos hídricos que cubren 390 mil metros lineales de la zona estudiada, información tomada igualmente desde las bases de datos oficiales de la alcaldía cargadas al portal Open Data.

En Medellín existe una gran cantidad de cuerpos hídricos que han sido sometidos a procesos de canalización y enterramiento dadas las dinámicas del desarrollo de planificación urbana que destina grandes porciones de la superficie de la ciudad para actividades como la movilidad vehicular incluso sobre el mismo recurso hídrico natural. De acuerdo con la figura 4.7 los tramos de las quebradas que se encuentran hacia las zonas de mayores pendientes de la ciudad están en mayor medida en su estado natural, mientras que todos los que integran la zona urbana tienden a estar canalizados o enterrados, canalizados sobretudo los de la zona centro y sur occidental. De modo que la figura 4.7 fue determinante en el cálculo de la densidad hídrica del área estudiada, cartografía que igualmente se vinculó a los análisis de correlación como un componente fundamental de la estructura natural de la ciudad.

4.1.1.6 Estructura edificada

Corresponde al componente gris del municipio, el cual se desarrolla a fin de adaptar los espacios de la ciudad según las necesidades humanas de establecer un lugar de vivienda fijo, habitable, cómodo y acogedor. Sin embargo, estos espacios construidos modifican los entornos originales, trayendo con ello alteraciones de los ciclos naturales en la ciudad. Alteraciones heterogéneas a

escala urbana, dadas las claras diferencias y variedades de formas, superficies y distribución de componentes que se encuentran a lo largo de la misma ciudad, barrio, o calle y que finalmente se suman al universo de factores que influyen en los equilibrios urbanos.

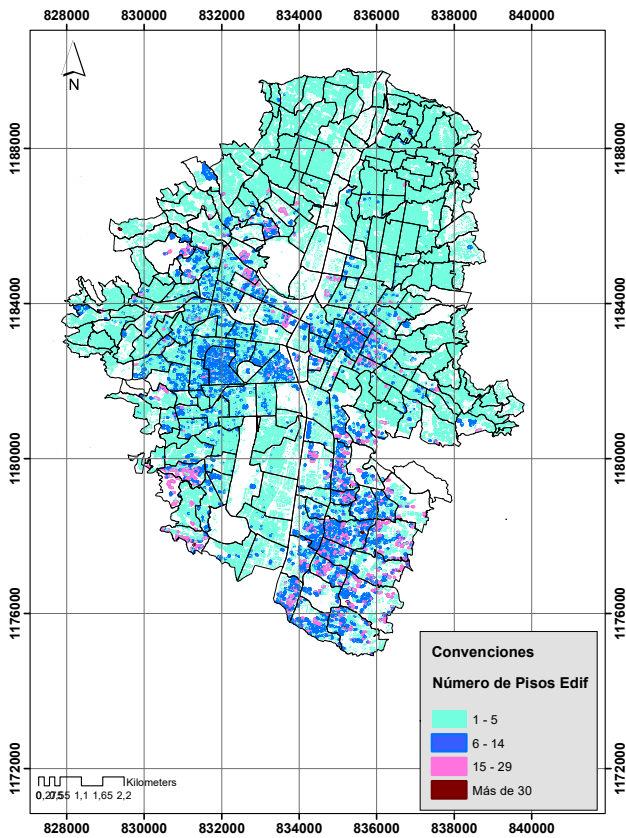


Figura 4.8: Estructura edificada.

Fuente: elaboración propia con datos de (Alcaldía de Medellín, 2019).

Estas estructuras se planifican, clasifican y distribuyen principalmente de acuerdo a los parámetros establecidos en el plan de ordenamiento territorial (POT) definido como el máximo instrumento ordenador del territorio colombiano. Sin embargo, otros instrumentos tales como el Manual de Espacio Público (MEP), planes y acuerdos de orden municipal, son considerados en Medellín como herramientas que complementan la definición del orden urbano. En consideración de todo lo anterior, es que se define el tipo, tamaño y la distribución de las estructuras edificadas y vegetales en Medellín y su área metropolitana. Las cuales son organizadas y clasificadas desde la administración según lo establecido en el POT 2014, y que para efectos de este proyecto se categorizan en vías de movilidad, el número de pisos edificados y en unidades morfológicas trazadas.

En ese orden se puede confirmar que Medellín posee estructuras que en términos de altura van desde 1 hasta los 39 pisos abarcando áreas edificadas de hasta 46 [ha] al interior de un solo polígono barrial. El volumen ocupado por cada una de esas edificaciones urbanas, depende directamente de las formas y las alturas bajo las cuales cada bloque es edificado en la ciudad, independientemente del uso para el cual es destinado. Estos bloques poseen un área edificada y una altura que finalmente al unirse a los bloques vecinos, forman una manzana urbana. Es decir, es un grupo de bloques que integran la cuadrícula principal urbana, la cual se conforma de polígonos cerrados definidos por las vías que se interseccionan o cruzan formando los ángulos

o esquinas.

Por su parte, las vías son espacios dispuestos entre las edificaciones y las estructuras, con el fin de permitir la movilidad tanto peatonal como vehicular, las cuales comprenden áreas de hasta 32 [ha] en el caso por ejemplo del barrio Santa Fé, y se clasifican según el tipo de flujo vehicular permitido para su tránsito. Un ejemplo de ello son las arterias principales y menores, las autopistas, los caminos, las ciclorutas, las vías colectoras, las férreas, las primarias, las de primer, segundo y tercer orden y las troncales de transporte público (Municipio de Medellín & Secretaria de Servicios Administrativos, 2014).

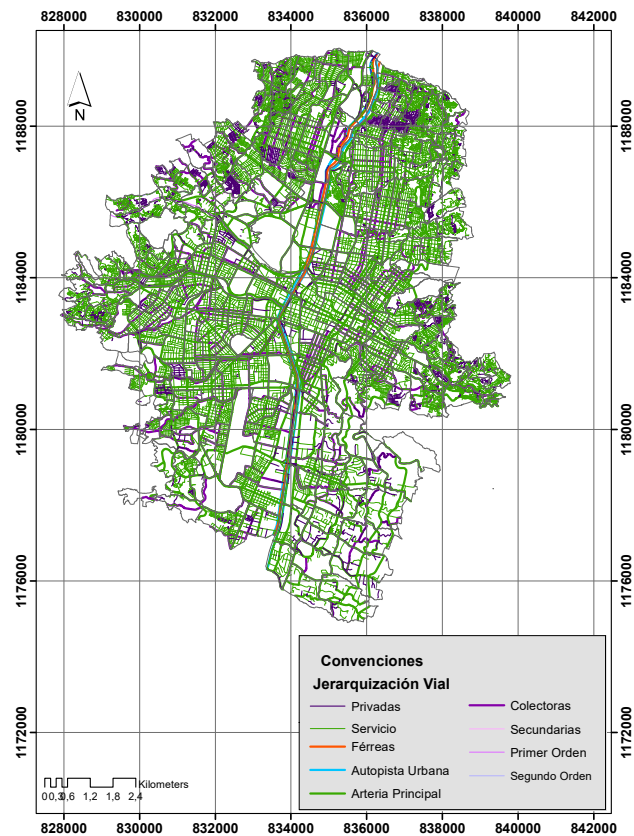


Figura 4.9: Jerarquización vial urbana.

A escala general urbana se puede decir que Medellín se compone de unos 651 metros de líneas férreas que hacen presencia a lo largo del río Medellín, para dar servicio al metro de la ciudad. Red que se complementa con unos 33.556 metros de autopistas urbanas, que permiten el tránsito vehicular de sur a norte, paralelamente al río Medellín y al trazado férreo ya mencionado. Las arterias principales, tienen una cobertura de 321.478 metros a lo largo de todo el área urbana, permitiendo la conectividad de largo recorrido, uniendo los diferentes sectores; sin olvidar los 240.000 metros de vías colectoras que conectan entre sí las diferentes arterias urbanas. A su vez se presentan otras vías de interés y flujos mayores como son las secundarias, la de primer y segundo orden que en total comprenden unos 7.519 metros lineales al interior de esta zona de estudio (ver figura 4.9).

Fuente: elaboración propia con datos de (Alcaldía de Medellín, 2019).

El POT reconoce otras tipologías de vías urbanas como son incluso las de servicio y las privadas, en donde las primeras corresponden a aquellas que facilitan el acceso a las propiedades o actividades adyacentes, vías que por su función tienen restricciones de transporte público

y de carga. Estas cobijan un aproximado de 1'629.638 metros, mientras que las privadas un máximo de 198.000 metros lineales en total. Estas últimas destacadas por ser las vías vehiculares ubicadas al interior de propiedades privadas como unidades residenciales (Municipio de Medellín & Secretaria de Servicios Administrativos, 2014) .

Cabe destacar que la figura 4.8 aportó la información de área y volumen necesaria para el cálculo de los indicadores de área de ocupación y área construida, resultados vitales en la definición de la compresión y la descompresión de cada barrio de la ciudad. Sumado a ello, esta la figura 4.9 la cual permitió definir la longitud de cada tipología vial al interior de cada barrio, para con ello calcular las áreas de esas vías dentro de cada zona estudiada.

4.1.2 INDICADORES DE IV Y FU ELEGIDOS PARA DETERMINAR LA CORRELACIÓN DE LA MORFOLOGÍA Y LA INFRAESTRUCTURA VERDE A ESCALA URBANA

4.1.2.1 Indicadores de forma urbana

La sostenibilidad urbana, la ecología del paisaje y la ecoplanificación han sido conceptos que han surgido desde hace siglos atrás; sin embargo, cuando vivir en las ciudades se convirtió en un caos dado el incremento en la demanda de recursos, la generación de residuos, la alteración de los ciclos biogeoquímicos y la sobrepoblación urbana, empieza el medio ambiente a cobrar mayor interés no solo a escala de ciudad y nacional sino internacional. Con ello se ha visto la necesidad de medir o cuantificar la condición y actuación del medio ambiente en la mitigación y control de los problemas urbanos generados.

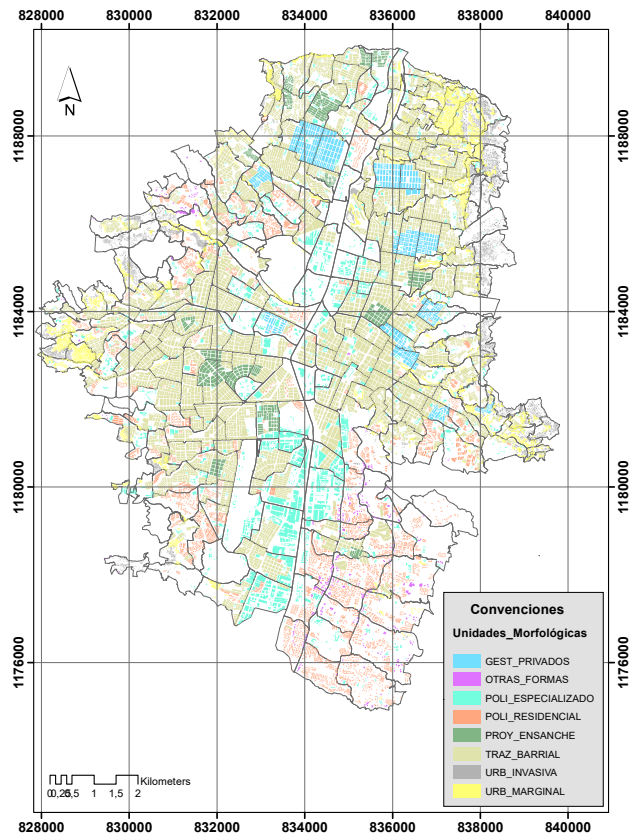
A partir de ahí se consolidan los indicadores que desde la ecología del paisaje permiten la cuantificación de los componentes de la infraestructura verde que dependen a su vez de la presencia de los componentes que han sido edificados en la ciudad, dada la concepción que se le ha atribuido al urbanismo como un sistema integrador. Los indicadores de área de unidades morfológicas, área de ocupación, área de construcción y compacidad absoluta y corregida, representan en esta investigación los datos que permiten interpretar la condición de la forma de la ciudad; formas edificadas, horizontales y verticales, que finalmente se deben tener claramente identificadas para poder correlacionarlas frente al componente natural presente. Para en ese orden determinar como las variaciones de dichas formas impactan la condición de confort térmico de la ciudad.

A continuación se presentan los indicadores de sostenibilidad urbana que permiten establecer la relación entre los componentes naturales y artificiales de la ciudad, indicadores que han sido

ampliamente estudiados y utilizados por múltiples investigadores como (Agencia d'Ecología Urbana de Barcelona, 2010), (Mega & Pedersen, 1998) y (Pakzad & Osmond, 2015) y que hoy son base fundamental para su implementación en la ciudad de Medellín, en donde desde el AMVA y demás entidades, se han venido implementando en el cálculo de indicadores de esta naturaleza.

Área de Unidades Morfológicas:

Es un indicador que determina el área que cada unidad morfológica abarca al interior de cada uno de los barrios del área urbana de Medellín; el cual permite conocer cual es la tipología de mayor extensión, y en que barrio se concentra en mayor o menor proporción. Para poder finalmente comparar los barrios en los que las unidades morfológicas se acentuaron frente a la división territorial de ámbitos urbanos para en ese orden comprender si la presencia de cada unidad morfológica, en asocio con las demás variables de forma urbana e infraestructura verde, incidió en el comportamiento térmico urbano.



Dicho lo anterior, la unidad morfológica de mayor cobertura a nivel urbano es la correspondiente al trazado barrial, la cual ocupa 1890

Figura 4.10: Mapa de unidades morfológicas.

[ha] de la superficie urbana, que equivalen a un 60% del total de 2006).

Le siguen el polígono especializado con un 12%, correspondiente a 394 [ha] de cobertura, el polígono residencial y la urbanización marginal que se encuentran casi a un mismo nivel, la primera con 241 [ha] de cobertura, correspondientes al 8% y la segunda con 219 [ha], equivalentes al 7%. El 6 % equivale a aquellos predios resultado de la parcelación de fincas urbanas en la ciudad, conocidos como gestores privados, seguidos del 4% correspondiente al proyecto de ensanche, el 2 % a la urbanización invasiva y el 1% a otras formas

urbanas.

Área de Ocupación:

Continuando en el análisis que nos permite entender el componente gris de la estructura físico espacial del municipio, se destaca la cartografía relacionada con las construcciones desarrolladas en la ciudad, cartografía que aporta datos relevantes como el número de niveles edificados al interior de cada lote, a partir de la cual se calculó el área de ocupación del suelo, un indicador que refleja el área de suelo que es ocupado por cada edificación en primer piso y bajo cubierta (Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín, 2014). Dicho de otra forma, es el área que ocupa la huella que marca cada edificio sobre la superficie del suelo urbano. Un indicador de gran aporte al principio de compresión urbana, que a través de la relación entre los espacios construidos, libres y naturales define si cada sector ha sido edificado manteniendo unos principios de espacio de encuentro que pueden impactar o no el confort térmico urbano.

De ese modo y al calcular el indicador del Ar Ocu en $[ha]$, los resultados se organizan en 6 rangos que permitan diferenciar cada barrio según su resultado obtenido. En donde la cobertura de ocupación más baja esta alrededor de las 0.5 $[ha]$ y la más alta cerca a 46.5 $[ha]$.

Es así como la figura 4.11, refleja como sobre el ámbito de río hacia la zona sur de la ciudad se agrupan barrios como Villa Carlota, Campo Amor, Santa Fé, Cristo Rey, Trinidad y Guayabal, como barrios con altos índices de ocupación. Otros casos destacados a nivel de ciudad por su alto índice de ocupación son Laureles, La Candelaria, Kennedy, Las Granjas y Prado. En

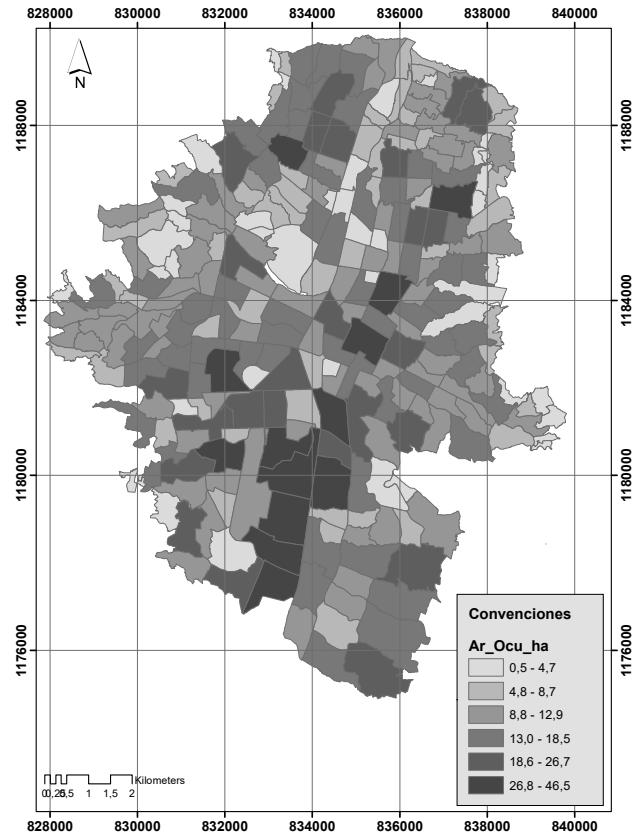


Figura 4.11: Mapa área ocupada.

Fuente: elaboración propia.

contraste las zonas que reportan menores áreas de ocupación son el centro administrativo, la nueva villa del Aburrá, la UPB, El Cerro El Volador, La Plaza de Ferias, El Terminal de Transporte, El Oleoducto, El Rodeo, El Parque Norte y el Jardín Botánico, entre otros barrios de las zonas de borde de la ciudad.

Área de Construcción Urbana:

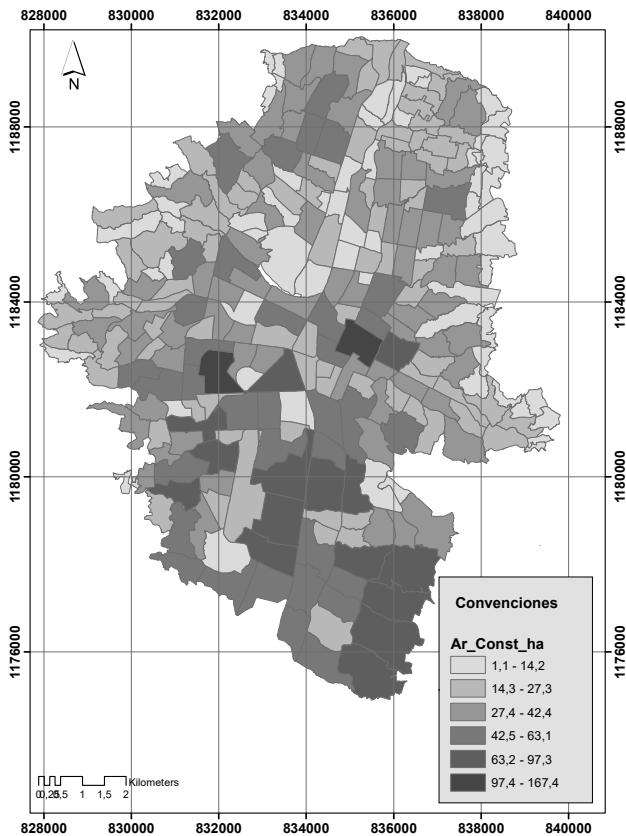


Figura 4.12: Mapa área de construcción urbana.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al área de construcción, se puede decir que hace referencia al número de veces que la superficie de una edificación puede convertirse por definición normativa en área construida. Este indicador es calculado a partir del área de ocupación, teniendo en cuenta el número de pisos edificados en cada bloque o unidad construida. Un indicador que al igual que el área de ocupación, aproxima a entender si los espacios urbanizados del área de estudio, han preservado o no, una relación frente a espacios destinados para otros fines diferentes a la vivienda. Relacionando en este caso no solo la superficie de suelo ocupada sino la altura que cada edificación alcanza, pues las alturas pueden ser determinantes en el confort térmico de un sector que por sus condiciones geomorfológicas, edificadas y naturales

es más susceptible en relación a otros sectores de la misma ciudad.

En esa medida es como la figura 4.12, permite visualizar que a escala urbana los barrios con más bajas áreas de construcción de la ciudad, hacen presencia principalmente en las zonas de borde, sin exceptuar la ladera y el río. Existe gran cantidad de barrios a escala de ciudad con áreas de construcción inferiores a las 14,2 [ha], dispersos de forma regular a lo largo del valle. Sin embargo se destaca el barrio Laureles y La Candelaria como los únicos 2 barrios que alcanzan un rango de construcción superior a las 97 [ha]. Otros casos de atención son por

ejemplo los barrios La Florida, El Tesoro, Los Balsos n.1, Villa Carlota, Campo Amor, Santa Fé, Castropol, San Lucas, Los Naranjos y Cristo Rey, como barrios que aunque no tienen los rangos de construcción más altos, si tienen áreas elevadas a escala de ciudad. Entre otros barrios del costado occidental que alcanzan rangos de hasta 42.4 [ha], como son el caso de Castilla, Pedregal, La Esperanza y Aures n.1.

Área de Vías:

Este indicador permite conocer el área que la ciudad ha cedido para el desarrollo de ejes de movilidad vial y/o peatonal. Un indicador relevante dado que permite conocer una cantidad aproximada de la superficie que cada barrio de la ciudad y cada unidad morfológica cedió a los ejes de movilidad urbana. Que en términos del confort térmico verifica si la presencia de los ejes viales se relacionan realmente con la disminución de dicho índice en la ciudad.

En ese sentido se obtiene el mapa de la figura 4.13, en el cual se observa que la zona de río y ladera contiene el trazado que mayor espacio ha cedido a la movilidad urbana. 2295 [ha] es el total del área vial de los barrios analizados a escala de Medellín, de los cuales 653 [ha] se encuentran dentro de la zona

de río, 1177 [ha] en la de ladera y 465 [ha] en la de borde urbano. En cuanto a los barrios con menor área de vías, se puede decir que 39 barrios integran los barrios de toda la ciudad que no exceden las 3.4 [ha], ubicados principalmente hacia los bordes de la ciudad. En la zona de ladera se ubican casos como el del barrio UPB, la facultad de minas de la universidad nacional, la facultad de veterinaria de la universidad de Antioquia, el Pomar y Lalinde, como esos barrios de bajas extensiones destinadas a la movilidad, mientras que en la zona de río son casos como el del cementerio universal, hospital San Vicente de Paúl, jardín botánico, el

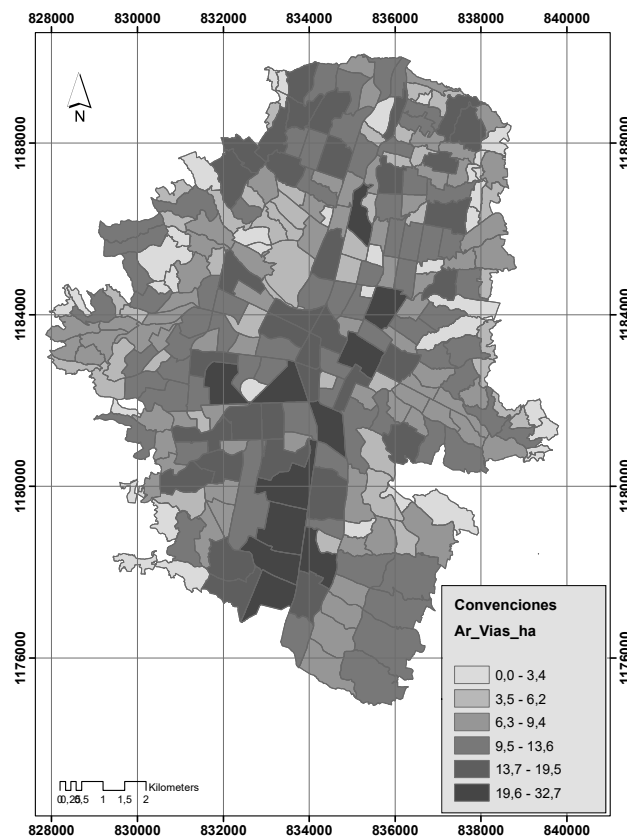


Figura 4.13: Mapa área de vías.

Fuente: elaboración propia.

barrio Pablo VI y la plaza de ferias.

Evidentemente, es en el ámbito río donde la ciudad ha tendido a ceder mayor proporción del territorio a proyectos de tipo vial, especialmente en las zonas del sur del municipio. Por su parte es hacia las zonas de transición entre ladera y borde donde se presentan mayores pendientes, donde además tienden a ubicarse los barrios con las menores áreas viales obtenidas en el presente proyecto investigativo.

Volumen Edificado:

Es el indicador que representa el espacio que ocupa cada uno de los edificios construidos en el interior del área de estudio, y el cual es base fundamental para el cálculo de la compacidad absoluta y corregida. Este indicador se calcula a partir del área de ocupación, el número de pisos de cada una de las construcciones de la ciudad y un factor de 2.5 que representa la altura aproximada que tiene cada uno de los pisos edificados.

Del cálculo de este indicador se obtiene el mapa de la figura 4.14, el cual refleja que los barrios de Laureles y La Castellana tienen los volúmenes edificados más altos de toda el área de estudio. Incluso superan los volúmenes de barrios como La Florida, El Tesoro, Los Balsos n.1, San Lucas y Los Naranjos, barrios que han diseñados bajo

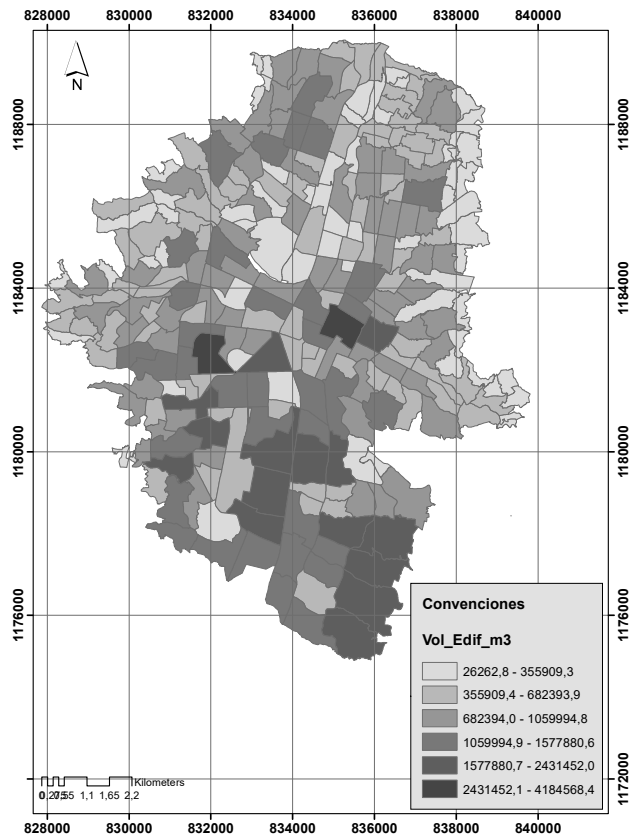


Figura 4.14: Mapa de volumen edificado.

Fuente: elaboración propia.

el trazado de polígono residencial con edificaciones que alcanzan hasta los 29 pisos, pero que en relación a los dos barrios mencionados anteriormente, ocupan menos volumen, pues allí, el trazado inicial fue el de casas que se fundamentaron en un trazado barrial que poco a poco a sido transformado con múltiples edificaciones que van desde los 6 pisos hasta los 15 pisos o más.

Compacidad Absoluta y Corregida:

En términos de la compacidad se puede decir que representa el volumen edificado en la ciudad por unidad de superficie, el cual se describe como un indicador de gran importancia ya que se relaciona con las distancias de viaje promedio en la zona de análisis y con la longitud de las líneas de infraestructura. Un indicador que además se relaciona con la densidad no solo de edificaciones y viviendas sino de usos del suelo, ya que según el grado de densidad y mixticidad de estos, se puede aproximar en mayor o menor medida al término de sostenibilidad urbana. Esto de acuerdo a las emisiones de energía y GEI, que las distancias propias de las ciudades no compactas demandan, las cuales a su vez contribuyen en la salud de los peatones, pues el grado de compactación excesivo conllevan a exacerbar el efecto de isla de calor urbano.

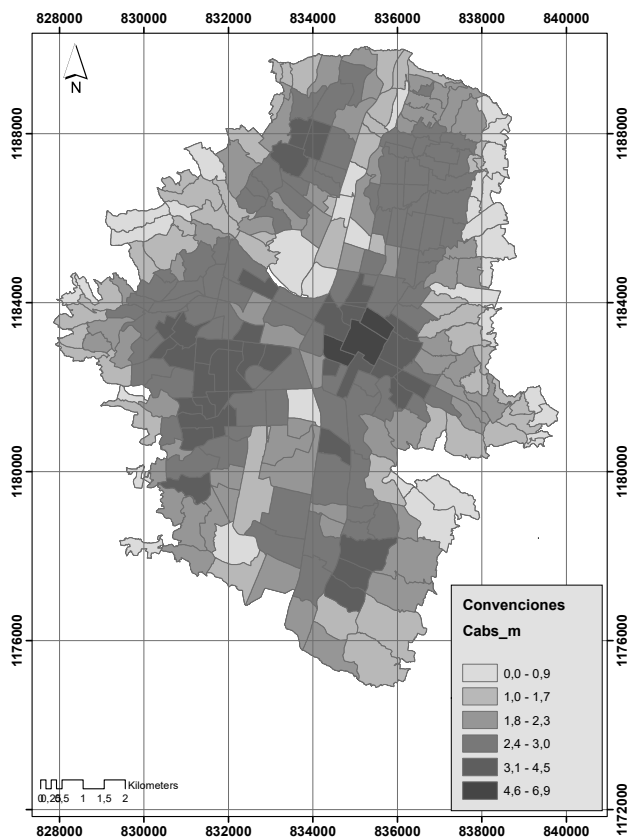


Figura 4.15: Mapa de compacidad absoluta.

Fuente: elaboración propia.

En esa medida se obtiene la compacidad absoluta para el área urbana del municipio de Medellín (ver figura 4.15), en consideración de lo planteado por (d'Ecologia Urbana de Barcelona, 2009) quien establece que el rango óptimo de compacidad absoluta para las ciudades europeas es superior a los 5 $[m]$. Un rango que permite definir que en Medellín solo 3 barrios cumplen con dicho parámetro, entre ellos el barrio Guayaquil, La Candelaria y Villa Nueva.

Otros 30 barrios tienen rangos de compacidad absoluta superiores a 3.1 $[m]$ e inferiores a 4.5 $[m]$, barrios que particularmente se agrupan sobre el costado centro oriental y sobre el occidental en inmediaciones del barrio Laureles, entre otros más hacia el norte y sur de la ciudad.

Por otra parte es la compacidad corregida la que permite entre tanto definir la presión existente entre esa masa construida y los espacios de esparcimiento urbano. Para a partir de esto, acercarse a la proporción de esponjosi-

dad o permeabilidad del suelo (Agencia d'Ecología Urbana de Barcelona, 2010). Un indicador que entre tanto establece como el espacio público que ha sido planteado y categorizado por el POT del área de estudio, conlleva a mitigar las presiones que la densidad edificada ha generado.

En ese sentido se obtiene que a escala urbana, existen barrios en donde los espacios de encuentro están ausentes, lo cual se refleja en resultados de compacidad iguales a cero. Un ejemplo de estos barrios es el barrio Bolivariana, Caribe, El Danubio, Universidad de Antioquia, Lalinde, Maria Cano Carambolas, entre otros. Se aclara además que se presentan zonas del borde urbano de la ciudad con Ccorr de cero, dado que allí no hay reporte de espacio público por parte de la cartografía oficial del POT. A su vez se detectan 29 barrios con un índice de compacidad corregida superior a 250 [m] lo cual se traduce en que el espacio público presente allí es realmente bajo, mientras que los 4 barrios con compacidades entre 0,1 y 1 [m] (Jardín Botánico, Cerro El Volador, Cerro Nutibara y el Parque Norte) representan una

mayoría de espacio público frente al volumen construido. Lo cual permite definir de acuerdo a lo planteado por d'Ecología Urbana de Barcelona que 90 barrios del área urbana cumplen con el rango de compacidad corregida, el cual se define como óptimo cuando se ubica entre los 10 y 50 [m].

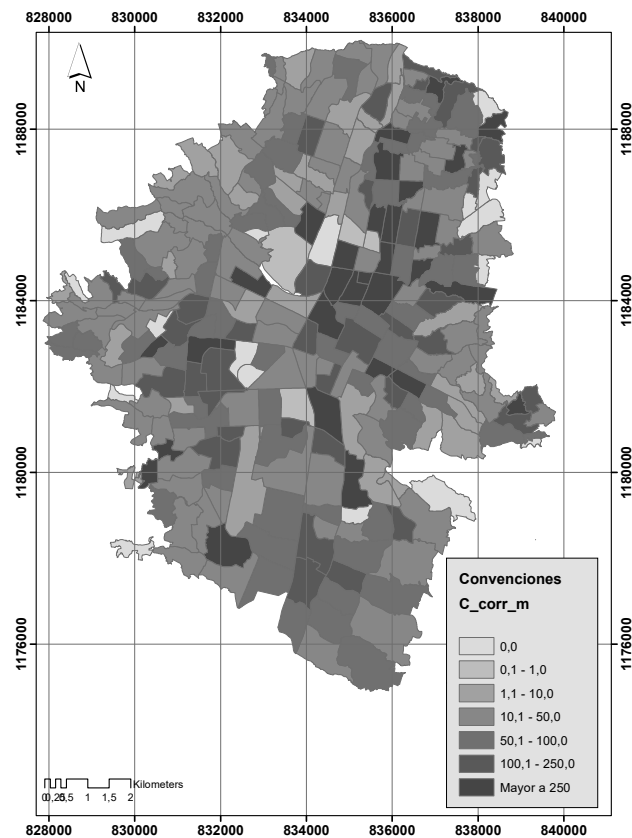


Figura 4.16: Mapa de compacidad corregida.

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.2 Indicadores de infraestructura verde

De acuerdo con los intereses de esta investigación, se distingue que la infraestructura verde es toda estructura verde de origen natural o introducida por el hombre, ya sea para fines estéticos, climáticos, alimenticios o higiénicos. La cual, de acuerdo con el amplio espectro de información existente se puede clasificar en: parques de ciudad, cuerpos hídricos, zonas urbanas comunes, parques forestales, plazas municipales, zonas recreativas de gran tamaño y cementerios o incluso acuíferos, ríos, lagos, suelos de soporte, entre otras (Firehock, 2015). En este caso se puede decir que los indicadores relacionados con la infraestructura verde son tan importantes como los de forma urbana. De modo que su función es dejar clara la forma bajo la cual sus componentes se han establecido sobre el territorio estudiado, ya que de ello y de la relación frente al componente edificado, se analiza la incidencia en el confort térmico urbano.

Es partir de toda la evidencia bibliográfica existente frente a la definición y clasificación de la infraestructura verde, además de las categorías que ya se vienen definiendo en la ciudad desde los entes administrativos y de gestión del recurso natural mencionado anteriormente, que se llega a la clasificación definitiva bajo la cual el presente proyecto se estructura. Categorías relacionadas con las zonas verdes asociadas a las vías o corredores de transporte, corredores de uso peatonal, zonas verdes asociadas al espacio público, al recurso hídrico, a los ecoparques de cerro, a los ecoparques de quebrada, a las zonas verdes de espacios privados como pueden ser aeropuertos, cementerios, clubes y campus universitarios, entre otras zonas verdes como muros y techos verdes. Además de aquellas zonas verdes que se vinculan a las áreas de interés estratégico y recreativo (son todas las zonas verdes relacionadas con el sistema orográfico, con la red de conectividad ecológica, áreas de interés recreativo y paisajístico y demás cuerpos hídricos) así como a las macrorredes urbanas.

Ahora bien, al analizar la categorización de esta importante estructura a escala urbana, es preciso comprender su área de cobertura en el territorio. La figura 4.17, relaciona no solo la tipología de infraestructura verde sino su cobertura en hectáreas, a partir de lo que se puede constatar que las zonas verdes asociadas al uso privado, a la movilidad motorizada y a las áreas de interés estratégico y recreativo, son las zonas verdes de mayor cobertura en el territorio. Mientras que los corredores peatonales y los ecoparques de quebrada representan la menor proporción de la infraestructura verde en la ciudad.

En cuanto a los ámbitos urbanos se puede decir que la extensión de zonas verdes al interior de la zona de río se asocia principalmente a los predios privados los cuales corresponden a zonas como clubes, colegios, cementerios, entre otros, que presentan cierta similitud frente al área de cobertura de las zonas verdes asociadas a la movilidad motorizada, y al ecoparque de

cerro.

En la zona de río, además, las zonas verdes asociadas a las macrorredes, al espacio público y al recurso hídrico, son proporcionales, entre si, con coberturas que no exceden el 8% del total de las zonas verdes ubicadas al interior de esta zona urbana. Por su parte las áreas de interés estratégico y recreativo, los ecoparques de quebrada, y las otras zonas verdes, no exceden del 1%, razón por la que se puede decir que su cobertura a nivel de ámbito es muy baja. En cuanto a las zonas verdes de los corredores peatonales, en este ámbito urbano, su presencia es tan baja que se representa por un valor de 0% al interior del gráfico 4.17.

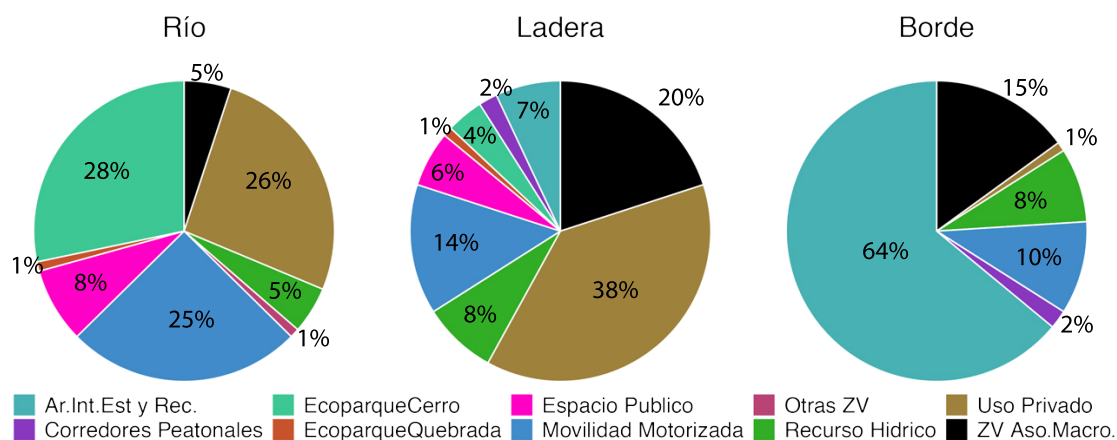


Figura 4.17: Porcentaje de área de zonas verdes en el ámbito río, ladera y borde.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al ámbito de ladera, se observa que al igual que en la zona de río, las zonas verdes asociadas a los espacios privados y a las macrorredes urbanas son mayoría respecto de las demás tipologías. En la ladera de Medellín, el verde asociado a los ejes de movilidad motorizada, representa el 14% del total de este ámbito, porcentaje inferior a la cantidad de verde que en río se suele asociar a las vías o calles. Las demás tipologías tienen cierta proporcionalidad entre ellas, sin embargo, son los ecoparques de cerro, quebrada y los corredores peatonales las zonas verdes más ausentes dentro de esta zona territorial. Es evidente que los ecoparques de cerro disminuyen sustancialmente en la zona de ladera, además de que los ecoparques de quebrada tanto en río como en ladera tienen una presencia significativamente reducida.

En la zona de borde, los comportamientos de las tipologías tienen una serie de variaciones sustanciales, entre las que se destaca que a nivel de borde la tipología de mayor área ya no es la de zonas privadas sino la de las áreas de interés estratégico y recreativo, esto con un 64%, porcentaje que representa más de la mitad de la cobertura vegetal de la zona de borde.

Le siguen ya en baja proporción las zonas verdes asociadas a macrorredes, con un 15% y las de la movilidad motorizada con un 10%. Se observa finalmente que a nivel de borde las zonas verdes asociadas a los ecoparques de cerro, a los espacios públicos, a los ecoparques de quebrada y a las otras zonas verdes, desaparecen totalmente. Reduciendo por su parte a un 1% las áreas de predios privados que a nivel de río y ladera eran las máximas representantes.

Densidad de Árboles:

El indicador de densidad de árboles hace referencia a la cantidad de árboles presentes por unidad de superficie, lo cual permite aproximar a las zonas de la ciudad donde la presencia de individuos mejora o no las condiciones ambientales y térmicas urbanas. Un indicador de gran aporte en la escala de la ciudad analizada, dadas las iniciativas de reverdecimiento urbano que se han venido implementando.

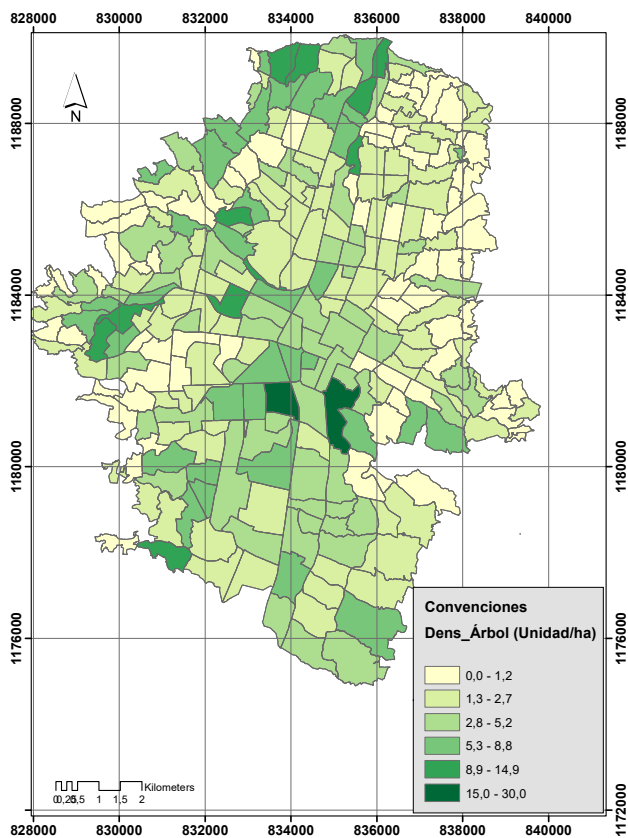


Figura 4.18: Mapa de densidad árboles.

Fuente: elaboración propia.

Considerando el inventario de árbol urbano que existe en la ciudad de Medellín (SAU Sistema de Árbol Urbano) y la extensión de cada barrio en $[ha]$, se obtiene la figura 4.18, la cual refleja que 163 barrios presentan una densidad de árboles entre 0 y 2,7 $[individuos/ha]$. En contraste con 13 barrios que por su parte presentan valores de densidad entre 8,9 y 30 $[individuos/ha]$. Los barrios con valores más bajos se distribuyen a lo largo de los tres ámbitos territoriales, sin embargo, es en la zona de ladera y borde del centro y norte de la ciudad, donde la cantidad de árboles reportados en el SAU frente a la extensión territorial es bastante baja. Por su parte, los 13 barrios de densidades arbóreas más elevadas se ubican en la zona de río y ladera occidental, destacándose barrios como Belencito, Campo Alegre, San Diego y Palermo por ser de las zonas de mayor densidad arbórea obtenida en el cálculo del presente

indicador.

Densidad de cuerpos hídricos:

En cuanto a los cuerpos hídricos presentes en el área de estudio se puede decir que son de gran consideración, dada la presencia que tienen al interior del área urbana y sus alrededores. Además de la importancia histórica y social que los cuerpos hídricos han tenido en la distribución y desarrollo de Medellín como ciudad. En términos de la regulación térmica, se pretende verificar si efectivamente la presencia de los cuerpos hídricos en asocio con las demás variables, mejora o no las condiciones de confort térmico.

Para ello se hace el cálculo que permite determinar la cantidad de ríos y quebradas que fluyen a lo largo de cada uno de los barrios analizados a escala urbana, para de esa forma establecer la densidad hídrica por unidad de superficie barrial, la cual finalmente permite clasificar

los barrios de la ciudad que tienen mayor o menor densidad hídrica respectivamente. Estos cálculos se basaron en análisis de densidad hídrica como los realizados por (Gabler, Petersen, Trapasso, & Sack, 2009) y (Cortolima, 2009) en los cuales determinan esta relación según el área de la cuenca hidrográfica; sin embargo en este caso se reflejaron los resultados a escala de barrio, sin duda una escala de mayor detalle en el análisis de esta ciudad.

La figura 4.19 ilustra como en la ciudad existe una tendencia a que la densidad hídrica predominante sea entre 13.3 y 51.4 $[m/ha]$. Con algunos barrios específicos como el barrio El Pesebre, Blanquizal, Monteclaro, Olaya Herrera, entre otros, que reflejan las densidades hídricas más altas, en este caso las que superan los 77.8 $[m/ha]$. Por su parte se evidencian

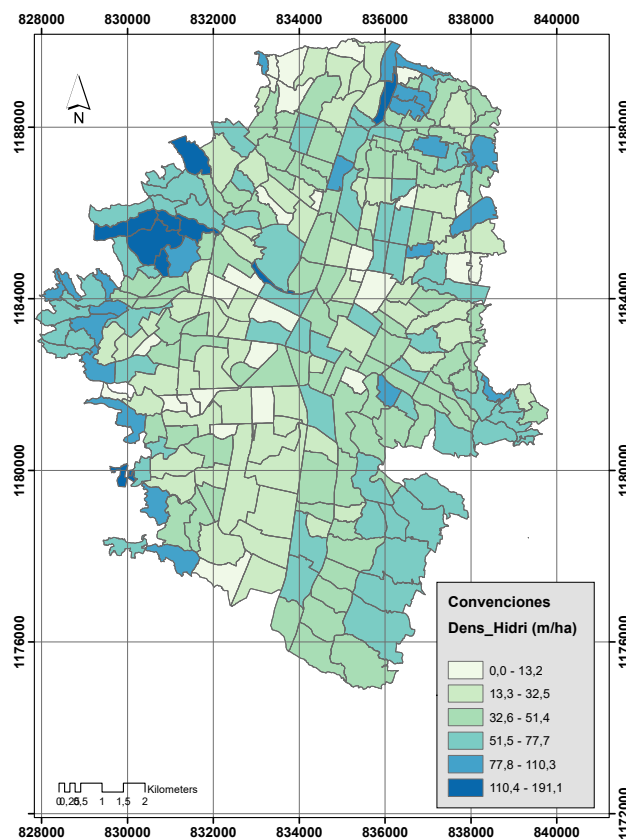


Figura 4.19: Mapa de densidad cuerpos hídricos.

Fuente: elaboración propia.

27 barrios en los cuales la densidad hídrica presenta los valores más bajos dentro del área estudiada, con rangos inferiores a los 13.2 $[m/ha]$.

En términos generales el costado occidental del valle presenta en la zona del borde urbano, los barrios con los índices más altos de densidad hídrica, con algunas excepciones localizadas en la zona de río y ladera urbana. Hacia el costado oriental de la ciudad se destacan casos como los del barrio Andalucía, Carpinelo, El Pomar, Gerona, La Francia y Pablo VI, entre otros, por tener densidades entre 77.8 y 110.3 $[m/ha]$.

Área de Zonas Verdes Urbanas:

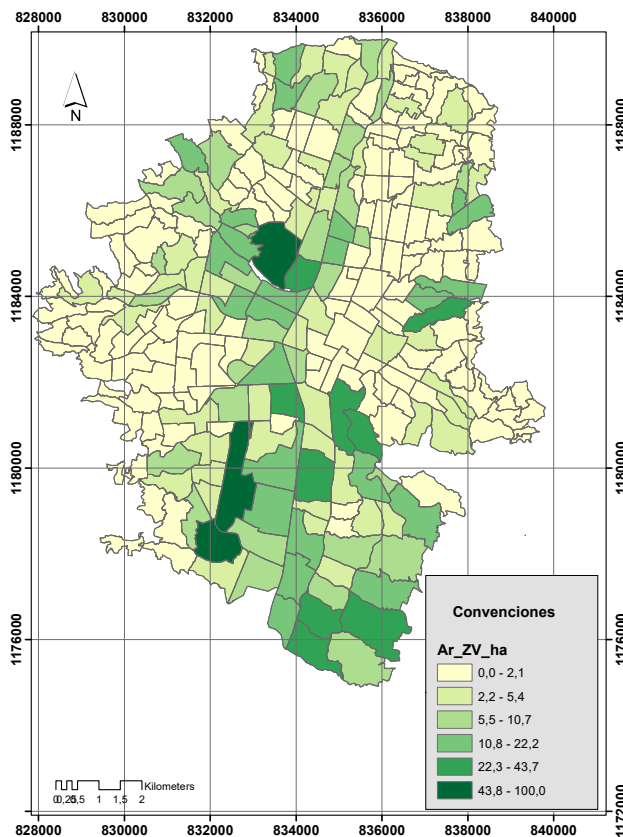


Figura 4.20: Mapa de densidad de zonas verdes.

Fuente: elaboración propia.

Este indicador a escala urbana determina la extensión de zonas verdes al interior de cada uno de los barrios de la ciudad. Un indicador muy relevante pues permite entender si las zonas verdes definidas por la autoridad municipal en asociación con las demás variables de forma e infraestructura verde, constituyen espacios con mejores índices de confort a escala de ciudad.

En relación a la figura 4.20, se puede decir que la franja occidental de la ciudad en términos generales posee extensiones de zonas verdes desde la zona norte como hasta la zona sur de la ciudad, sobretudo a lo largo de la del río urbano. Por su parte el costado oriental tiene proporciones de este componente vegetal en cantidades muy bajas. Por lo menos hasta lo que se distingue como el barrio San Diego, y la Asomadera donde el componente verde se empieza a fortalecer hasta su límite con los municipios vecinos.

Además, se identifica como determinados barrios del borde urbano oriental como San José de La Cima n.2, Oriente, La Ladera, Villa Hermosa y Batallón Girardot, tienen extensión del componente vegetal entre las 22.3 $[ha]$ y 43.7 $[ha]$, valores que resaltan en comparación al

promedio presente a escala de ladera y borde oriental.

En el costado occidental resaltan zonas como las correspondientes al Cerro El Volador y el aeropuerto, ya que son los polígonos que reflejan las extensiones de zonas verdes más fuertes a lo largo de todo el costado. Sin embargo barrios como El Doce de octubre, Los Colores, Monteclaro, San Germán, La Unidad Deportiva Atanasio Girardot, entre otras, conservan extensiones de hasta 22 [ha], que de igual forma aportan al fortalecimiento del componente vegetal urbano.

Ahora bien, de acuerdo al análisis espacial realizado en relación a los indicadores que de una forma u otra permitieron determinar la relación de las formas y distribución del componente edificado y natural en Medellín, se prosiguió a correlacionar todas las variables, que permitirían en ese sentido determinar un efecto sobre el confort térmico de la ciudad.

4.2 FASE 2: CORRELACIÓN DE VARIABLES URBANAS

Teniendo claro que el fenómeno del confort térmico a escala urbana está determinado por un sinnúmero de factores que se deben contemplar en términos de efectuar un análisis que se acerque a los procesos que realmente inciden en él, en relación a las formas urbanas y coberturas existentes en Medellín, es que se introduce el concepto de análisis multivariado, el cual representa un estudio estadístico en el que se analizan más de dos variables simultáneamente.

Este tipo de análisis es empleado en diferentes ciencias en las cuales se requiere interpretar muchos datos al tiempo, un ejemplo de ello, es la medicina, la biología, la industria agroalimentaria y hasta el urbanismo. Se podría llegar a percibir el análisis multivariado como una moda, sin embargo es cierto que cada vez existen más preguntas de investigación tan complejas que exigen modelos multivariados como herramienta de análisis.

Hoy día con la gran disponibilidad de computadoras y softwares multivariantes, muchos usuarios pueden abordar estas preguntas a través de técnicas multivariadas que antes estaban disponibles para muy pocos. En este caso los software empleados son ARCGIS 10.3, y R, donde el primero al ser un sistema de información geográfica integrado, permite la representación de las bases de datos cartográficas creadas previamente por la administración u otros investigadores. En este aplicativo se mapean todos los resultados obtenidos para este proyecto con el fin de generar representaciones gráficas del territorio de fácil entendimiento, que además sean compatibles con los conocimientos bajo los cuales la alcaldía y el municipio vienen trabajando en la generación de material cartográfico.

El otro software, llamado R, es un software estadístico de uso libre, empleado para manipular datos, dibujar trazados o gráficas y realizar análisis estadísticos de datos (Lafaye de Micheaux et al., 2014). A través de unos comandos de programación relativamente simples, se obtienen resultados compatibles con la plataforma cartográfica empleada (ARCGIS). Este software es entonces didáctico, eficiente y simple de usar, razón por la cual se empleó frente a otros programas y plataformas existentes. Ahora bien, en cuanto a la relación de variables que representan el clima, las formas y coberturas urbanas, se puede decir que se realizó a través de un proceso de correlación, el cual indica el comportamiento de una variable en relación al comportamiento de otras. Este análisis es de gran importancia porque se puede usar el valor de una variable para predecir el valor de otra.

En estadística el coeficiente de correlación es una evaluación cuantitativa que mide tanto la dirección como la fuerza de esa tendencia de variar juntas. En este análisis, existen diferentes tipos de correlación que se pueden emplear para diferentes tipos de datos, sin embargo en

esta investigación se usa el tipo de correlación más común, y bajo el cual ya se han analizado múltiples áreas urbanas alrededor del mundo (Cai et al., 2018), (Xinyu & Junyan, 2018), (Wardana, 2015) y es el coeficiente de correlación de Pearson (Frost, sf).

A continuación se presenta el análisis de correlación, en donde se establece la interacción que ocurre entre el confort térmico urbano (Ind_{Conf}) y la temperatura aproximada para 2019 (T_{2019LR}) y las diferentes variables que definen las formas urbanas tanto edificadas como naturales. A partir de las que se generaron una serie de gráficos que contienen el coeficiente de correlación (Corr), el cual si tiene signo negativo, señala que la dirección de la relación es inversa, es decir que cuando el valor de una variable aumenta el otro tiende a disminuir. Por su parte si el signo es positivo, indica que si una variable aumenta la otra también lo hace, es decir que se hablaría de una relación directa.

Un índice de correlación (Corr) igual a (1) o a (-1) , representa una correlación perfectamente lineal, donde un cambio en una variable indica un cambio perfectamente consistente en la otra. Mientras que los valores de (0) señalan que no existe relación alguna entre variables. A medida que el valor se acerca más a 1 o -1, la fuerza de relación aumenta y los puntos de datos tienden a caer más cerca de una línea. Adicionalmente y para efectos de la presente investigación se define que cuando la magnitud del índice de correlación, es inferior a 0.25 se entiende como una correlación muy débil, entre 0.25 y 0.5 es moderada, entre 0.5 y 0.75 es algo fuerte y mayor a 0.75 es fuerte.

Otro de los elementos que se observan en cada uno de los gráficos generados son la línea de color negro que representa la distribución de las variables y los dispersiogramas de la parte inferior, los cuales funcionan como una nube de puntos, donde cada punto es uno de los barrios que representa el comportamiento de las variables de acuerdo al ámbito perteneciente. Igualmente se observa una línea de ajuste de color azul que indica la tendencia de ese comportamiento de las variables analizadas.

Es de resaltar además que las variables con las cuales se realizaron las correlaciones en el caso de las ZCL y las FU son aquellas que tienen valores diferentes de cero, pues un valor de estos indica que en ese barrio dichas formas no hacen presencia frente a otras que sí. Lo cual termina alterando la fuerza de la correlación final. El software R, igualmente permitió correlacionar aquellas variables que tuvieran la cantidad suficiente de datos, como para establecer un corr, de modo que aquellas ZCL con apenas dos o tres datos, no fueron tenidos en cuenta para obtener la correlación.

Adicionalmente se debe considerar que las magnitudes de análisis de las gráficas del índice de confort, son inversas a las de la temperatura, pues teóricamente cuando la magnitud de la

temperatura es más alta, señala temperaturas más cálidas, mientras que si es más baja señala temperaturas más frías. En el caso del índice de confort, se entiende que cuando el valor es más bajo se asocia más a las sensaciones cálidas, mientras que si es más alto, se asocia más a las frías. Esto ocurre dada la definición que el IDEAM originalmente otorgó cuando estableció dicha metodología de determinación del índice de confort térmico para Colombia.

4.2.1 CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE CONFORT, TEMPERATURA Y ZCL

Las ZCL al interior de la presente investigación actúan como variables que permiten entender si los aspectos de la forma urbana del área de estudio influyen en los diferentes comportamientos climáticos que se pueden presentar. Dado que cada microclima urbano, presenta factores meteorológicos específicos que modifican el índice de confort térmico calculado. Por tal motivo en el presente apartado se relacionan las ZCL frente al índice de confort térmico y la temperatura, dado que estas dos variables están íntimamente relacionadas en la definición del IC.

De acuerdo con la gráfica 4.21 y en relación al índice de confort, se puede decir que las correlaciones en la zona de río, a escala general son de tipo débil y muy débil. A pesar de eso se destaca la ZCL grande de baja Altura (LBA), por representar la correlación de mayor valor al interior de este ámbito urbano. El gráfico de puntos de esta ZCL (columna 5, fila 7), revela como la mayoría de barrios tienen extensiones inferiores a las 20 [ha]; Donde a medida que se tiene mayor extensión, los barrios tienden a disminuir su índice de confort, arrojando una línea descendente, que refleja una correlación de orientación negativa.

Frente a la temperatura (columna 5, fila 6) se observa que los barrios con extensiones inferiores a las 10 [ha] presentan temperaturas que van desde los 23 hasta los 29 °C. Mientras que entre mayor extensión de LBA se presenta, existe una aparente tendencia a aumentar la temperatura. Los barrios mayores a 10 [ha] en este caso, tienden a dispersarse mucho más alrededor de la línea de ajuste, influyendo en la disminución de la magnitud. Igualmente se identifican barrios como El Perpetuo Socorro y Guayaquil con extensiones alrededor de las 50 [ha], los cuales influyen significativamente en la orientación positiva de dicha correlación.

La segunda ZCL de mayor valor frente al índice de confort en este ámbito de la ciudad, fue la de árboles dispersos (AD), la cual obtuvo un corr de -0.263, que señala en su gráfica (columna 2, fila 7) que los barrios en general poseen extensiones inferiores a las 10 [ha]. Se observa que los barrios con mayores extensiones de AD, tienden a disminuir levemente su IC, así como establecen mayor relación con el comportamiento de ajuste de la gráfica. Respecto a la temperatura, esta ZCL (columna 2, fila 6), refleja que los barrios con extensiones menores

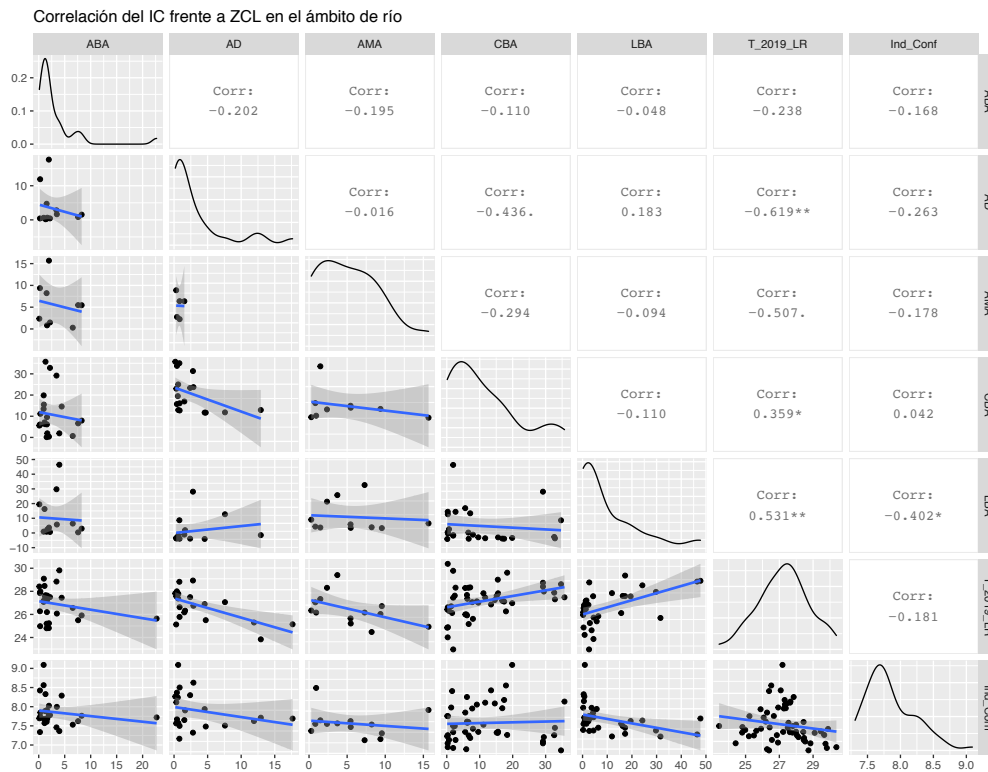


Figura 4.21: Diagrama de correlación entre IC, temperatura y ZCL (ámbito río).
Fuente: elaboración propia.

a 10 [ha] tienen temperaturas entre los 24 y 29°C, mientras que los que superan las 10 [ha], tienden a disminuir su temperatura. Barrios que, aunque son pocos, orientan la correlación hacia una dirección negativa.

Al interior de la zona de ladera urbana se puede decir que la variable de mayor representatividad frente al índice de confort es la forma abierta de gran altura (AAA) (columna 2, fila 10), la cual refleja que los barrios en general poseen extensiones inferiores a las 10 [ha], con índices de confort menores que aquellos barrios que superan las 10 [ha] de cobertura. Se puede decir que, aunque los barrios que superan las 10 [ha] son muy pocos, influyen significativamente en la en dirección que toma la correlación.

Igualmente se observa puntos que no logran ajustarse al comportamiento promedio de los demás barrios, con comportamientos aislados de la línea de ajuste planteada. Entre ellos se destacan por ejemplo casos como el del barrio Las Lomas n.1 y n.2, Los Naranjos y Los Balsos n.1.

Frente a la temperatura, esta ZCL (columna 2, fila 9) arroja un corr de -0.655, que indica

un relacionamiento moderado, un poco más fuerte que respecto al valor obtenido frente al índice de confort. En este caso se destaca que los barrios con extensiones menores tienden a tener mayores temperaturas, por ejemplo, los barrios con coberturas menores a 5 [ha], tienen temperaturas aproximadas entre los 26 y 29 °C, en cambio los que tienen coberturas superiores a las 10 [ha] suelen tener temperaturas entre los 23 y 26 °C. En este caso también se ven algunos barrios como Calasanz parte alta, Altamira, Altavista, Los Naranjos, Castilla, entre otros, los cuales, aunque tienen coberturas menores a las 10 [ha], presentan temperaturas alrededor de los 25°C. En general se puede decir que todos los barrios del ámbito de ladera urbana, con extensiones de AAA inferiores a 15 [ha] y temperaturas menores a los 25 °C, se relacionaron menos frente al comportamiento ajustado de la gráfica. Al interior de esta ZCL se identifica también un barrio conocido como La Florida, con una cobertura mayor a 25 [ha] y temperatura alrededor de los 25°C, el cual evidentemente funciona como dato atípico que esta influenciando altamente en el valor de la magnitud.

La segunda correlación más representativa en ladera, frente al índice de confort fue la de la ZCL grande baja altura (LBA) (columna 8, fila 10), la cual en su gráfico de puntos señala que los barrios en general poseen coberturas por debajo de las 15 [ha], los cuales tienden a presentar mayores índices de confort que aquellos barrios que superan esa extensión. Se resalta igualmente que se presentan tres barrios cuyo comportamiento se diferencia frente a los demás barrios de las mismas características, pues a pesar de tener coberturas menores a 10 [ha], tienen índices de confort altos, esos son por ejemplo el barrio Granizal, La Salle y Doce de Octubre, los cuales contribuyen al incremento de la magnitud de la correlación.

En el gráfico de temperatura (columna 8, fila 9), se observa que los barrios con extensiones inferiores tienden a presentar también temperaturas menores. Por ejemplo, los barrios con extensiones menores a las 10 [ha], en este caso suelen tener temperaturas entre los 24 y 26 °C, sin embargo, barrios como Los Balsos n.1, Alejandría, San German, Castropol, entre otros, presentan temperaturas incluso inferiores a los 24°C. Se evidencia entonces que cuando aumenta la extensión, la temperatura en general tiende a aumentar. Por su parte, aquellos barrios con coberturas menores a las 10 [ha] y con temperaturas superiores a los 24 °C, se correlacionan con la línea de ajuste, así como aquellos barrios con extensiones entre las 20 y 25 [ha] con temperaturas de 25 °C. Frente a la temperatura el barrio Campo Amor, también logra correlacionarse frente a la línea de ajuste, aun cuando es un barrio con un comportamiento diferente frente a los demás barrios.

Al interior del borde urbano se observa una reducción en la cantidad de barrios que logran correlacionarse, arrojando en general índices que tienden a disminuir su valor respecto al ámbito de río y ladera de la ciudad. Por su parte en borde, la ZCL de mayor correlación es la abierta de gran altura (AAA) (columna 2, fila 11), la cual, con un índice de 0.365, refleja

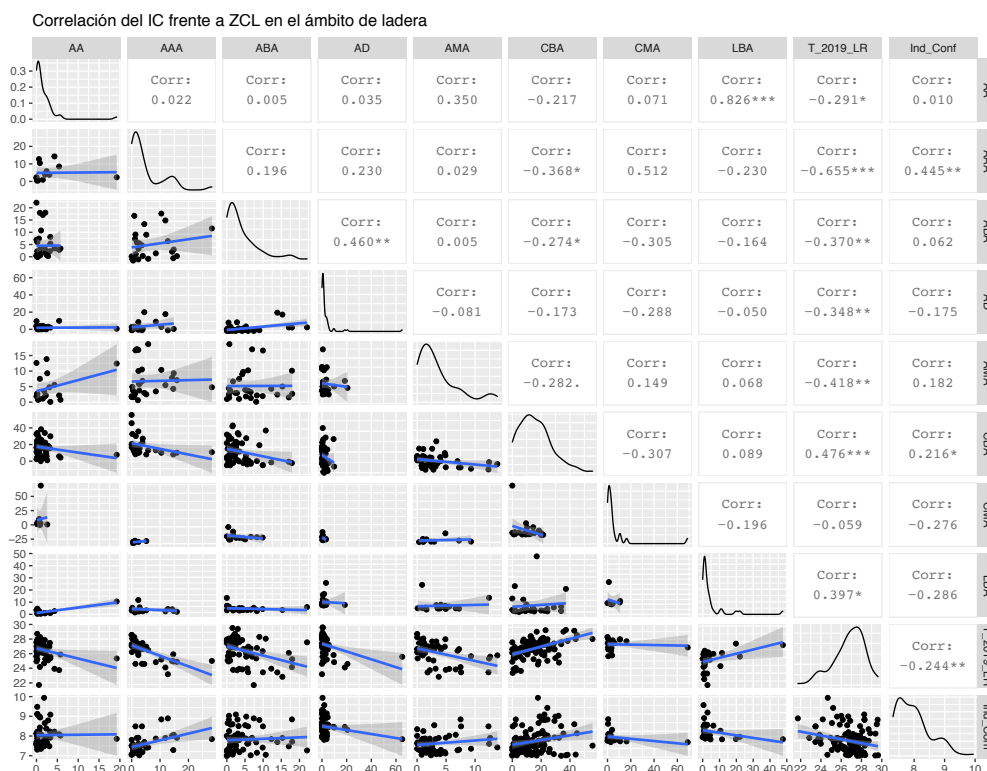


Figura 4.22: Diagrama de correlación entre IC, temperatura y ZCL (ámbito ladera). Fuente: elaboración propia.

que solo trece barrios poseen extensiones de esta tipología, por lo tanto, son esos barrios los que establecieron esa correlación para el ámbito de borde de la ciudad. Sin embargo, se puede observar una tendencia a que entre menor cobertura de (AAA) menor suele ser el IC, de modo que la mayoría de barrios en esta zona presentan coberturas inferiores a las 7.5 [ha]. Se observan así mismo dos barrios (EL Tesoro y San Lucas) que tienen extensiones totalmente diferentes al promedio de cobertura de los demás barrios del ámbito, superando incluso las 10 [ha]. Son estos barrios los que permiten observar una tendencia que a mayor cobertura de (AAA), mayor IC en el borde de la ciudad.

Frente a la temperatura esta ZCL de (AAA) (columna 2, fila 10), obtuvo un corr menor que frente al índice de confort, con un valor de -0.346 que señala igualmente una correlación negativa. Pues los barrios con extensiones inferiores a 7.5 [ha] suelen tener mayores temperaturas, alrededor de las 24 y 27 °C, en comparación a los barrios con coberturas mayores a las 10 [ha] que tienen temperaturas entre los 21 y 24 °C. Se destaca que esos barrios con extensiones menores a las 5 [ha] y temperaturas entre 21 y 22.5 °C, así como que oscilan alrededor de los 27 °C, actúan como barrios que no se correlacionan con el comportamiento de ajuste, por lo

tanto, afectan el valor de correlación en esta zona de la ciudad.

Las demás ZCL se correlacionaron muy débilmente frente al índice de confort, con valores por debajo de los 0.25, con orientaciones en su mayoría negativas, pero positivas para la abierta de mediana altura (AMA), construcciones bajas y de materiales ligeros (BC) y plantas bajas (PB).

Respecto a la temperatura en la zona de borde, se destaca la zona climática abierta de mediana altura (AMA) (columna 5, fila 11), la cual generó el índice de correlación más alto de todo el ámbito, un valor que señala una relación moderada, producto de una serie de barrios que tienen coberturas de (AMA) entre 0 y 6 [ha], una correlación que señala que los barrios con menores extensiones suelen tener mayores temperaturas. Por ejemplo, los barrios con extensiones menores a las 2 [ha] en general tienen temperaturas entre los 22 y 24 °C, mientras que los que tienen coberturas mayores a 3 [ha] tienen temperaturas entre las 20 y 22 °C. Se visualizan barrios entre las 2 y 3 [ha], con temperaturas entre 20 y 21 °C que reflejan datos que no se relacionan con el comportamiento de la línea de ajuste. Sin embargo, los que si se correlacionan conllevan a una clara orientación negativa.

Frente al índice de confort, esta misma ZCL (AMA) difícilmente se define como directa, pues el comportamiento de todos los barrios tiende a ser muy similar entre uno y otro. De ahí una línea de ajuste ascendente tan leve que apenas se puede percibir, pues no se presentaron barrios que direccionarán claramente la correlación en una orientación específica. En ese orden, se observa que los barrios de este ámbito con índices de confort alrededor de 11 son los que mayor logran correlacionarse frente al comportamiento ajustado.

La ZCL de árboles abundantes al interior del borde urbano, también es una de las ZCL que más se correlacionaron frente a la temperatura, con un corr de -0.404, que señala una correlación débil, a causa de una ZCL cuyas extensiones no exceden en general las 5 [ha]. Barrios que presentan temperaturas que pueden ir desde los 24 hasta los 27 °C. con algunas excepciones que reflejan barrios que oscilan alrededor de las 18 y 24 °C. Los barrios con coberturas mayores a las 19 [ha] reflejan en este ámbito un alto relacionamiento frente a la línea de comportamiento ajustado, ubicándose entre los 21 y 23 °C. Un barrio por su parte no se adapta al comportamiento de los demás barrios ubicándose entre las 7.5 y 10 [ha] con temperaturas alrededor de las 21 °C, barrio conocido como La Asomadera n.3, el cual, dados esos comportamientos diferentes, no se ajusta a los demás barrios ni a la línea de ajuste, alterando por su parte la magnitud de la correlación al interior del ámbito urbano.

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que en relación al índice de confort, las ZCL de mayor representatividad general tienden a ser las de formas grandes de baja altura, sobre

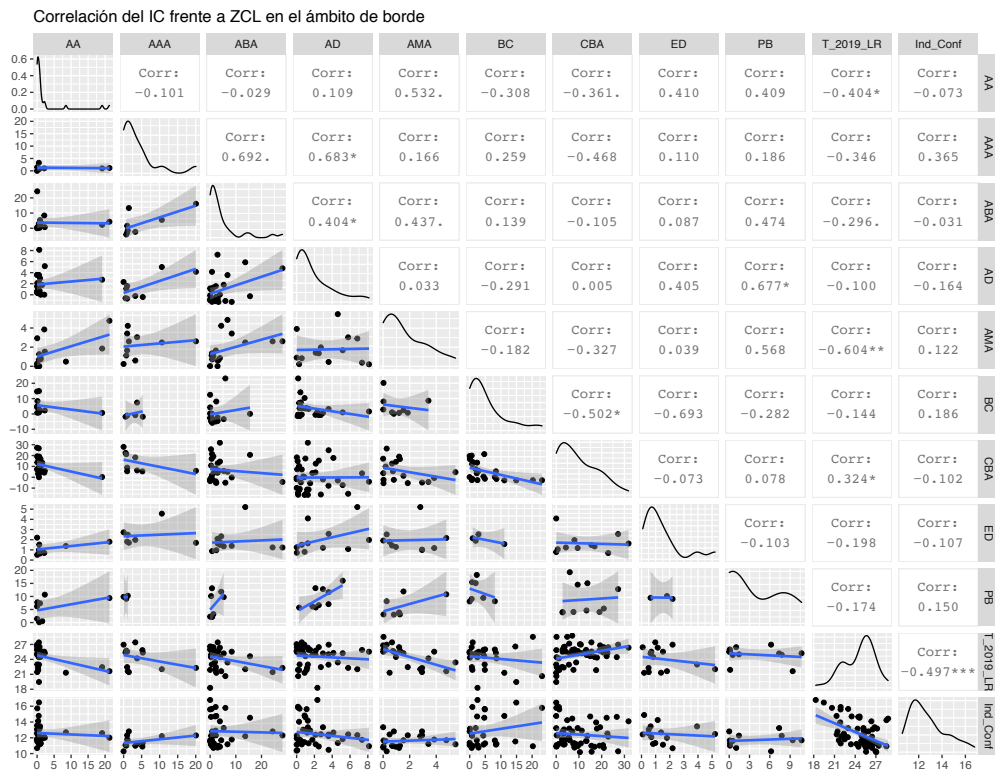


Figura 4.23: Diagrama de correlación entre IC, temperatura y ZCL (ámbito borde).
Fuente: elaboración propia.

todo al interior de río. Y las formas abiertas de gran altura, al interior de ladera y borde. En donde (LBA) tuvo una orientación negativa tanto en río y ladera, pues en borde no se consideró dada la escasa cantidad de datos. Mientras que (AAA) tuvo un comportamiento positivo en ladera y borde urbano.

Por su parte la variable de árboles dispersos, tuvo orientación negativa en todos los casos, con mayor fuerza al interior del río urbano. Variables como (AMA) mostraron orientaciones positivas en ladera y borde pero negativas en río. Igualmente (ABA), arrojó orientación negativa en río y borde pero positiva en ladera. Así como (CBA) se mostró positiva en río y ladera, pero negativa en el borde de la ciudad.

De forma general se puede decir que respecto a la temperatura, las ZCL más representativas fueron las de formas abiertas, sobre todo en ladera y borde. Mientras que en río fue la de árboles dispersos. La zona de formas abiertas de mediana altura y las compactas de baja altura reflejaron orientación negativa en todos los casos. Igualmente las abiertas de baja altura señalaron una orientación negativa el interior de los tres ámbitos de la ciudad.

4.2.2 CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE CONFORT, TEMPERATURA Y FU

Las variables definidas para representar la forma urbana del área de estudio son aquellas que desde los esfuerzos municipales y académicos han sido identificadas como unidades del trazado o de la morfología urbana. En ese orden es como se identifica la extensión que cada unidad morfológica cubre al interior de cada ámbito urbano, llegando a un valor de área de cada unidad. Extensiones que actuaron como referente de las formas típicas trazadas en cada sector, dadas las características que cada una posee.

En cuanto a las unidades morfológicas de la zona de río, se puede decir que la de mayor relacionamiento frente al índice de confort, es la forma de polígonos especializados (columna 1, fila 6), la cual con un índice de -0.468, señala una serie de barrios que en su mayoría tienen coberturas menores a las 5 [ha], los cuales tienden a presentar mayores índices de confort que los barrios que superan las 10 [ha]. De estos barrios, se puede decir además que los que presentan índices de confort por debajo de 7.75, tienden a alejarse de la línea de ajuste, disminuyendo el valor de la correlación. Mientras que aquellos que se posicionan con índices de confort superiores a 8, tampoco se correlacionan con la línea de ajuste, aumentando la magnitud del corr.

Se puede decir que aquellos barrios con más de 10 [ha], a parte de que reducen su índice de confort, tienden a establecer mayor relacionamiento frente a la línea de ajuste. Dando direccionamiento a la correlación, resultando en una orientación negativa.

Por su parte esta misma unidad morfológica de polígonos especializados, establece una correlación frente a la temperatura, un poco más débil que como lo hace frente al índice de confort, generando un corr de 0.283. Esta correlación permite visualizar que los barrios con coberturas menores a las 10 [ha], presentan temperaturas que pueden estar entre los 25 y 29 °C, sin embargo, aquellos alrededor de los 27 °C son los que se relacionan mucho más con la línea de ajuste sugerida. Se puede observar igualmente algunos barrios con áreas inferiores a 10 [ha], pero con temperaturas menores a los 25 °C que conllevan al aumento de la magnitud de la correlación, en comparación a los que superan los 29 °C, pues igualmente se alejan del comportamiento ajustado, conllevando en este caso a una disminución del valor.

Aquellos barrios con más de 20 [ha] de cobertura, tienden en general a aumentar su temperatura, en comparación al promedio de barrios que tienen menos de 10 [ha]. Así mismo se detectan casos de barrios (Colombia, Tenche y Cristo Rey) entre las 10 y 15 [ha], con temperaturas mayores a los 28 °C, los cuales a medida que aumenta la temperatura, se alejan cada vez más de la correlación planteada. Un barrio conocido como Villa Carlota, el cual con una temperatura entre 26 y 27 °C, se aleja de los comportamientos evidenciados en barrios con

condiciones similares de cobertura. Actuando como un dato diferente que conlleva igualmente a la reducción de la correlación.

El trazado barrial, por su parte representa la segunda unidad morfológica de mayor valor al interior del río urbano, la cual con un corr de -0.331 , señala un grupo de barrios con extensiones, generalmente inferiores a las 20 [ha], los cuales reflejan una tendencia a que entre menor es su extensión mayor es el índice de confort. Se observa así mismo que esos barrios con extensiones menores a las 20 [ha], cuando presentan índices de correlación entre 7.75 y 8.25 suelen relacionarse mucho más frente a la línea de ajuste planteada por la gráfica. Mientras que los barrios con IC menores a 7.75 se alejan aumentando la magnitud de la correlación, pues direccionan la correlación hacia una dirección inversa. Por su parte aquellos barrios con índices de confort superiores a 8.25 señalan que se alejan direccionando el relacionamiento hacia una dirección descendente. Los barrios que exceden esas 20 [ha], aunque son pocos permiten observar la tendencia a disminuir el índice de confort urbano.

Frente a la temperatura el trazado barrial presenta una correlación de 0.507 que indica una mayor correlación frente a la temperatura que al mismo índice de confort. En este caso los barrios entre 0 y 5 [ha] presentan en su mayoría temperaturas inferiores en comparación a aquellos barrios con mayores extensiones. Se puede evidenciar que los barrios que presentan temperaturas inferiores a los 26°C , suelen alejarse mucho más de la línea de ajuste, respecto a los que están entre los 26°C y 28°C , que finalmente se acercan más al comportamiento de ajuste planteado, influenciando hacia una dirección de correlación positiva. Algunos barrios con extensiones menores a las 20 [ha] presentan temperaturas mayores a 28°C , los cuales actúan como datos que se alejan del comportamiento sugerido, influenciando por supuesto en la magnitud y fuerza de la correlación.

La ZCL que obtiene mayor representatividad frente a la temperatura durante la correlación, es la conocida como polígonos residenciales, la cual generó un índice de -0.547 , que refleja una correlación moderada mucho más fuerte que la que esta misma ZCL obtuvo frente al índice de confort. En esta gráfica donde se relaciona la temperatura frente a los polígonos residenciales, se observa que la cantidad de barrios que contienen este tipo de trazado al interior de río, es mucho menor respecto a las demás correlaciones generadas. Sin embargo, la reducción de la cantidad de datos pudo haber influenciado en una correlación de mayor valor respecto a las otras correlaciones obtenidas. Debido a que en este caso la correlación se basa en el análisis de datos de esos 21 barrios presentes, en donde se observa que solo algunos de ellos lograron ajustarse al comportamiento planteado. En este ámbito la mayoría de los barrios, poseen áreas inferiores a las 2 [ha], de los cuales aquellos con temperaturas menores a los 27°C , suelen alejarse más del comportamiento sugerido, influenciando la gráfica hacia una dirección positiva. Aun así, los barrios con temperaturas mayores a las 27°C , al igual que los barrios

de más 2 [ha], con temperaturas menores a las 26°C, conllevan a una orientación negativa de la correlación.

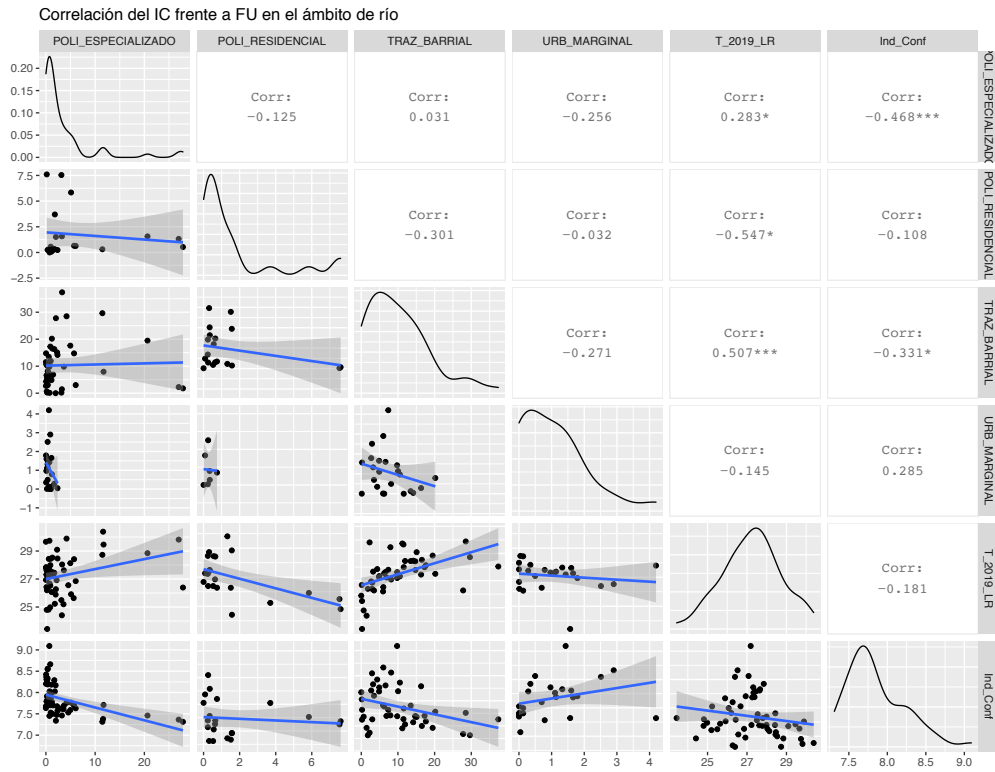


Figura 4.24: Diagrama de correlación entre IC, temperatura y FU (ámbito río).

Fuente: elaboración propia.

Al interior del ámbito de ladera urbana, se puede evidenciar que la unidad morfológica que mayor representatividad tiene frente al índice de confort, es la urbanización marginal, la cual obtuvo un corr de 0.444, señalando un grupo de barrios (columna 5, fila 7) que notoriamente tienen áreas menores a las 5 [ha]. Barrios que también tienden a presentar menores valores de índice de confort, y con ello mayor asociación al calor urbano. Se observan barrios que entre las 2.5 y 5 [ha], presentan índices de confort entre 9 y 10, los cuales se asocian más al frío que el resto de barrios con las mismas condiciones de cobertura urbana. Actuando como datos que tratan de aplanar la línea de ajuste, reduciendo el valor de la correlación.

El barrio conocido como Popular, es el único con mayor extensión urbanización marginal al interior de la ladera urbana, el cual alcanza valores de índice de confort cercanos a 9, lo cual lo hace el dato más atípico de todos, influenciando totalmente en la dirección de esta correlación. Frente a la temperatura esta unidad morfológica (columna 5, fila 6), presenta que los barrios con extensiones menores a las 5 [ha], tienen diferentes temperaturas, sin embargo, los que

se ubican por debajo de 2.5 [ha] tienden a tener mayores temperaturas que incluso aquellos que superan esas 2.5 [ha]. Un comportamiento muy leve que lleva a un a correlación muy débil de -0.159. Igualmente se identifican datos de comportamiento diferentes como algunos barrios que incluso estando con coberturas menores a las 2.5 [ha], presentaron temperaturas menores a los 24 °C, en comparación a los demás barrios de las mismas condiciones, cuyas temperaturas suelen ser mayores. Aun así, estos datos ejercen una fuerza sobre la correlación, tratando de aplanar la línea, reduciendo su valor.

La unidad morfológica de polígono residencial a escala del ámbito de ladera urbana, obtuvo un índice de correlación frente al índice de confort, de 0.314. siendo uno de los más representativos en esta zona. El cual deja ver (columna 2, fila 7) que los barrios con cobertura de esta unidad morfológica, presentan extensiones incluso mayores a las 10 [ha]. dejando claro la variación de coberturas entre un barrio y otro. Por lo tanto, se ve una gran distribución de puntos a lo largo de todo el gráfico. Aun así, se detecta mayor presencia de barrios con áreas menores a las 2.5 [ha], los cuales si presentan índices de confort entre 7.5 y 8 tienden a relacionarse mucho más con el comportamiento de ajuste. Además, los barrios que se ubican por debajo de 7.5, aunque se van alejando de dicho comportamiento, influyen en el aumento de la magnitud de la correlación, contrario a aquellos que superan el índice de confort de 8, que tratan es de reducir la correlación.

Se observa además barrios con áreas menores a las 5 [ha] que presentan índices de confort incluso por encima de 8.5, es decir barrios con mayores asociaciones al frío, que el resto de barrios con índices de confort menores, pues esos se vinculan más al calor.

En la gráfica se evidencian datos aislados sobre todo en lo barrios que sobre pasan las 2.5 [ha], pues aquellos que tienen índices de confort por debajo de 8 y por encima de 8.5, no se ajustan al comportamiento de los demás barrios, alejándose de la línea de ajuste. A pesar de que muy pocos barrios tienen extensiones superiores a las 7.5 [ha], se podría decir que los barrios mayores a 7.5 y menores a 10 [ha], con índices de confort entre 8 y 8.5, tienden a relacionarse muy bien con el comportamiento de ajuste. Mientras que el barrio que superó esta extensión y obtuvo índices de confort de menor valor y mayor asociación al calor, se alejó completamente de la línea sugerida.

Frente a la temperatura se puede decir que, esta unidad morfológica (columna 2, fila 6) arroja que, entre menor área de extensión, mayor tiende a ser la temperatura. En general los barrios con extensiones menores a las 1.25 [ha] tienen temperaturas mayores a 24°C , mientras que los mayores a 1.25 [ha] tienden a tener temperaturas menores a esos 24°C. Observándose igualmente casos aislados como el de los barrios La Mota y los Balsos n.1, en donde La Mota, influye en la reducción del corr, mientras que Los Balsos n.1, con una temperatura alrededor

de los 21°C y un área de casi 7.5 [ha], conllevan aumentar dicha magnitud.

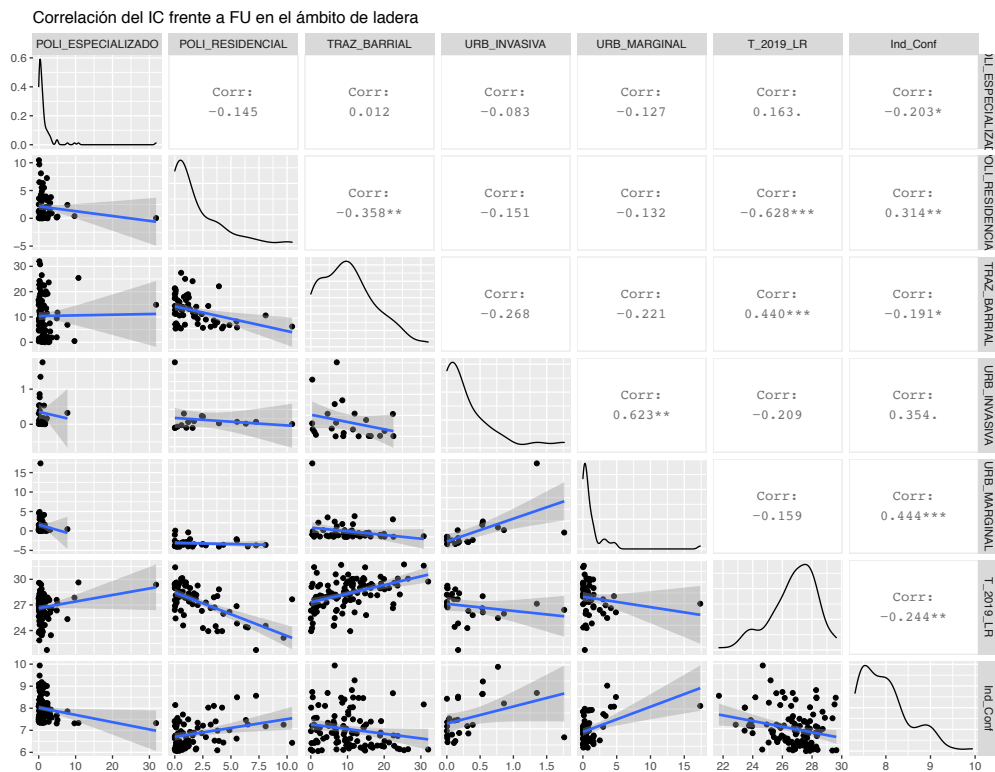


Figura 4.25: Diagrama de correlación entre IC, temperatura y FU (ámbito ladera).

Fuente: elaboración propia.

Frente al ámbito de borde se destaca que la unidad morfológica de mayor correlación frente al índice de confort urbano, es la forma de polígono especializado, la cual con un corr de -0.368, señala (columna 1, fila 6) una relación débil, que se fundamenta en el comportamiento de una serie de barrios que tienden a tener coberturas menores a 2 [ha]. Barrios que entre menor extensión presentan, tienen mayor valor de índice de confort y con ellos mayor asociación a temperaturas frías.

En relación a esos barrios de extensiones menores a 2 [ha] se puede decir, que los que presentan índices de correlación entre 11.25 y 13.75, son los que en general tienden a relacionarse mucho más frente al comportamiento de ajuste planteado por la gráfica. Mientras que los que se asocian a índices de confort inferiores a 11.25 y superiores a 13.75, tienden a alejarse de ella. De modo que los barrios que se ubican por encima de la línea de ajuste influyen en el aumento de la correlación, mientras que los de por debajo influyen en la reducción de la misma.

Los barrios con extensiones superiores a 2 [ha], dejan ver que entre mayor es la cobertura

de esta tipología de polígonos especializados, mayor tiende a ser la asociación con el calor. Además, que tienden a relacionarse con el comportamiento de ajuste. Datos que influyen en significativamente en la orientación de la correlación de esta unidad morfológica.

Frente a la temperatura, esta misma unidad morfológica (columna 1, fila 5), se correlaciona más débilmente en comparación a como lo hizo frente al índice de confort. Con un corr de 0.150, que señala como esos barrios con extensiones menores a 2 [ha], tienden a tener temperaturas inferiores respecto a aquellos barrios de extensiones mayores. Se puede ver que los barrios menores a 2 [ha] con temperaturas menores a 24 °C, tienden a alejarse de la línea de ajuste, tal como lo hacen los barrios con temperaturas mayores a los 25.5 °C. Aquellos barrios con coberturas superiores a 2 [ha], corresponde solo a 3 barrios los cuales a pesar de ser pocos, logran correlacionarse e influenciar significativamente en la correlación.

La segunda variable de mayor correlación frente al índice de confort es la unidad de forma conocida como urbanización invasiva (columna 4, fila 6), la cual generó un corr de 0.284 que refleja que los barrios presentes, tienen diferentes extensiones de esta unidad morfológica. Sin embargo, se puede ver que en general, si tienen coberturas inferiores a las 3.5 [ha], tienden a presentar mayor asociación al calor, es decir, índices de confort de menor valor numérico. Los barrios que presentan IC mayores a 13.75 y menores a 11.25, usualmente tienden a relacionarse mucho menos frente al comportamiento ajustado, influenciando por supuesto en la correlación.

Se observa que el barrio La Cruz y Carpinelo, son de esos que superan las 3.5 [ha], pero con índices de confort mayores a 15, que los asocia mucho más al frío; comportamientos que los excluyen totalmente del promedio de comportamientos de los demás barrios. Por lo cual se ven como puntos aislados que se alejan del comportamiento de ajuste y que igualmente conllevan a aumentar la magnitud.

Respecto a la temperatura (columna 4, fila 5), la unidad morfológica de urbanización invasiva, obtuvo una correlación de -0.389, la cual refleja mayor representatividad frente a la obtenida con el índice de confort. La cual señala que es totalmente independiente el comportamiento de la temperatura frente a la cobertura de esta unidad de forma, pues se evidencian barrios de múltiples extensiones por a lo largo de toda la gráfica. Aun así, se puede detectar que aquellos barrios con coberturas menores a las 2 [ha], tienden a tener en mayor medida temperaturas mayores a los 24°C. Mientras que los barrios que superan las 2 [ha], y tienen temperaturas por encima de 24°C y por debajo de 22.5°C, son los que en este caso tienden a alejarse del comportamiento de ajuste planteado.

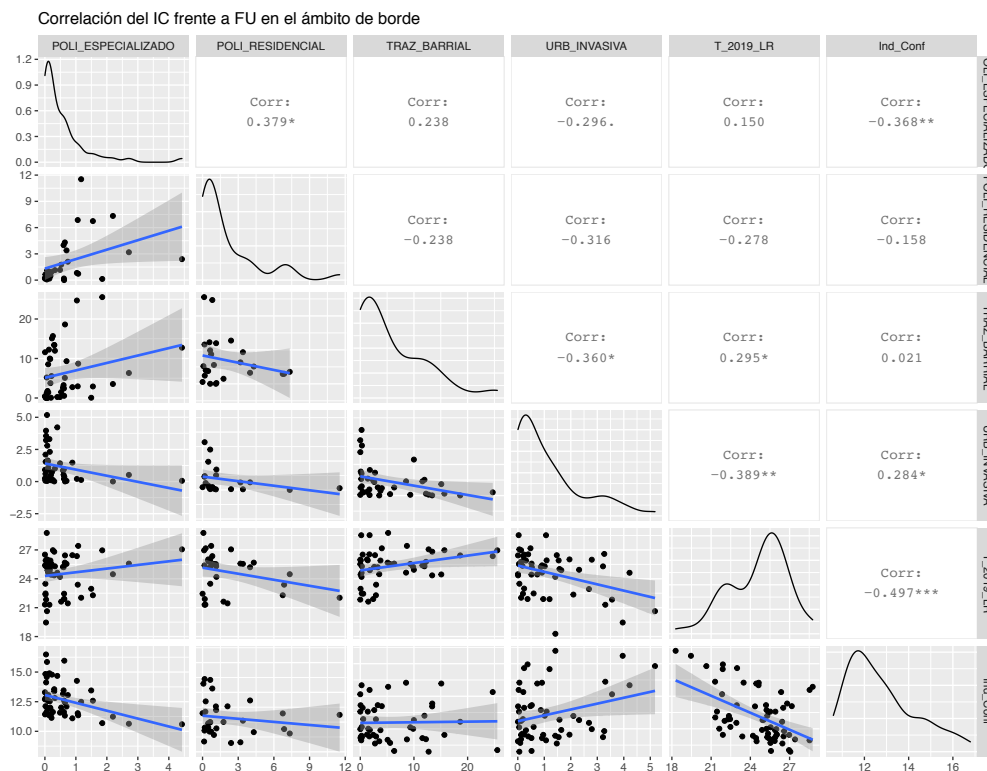


Figura 4.26: Diagrama de correlación entre IC, temperatura y FU (ámbito borde).
Fuente: elaboración propia.

4.2.3 CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE CONFORT, TEMPERATURA E IV

Respecto a la infraestructura verde se puede decir que las correlaciones obtenidas al interior de río en general son de tipo débil, en donde la densidad hídrica fue la que obtuvo el mayor índice de correlación. Con un corr de 0.337, la densidad hídrica (columna 1, fila 5) refleja como los barrios tienden usualmente a presentar densidades inferiores a los 75 $[m/ha]$. barrios que entre menor valor de densidad posea, menor índice de confort presentan. En ese sentido los barrios de menores densidades hídricas, tienden a asociarse mucho más a las sensaciones cálidas que a las frías.

La gráfica deja ver que, aunque los barrios tienen comportamientos muy dispersos, los que tienen densidades hídricas menores a los 75 $[m/ha]$ con índices de confort entre 7.5 y 8 tienden a relacionarse mucho más a la línea de ajuste, que incluso los que presentan índices de confort mayores a 8, pues esos barrios se dispersan mucho más, alejándose por lo general del comportamiento de la correlación. Se puede decir entonces que los barrios con índice de confort inferior a 7.75 influyen en el incremento de la correlación, pues direccionan y

aumentan la magnitud, al igual que aquellos datos que superan las 100 [m/ha], pues fortalecen la orientación del comportamiento.

Frente a la temperatura estos barrios igualmente presentan comportamientos diversos, que reflejan una gráfica de puntos bastante dispersa. En este caso, se puede identificar que entre menor densidad hídrica presente el barrio, mayor tiende a ser la temperatura. Pues aquellos barrios con densidades hídricas menores a los 75 [m/ha] tienen por lo general temperaturas superiores a los 25°C hasta más o menos los 30°C. Mientras que los que superan los 75 [m/ha], oscilan alrededor de 26 y 28 °C.

La densidad de árboles fue la segunda variable de mayor correlación con un corr de -0.273 frente al índice de confort, realmente un valor similar al obtenido por el área de zonas verdes, que correspondió a un corr de -0.222. El gráfico de densidad de árboles permite observar que en la zona de río del área de estudio, todos los barrios tienen densidades menores a 12.5 [un/ha], exceptuando el Cerro Nutibara, el cual llega a una densidad de 22.8 [un/ha]. Los barrios con densidades arbóreas menores a las 12.5 [ha], tienden a tener comportamientos similares respecto a la densidad y al IC, sobre todo aquellos con IC inferiores a 8, barrios que en cierta medida se relacionan con la línea propuesta. Por su parte los que superan el IC de 8 tienden a dispersarse, alejándose más del comportamiento de la correlación; sin embargo, indican en el valor del corr, así como el Cerro Nutibara direcciona en una orientación negativa.

El área de zonas verdes, en los barrios de río, tiende a mantenerse inferior a las 12.5 [ha], pues el cerro El Volador es la única zona que excede dicho valor, alcanzando un área de ZV de 99.9 [ha]. Frente al índice de confort se puede ver que todos los barrios menores a las 12.5 [ha] de ZV, tienen índices de confort que pueden oscilar entre 7.25 y 8.75. Mientras que los que tienen entre 12.5 [ha] y 37.5 [ha] tienen índices de confort entre 7.25 y 7.75. Evidenciándose así, que entre menor área de ZV, mayor tiende a ser el valor del índice de confort. Es decir, mayor asociación tienden a tener los barrios con sensaciones experimentadas frías.

De acuerdo con la temperatura se puede observar que la densidad de árboles generó un gráfico de puntos (columna 2, fila 4) muy disperso que dificulta el resultado de la correlación. Aun así, se observa un grupo de barrios con densidades menores a las 2.5 [uni/ha], con temperaturas entre los 27 y 28°C, que se agrupan fuertemente influenciando en el valor del corr. Entre otros que tienen densidades entre las 2.5 y 12.5 [uni/ha] con temperaturas aproximadas de 26 y 28°C, que de igual forma se relacionan frente al comportamiento sugerido. Demostrando una tendencia a que los barrios de menores densidades de árboles tienen mayores temperaturas, al igual que como se puede observar en el gráfico de áreas de zonas verdes (columna 3, fila 4), el cual deja clara una correlación que a menor área de ZV mayores temperaturas.

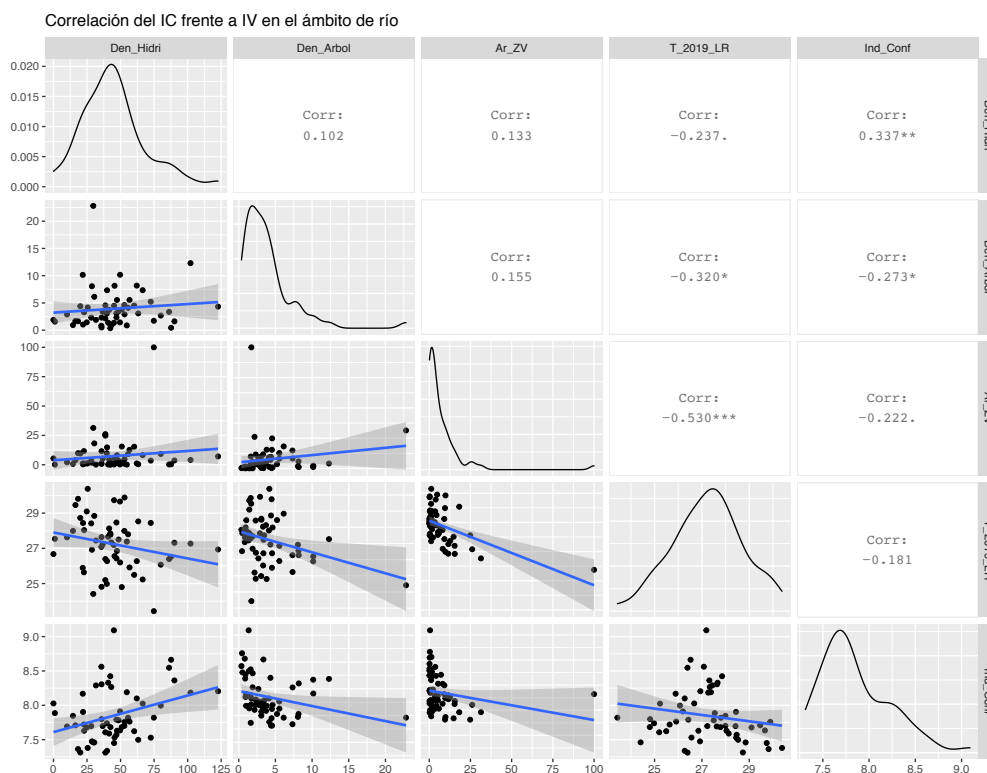


Figura 4.27: Diagrama de correlación entre IC, temperatura e IV (ámbito río).

Fuente: elaboración propia.

En la zona de ladera la densidad hídrica igualmente representa el mayor valor de correlación, respecto a las demás variables de infraestructura verde, la cual, con un corr de 0.243, representa un grupo de barrios con comportamientos diversos, que se reflejan en un gráfico de puntos muy dispersos. Aunque en ladera la correlación es más leve que en río, se identifica una leve tendencia a aumentar el índice de confort a medida que aumenta la densidad hídrica. Es decir que, entre mayor valor de la densidad hídrica, mayor asociación a sensaciones experimentadas frías. Por ejemplo, los barrios con densidades inferiores a las 50 $[m/ha]$ y con índices de confort entre 1.5 y 8, son los que representan mayor relacionamiento frente a la línea de comportamiento sugerido. Mientras que a partir de los 50 $[m/ha]$, casi ningún barrio logra ajustarse al comportamiento de la correlación. Lo cual permite afirmar que los barrios con densidades menores a las 50 $[m/ha]$, son los que establecen el resultado de la correlación obtenida. A pesar de que se presente gran diversidad de comportamientos, que en este caso contribuyen mayormente a la reducción del corr.

Frente a la temperatura se puede decir que no es claro el relacionamiento que se da con la densidad hídrica, pues genera un gráfico mucho más disperso que el del índice de confort, con

un corr mucho más bajo que refleja una correlación muy débil, en donde los pocos barrios que se relacionan con la línea de ajuste son los que se mantienen por debajo de los 75 [m/ha] de densidad y con temperaturas entre los 27 y 28 °C, además de los barrios Santa Rosa, El Pomar y Calasanz parte alta, que funcionan como datos atípicos que orientan totalmente la correlación en una dirección negativa.

La densidad de árboles y el área de zonas verdes, presentan correlaciones todavía más débiles que la anterior, en la cual se evidencia que la mayoría de barrios presentan densidades de árboles menores a 10 [uni/ha] con áreas de zonas verdes menores a las 20 [ha], barrios que generan gráficas muy aplanadas que indican la magnitud débil del corr. Aun así, se puede detectar la leve tendencia a que entre menores densidades de árboles se presenten, menores valores de índices de confort. Pues los barrios que superan las 10 [uni/ha] de árboles, tienen comportamientos muy diferentes entre uno y otro, dejando que casos como el del barrio San Diego, den dirección al comportamiento de la correlación, pues es el único barrio atípico que se relaciona con la línea. Caso similar al del área de zonas verdes, pues señala también una leve tendencia a que entre mayores áreas de ZV, menores IC para cada uno de los barrios. Es decir, un comportamiento opuesto al de río, pues en este caso, la mayor presencia de las ZV conlleva a sensaciones experimentadas más cálidas.

La temperatura deja ver que los barrios del ámbito de ladera con densidades de árboles menores a las 10 [uni/ha], presentan mayores temperaturas en comparación al barrio San Diego que obtuvo casi 30 [uni/ha], con una temperatura de 25.3°C. Pues es este barrio el dato de mayor densidad en todo el ámbito, el cual influyó altamente en la dirección de la correlación. Aquellos barrios con densidades de árboles menores a 10 [uni/ha], presentan temperaturas que van desde los 21°C hasta los 30 °C, sin embargo los que presentan por debajo de los 26°C, tienden a reducir el valor del corr, pues van tratando de aplanar la línea. Por su parte el área de zonas verdes, frente a la temperatura, arroja igualmente una correlación negativa, muy débil, pues la mayoría de barrios tienen comportamientos similares entre ellos, sin embargo, son solo algunos los que se relacionan con el comportamiento de la correlación. En este caso, barrios como El Rodeo y San Diego, presentan temperaturas y áreas de ZV, que se alinean perfectamente al comportamiento planteado, influyendo significativamente en el resultado del corr.

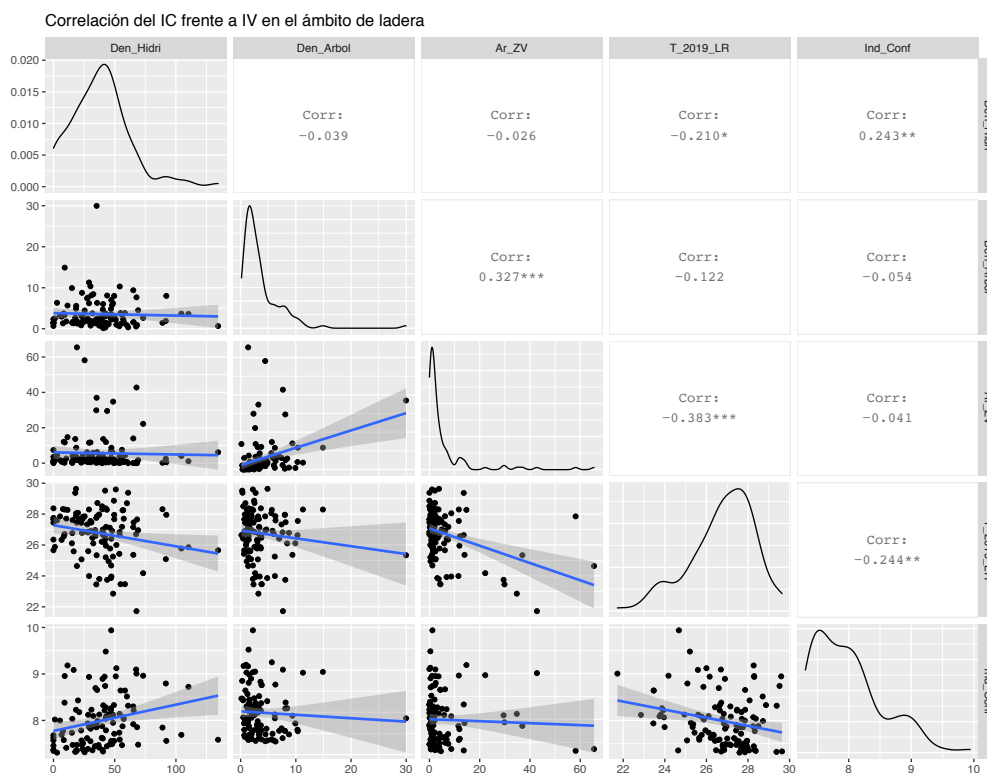


Figura 4.28: Diagrama de correlación entre IC, temperatura e IV (ámbito ladera).

Fuente: elaboración propia.

Al interior de la zona de borde, se generaron correlaciones mucho más débiles de las que se obtuvieron en la ladera, en donde la densidad hídrica obtuvo la mayor representatividad frente al índice de confort. Con un corr de -0.200, refleja un grupo de barrios que presentan densidades hídricas en su mayoría por debajo de los 100 $[m/ha]$ con índices de confort entre 13 y 14. Con la presencia de múltiples valores atípicos que se comportan diferente a los demás barrios, sin embargo, ejercen función sobre el valor de la correlación obtenida. Los barrios que logran vincularse más con la línea de ajuste son aquellos que presentan índices entre 13 y 14, con densidades menores a los 100 $[m/ha]$. Sin embargo, los mayores a 100 $[m/ha]$, con índices alrededor de 12, también logran ejercer una gran relación con el comportamiento sugerido. Influenciando mucho en la dirección negativa resultante.

La densidad de árboles refleja un corr de -0.059 frente al índice de confort, con barrios altamente dispersos, con densidades hídricas que alcanzan hasta casi las 9 $[uni/ha]$. Aun así, es evidente la mayor aglomeración de barrios cuando se presentan densidades inferiores a las 4 $[uni/ha]$ e índices de confort entre 10 y 14; de los cuales los barrios con índices entre 12 y 14 son los que finalmente se relacionan mejor con la corrección. Frente a aquellos barrios

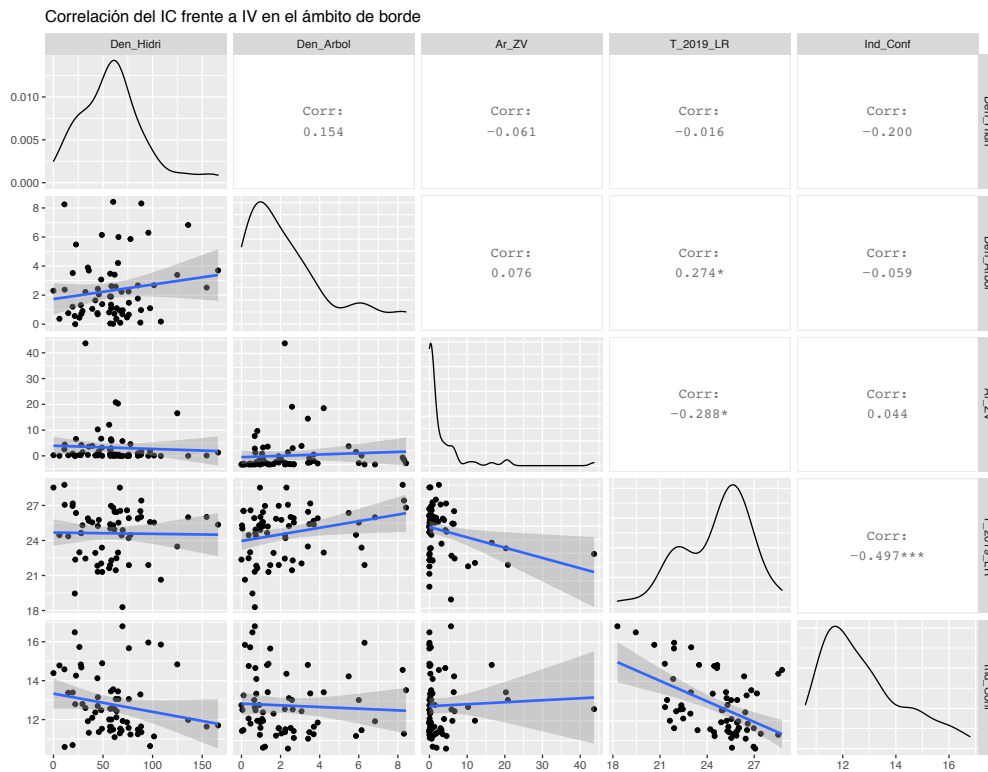


Figura 4.29: Diagrama de correlación entre IC, temperatura e IV (ámbito borde).
Fuente: elaboración propia.

que generaron índices de confort superiores a 14 se puede decir que se alejan mucho más de la línea de ajuste, actuando como datos tienden a incrementar la magnitud. Arrojando que entre mayor densidad de árboles, menor tiende a ser el IC, al interior del borde urbano.

Frente al área de zonas verdes, se observa que los barrios de la zona de borde, tienen áreas de zonas verdes generalmente inferiores a 10 [ha], barrios que a su vez tienen diferentes valores de IC. Sin embargo, algunos ejemplos como el de los barrios La Ladera, Altos del Poblado y Batallón Girardot, superan las 10 [ha] de zonas verdes y se relacionan significativamente frente al comportamiento ajuste, lo cual direcciona y aumenta levemente el valor del corr, resultando en una correlación de 0.044.

Las gráficas de temperaturas señalan igualmente barrios muy dispersos, que respecto a la densidad hídrica indican una correlación de muy baja magnitud. Lo cual generó una línea de comportamiento que señala una leve tendencia a que, entre menor densidad hídrica, mayor temperatura. Una correlación realmente débil, que se acerca más a comportamientos entre variables de tipo nulo. En la densidad de árboles, la temperatura deja ver que entre menor

es el valor de la densidad, mayor tiende a ser la temperatura. Generando un corr más fuerte que incluso el que se genero frente al índice de confort. En este gráfico, evidentemente los barrios con densidades menores a las 4 $[uni/ha]$ son los que mayor se tienden a alinear frente al comportamiento de ajuste, incitando a un aumento de la magnitud. Para finalmente frente a al área de zonas verdes, poder verificar una relación negativa, que permite decir que, en el borde urbano, entre menores áreas de zonas verdes se presentan, menor tiende a ser la temperatura. Sin embargo, es evidente que prácticamente son solo 3 barrios (La Ladera, Altos del Poblado y Batallón Girardot) con áreas mayores a las 20 $[ha]$, los que definen la magnitud y orientación de este corr.

4.2.4 CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE CONFORT, TEMPERATURA E INDICADORES

Los indicadores calculados corresponden a aquellas variables que al interior de esta investigación complementan la labor de análisis de la forma urbana del área de estudio. Los cuales han sido planteados en su mayoría como indicadores de de gran importancia para la sostenibilidad urbana, de ahí su aplicabilidad y función. En este caso son la compacidad absoluta $[C_{Abs}]$, el área de ocupación $[Ar_{Ocu}]$, el área de construcción $[Ar_{Con}]$, el volumen edificado $[Vo_{Edif}]$ y el área de vías $[Ar_{Via}]$, los indicadores que, de acuerdo a su índice de correlación son numéricamente representativos frente a variables como el índice de confort $[Ind_{Conf}]$ y la temperatura $[T_{2019LR}]$.

Considerando los indicadores calculados en cada uno de los barrios presentes al interior del ámbito río, se puede decir que el que mayor representatividad tuvo frente al índice de confort, fue el de área de vías (columna 7, fila 9), el cual con un corr de -0.404, señala un grupo de barrios que en general tienden a relacionarse con el comportamiento ajustado. Los barrios del ámbito de río, generalmente presentan áreas de vías menores a las 20 $[ha]$, con índices de confort que tienden a estar por debajo de 8.5. De esos barrios, los que poseen índices entre 7.5 y 8.25, logran ajustarse mucho más a la correlación planteada. Mientras que los demás barrios (índice de confort inferiores a 7.5 y mayores a 8.25), tienden a alejarse de la línea, influenciando en la dirección y valor de la correlación. Aquellos barrios que superan las 20 $[ha]$, tienden al igual que la mayoría de barrios a disminuir el índice de confort, sin embargo, tienden a mantener comportamientos y condiciones similares, que hace que se ajusten al comportamiento planteado.

Se observa que existen barrios alrededor de las 10 $[ha]$ de cobertura, que presentan índices de confort alrededor de 9, valores realmente altos, que se asocian más a las sensaciones cálidas que

a las frías. Estos barrios que experimentan dichos comportamientos, igualmente pronuncian mucho más la línea, aumentando el valor del corr. Se puede decir entonces, que en la zona del río urbano, los barrios con menores áreas de vías tienden a tener mayores valores de índice de confort, es decir, índices de confort mayormente vinculados a climas más fríos y frescos.

Respecto a la temperatura (columna 7, fila 8), el área de vías obtuvo una correlación débil, que señala que todos los barrios de la zona de río con extensiones menores a las 20 [ha], suelen tener diversas temperaturas, pues no es claro un patrón específico entre la extensión y la magnitud de la temperatura. Evidenciándose un gráfico de puntos muy dispersos, que sin embargo arroja una línea de comportamiento ajustado, con orientación positiva. Se puede decir, además, que los barrios con áreas de vías mayores a las 20 [ha], tienden a tener temperaturas mayores a los 26.25°C, entre los cuales se observan 2 barrios entre las 20 y 30 [ha] de vías, con temperaturas entre los 28 y 30 °C, actúan como barrios que se alejan de la línea de ajuste, influenciando incluso en un aumento de la correlación.

El segundo indicador de mayor representatividad frente al índice de confort, fue el área construida (columna 4, fila 9) y el volumen edificado (columna 5, fila 9), los cuales arrojaron índices de -0.372. Respecto al área construida se puede evidenciar que en la zona de río, tiende a haber una mayor cantidad de barrios con áreas por debajo de las 50 [ha], barrios que a su vez presentan índices de confort superiores a 7 e inferiores a 8.75. Barrios que dado el comportamiento de sus datos contribuyen más a la reducción del corr. Por su parte, aquellos barrios que tienen áreas construidas mayores a las 50 [ha], son las que están aumentando significativamente el valor de la correlación.

Se puede decir que el barrio Villa del Socorro, es uno de los que tiene un comportamiento atípico al interior del grupo de barrios, pues aun estando por debajo de las 50 [ha], alcanza un índice de confort superior a 9, haciéndolo aumentar el valor de la relación. Igualmente, el barrio La Candelaria, al ser un dato atípico influye significativamente en la correlación, en este caso es el barrio con mayor área de construcción de todo el ámbito, al cual tiene índice de confort alrededor de 7.5, logrando con esto acentuar la dirección negativa de la gráfica.

El volumen edificado por su parte, permite interpretar que los barrios con menor volumen edificado, tienen los mayores índices de confort de la ciudad. Interpretación y gráfica que se ajustan totalmente al análisis realizado para el área construida, ya que como se explico previamente, son dos indicadores que están altamente relacionados en su definición.

Frente a la temperatura (columna 5, fila 8), se puede decir que entre menor es el área de construcción, menor tiende a ser la temperatura, resaltando que los barrios con áreas de construcción inferiores a las 50 [ha], presentan temperaturas entre los 23 y 30 °C. Con mayor

concentración de barrios, sobre todo alrededor de los 26 y 28 °C. Barrios que actúan como datos que tienden a aumentar la magnitud de la correlación, sin embargo, dado el poco ajuste que presentan frente al comportamiento sugerido, arrojan una correlación débil de dirección positiva.

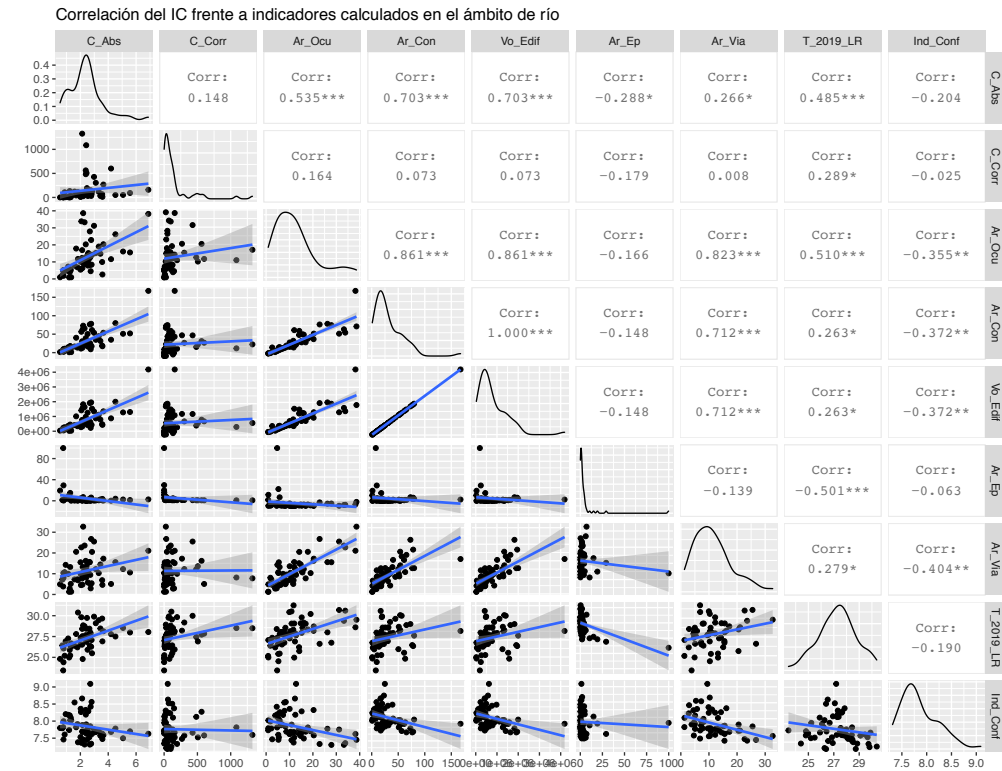


Figura 4.30: Diagrama de correlación entre IC, temperatura e indicadores (ámbito río).
Fuente: elaboración propia.

En ladera se puede observar a simple vista, gráficos de correlación con líneas de ajuste muy aplanadas, y nubes de puntos poco relacionadas con las líneas de ajuste sugeridas, lo cual refleja correlaciones de valores más débiles que incluso los que se obtuvieron en río. En este ámbito la correlación del índice de confort frente de la compacidad corregida, fue la que obtuvo el valor numérico más representativo. Con un corr de -0.074, que indica un relacionamiento muy débil, se puede decir que en la zona de ladera urbana existen barrios que presentan en general compacidades corregidas inferiores a los 1000 metros, los cuales presentan a su vez índices de confort que van desde 7 hasta 10. Evidenciando la ausencia de un patrón que permita relacionar la compacidad corregida frente al índice de confort. Referente a aquellos barrios con compacidades corregidas superiores a los 1000 [m], se puede decir que tampoco dejan claro un comportamiento. Sin embargo, el barrio El Rodeo, al tener una compacidad corregida superior a los 4000 [m], actúa como un dato atípico que direcciona totalmente la

correlación hacia una tendencia negativa.

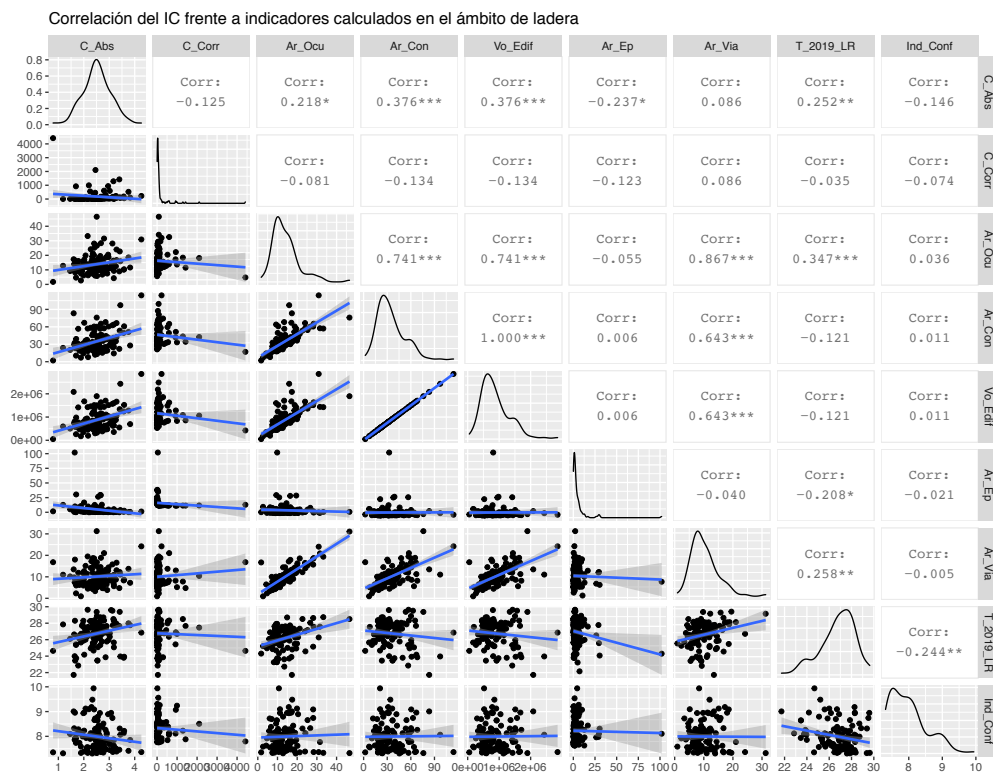


Figura 4.31: Diagrama de correlación entre IC, temperatura e indicadores (ámbito ladera).

Fuente: elaboración propia.

En relación a la temperatura (columna 2, fila 9), la compacidad corregida, obtuvo un índice todavía más débil que el obtuvo frente al índice de confort, con un corr de -0.035 que indica como los barrios con compacidades corregidas menores a los 1000 m, tienden a tener mayores temperaturas. Datos que en este caso no logran aumentar la correlación dada la diversidad de comportamientos que presentan. El barrio más atípico (El Rodeo), en este caso también tiende a direccionar la correlación pues con una temperatura de 24.6 °C, orienta levemente hacia una dirección negativa.

Adicionalmente se puede destacar la correlación que se obtuvo entre el área de ocupación (columna 3, fila 8) y la temperatura, la cual es la más alta obtenida al interior de todo el ámbito. Con un corr de 0.347, esta correlación señala que los barrios de ladera, tienen áreas de cobertura diversas, sin embargo, hay una gran mayoría, justo por debajo de las 20 [ha]. Todos estos estos barrios señalan una gráfica muy dispersa, que hace que se intuir una correlación débil. En general los barrios tienden a tener menores temperaturas cuando los barrios presentan menores áreas de ocupación, reflejando una orientación negativa. Aun así,

hay barrios con comportamientos que por ejemplo aun teniendo áreas menores a las 20 [ha], presentan temperaturas inferiores a los 22 °C, un ejemplo de esto es el del barrio Los Balsos n.1. Los barrios que exceden las 20 [ha] y que presentan temperaturas entre los 27 y 28°C, son los que más se tienden a relacionar frente a la línea de ajuste, que aquellos que exceden los 28°C o están por debajo de los 27°C, los cuales influyen altamente en la reducción de la magnitud. El barrio Campo Amor, igualmente actúa como dato atípico, pues tiene el área ocupada más grande de todo el ámbito, con una temperatura aproximada de 29°C, que la lleva a una relación frente al comportamiento ajustado, dando dirección positiva al corr.

Al interior del ámbito de borde urbano se identifica que los indicadores que mayor correlación tuvieron frente al índice de confort, fueron el área de construcción y el volumen edificado, los cuales con un corr de -0.275, indican que los barrios de la zona de borde cuando presentan menor área de construcción y volumen edificado, usualmente tienen mayor índice de confort. Es decir, tienen valores de IC más altos que se asocian más a las sensaciones frías. Se puede evidenciar que la mayoría de barrios con áreas de construcción menores a las 50 [ha] y con volúmenes edificados menores a un millón de m³, que tienden a tener índices de confort inferiores a 14, sin embargo los que exceden este valor presentan comportamientos más diversos y marcados frente al incremento del IC en relación al área construida y al volumen, valores que finalmente direccionan la correlación en un sentido negativo, gracias también a datos como el del barrio El Tesoro y San Lucas, que por tener un área tan diferente influyen altamente en la dirección y magnitud.

En relación a la temperatura, se observa que los barrios con áreas de construcción menores a las 50 [ha] y volúmenes menores a 1.500.000 [m³], tienden muy levemente a tener menores temperaturas. En su mayoría, los barrios del ámbito de borde tienen temperaturas entre 24 y 27°C, con otros barrios que, aunque no son mayoría, inciden altamente en el incremento de la magnitud de la correlación, pues al tener temperaturas menores a los 24°C, dirigen la línea de ajuste. Los casos aislados, en este caso son esos barrios cuyas áreas construidas están por encima de las 25 [ha] o cuyos volúmenes edificados son superiores a los 500.000 [m³], que a su vez presentan temperaturas entre los 21 y 24°C, datos que se alejan totalmente del comportamiento de la correlación.

A nivel general, las correlaciones son bastante bajas, aun así, se destaca a la compacidad absoluta por ser el segundo indicador de mayor magnitud de corr frente al índice de confort y el primero frente a la temperatura. Este indicador con un corr de -0.266, indica un grupo de barrios con comportamientos muy definidos, que entre la magnitud de la compacidad y la del índice de confort. En este caso se evidencia (columna 1, fila 9) que la mayoría de barrios presentan una gran variedad de compacidades, sin embargo, más pronunciadas entre 1 y 2 metros. Barrios que a su vez tienen índices de confort inferiores a 14, y que se tienden a rela-

cionar mucho más frente al comportamiento propuesto, en comparación a aquellos barrios que presentan índices mayores a 14, pues esos barrios actúan como datos que se alejan de la línea de comportamiento ajustado, tratando de aumentar mucho más la magnitud. Específicamente se puede observar que en la zona de borde entre mayor sea la compacidad absoluta, menor tiende a ser el índice de confort, es decir, índices cuyos valores representan más sensaciones cálidas que frías.

Frente a la temperatura, la compacidad absoluta obtuvo una correlación más fuerte en comparación a la del índice de confort, en este caso con un corr de 0.570, señala que los barrios se relacionan mucho más frente a la línea de comportamiento de la correlación, en comparación a los demás indicadores. Se observa que, entre mayor compacidad absoluta, mayor temperatura tienen los barrios, pues aquellos que tienen más de 1.5 m de compacidad, alcanzan temperaturas mayores a los 27°C, mientras que los que tienen menos de 1.5 metros de compacidad, apenas llegan a este valor de temperatura, incluso con algunos barrios con temperaturas menores a los 21 °C.

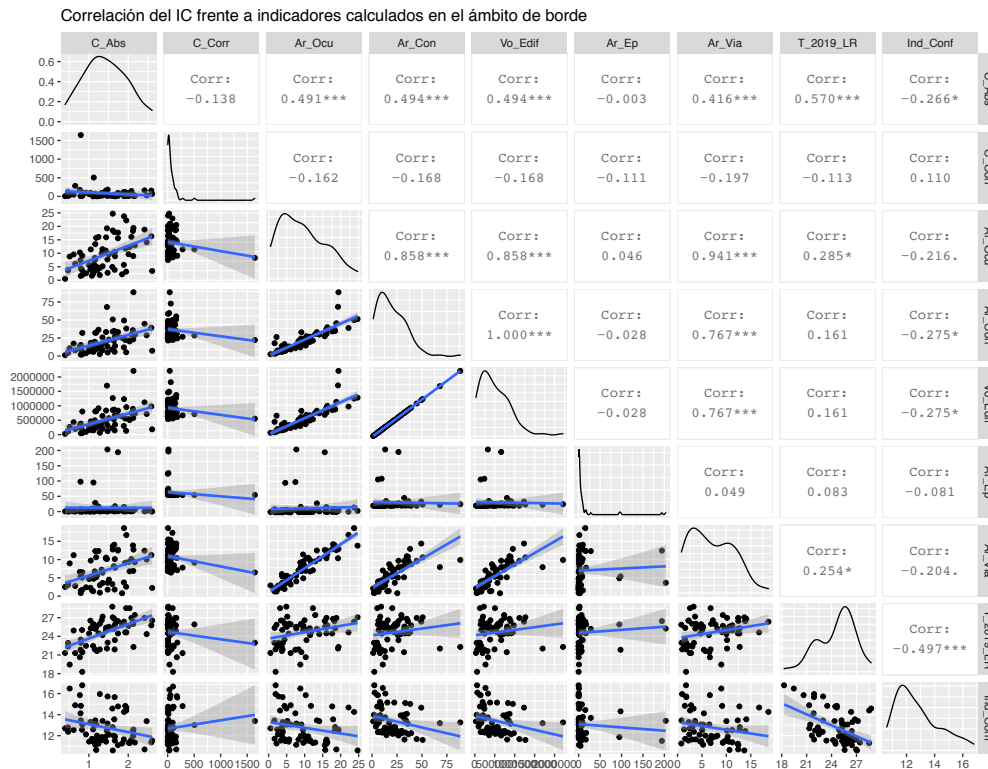


Figura 4.32: Diagrama de correlación entre IC, temperatura e indicadores (ámbito borde).

Fuente: elaboración propia.

4.2.5 CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DE IV Y FU

En esta sección se realiza un ejercicio de correlación de las variables de forma urbana, entre ellas las zonas climáticas locales (ZCL) y las unidades morfológicas, frente a las variables de infraestructura verde (IV). Esto con el fin de observar las formas urbanas que mayor vinculo han creado frente al componente natural.

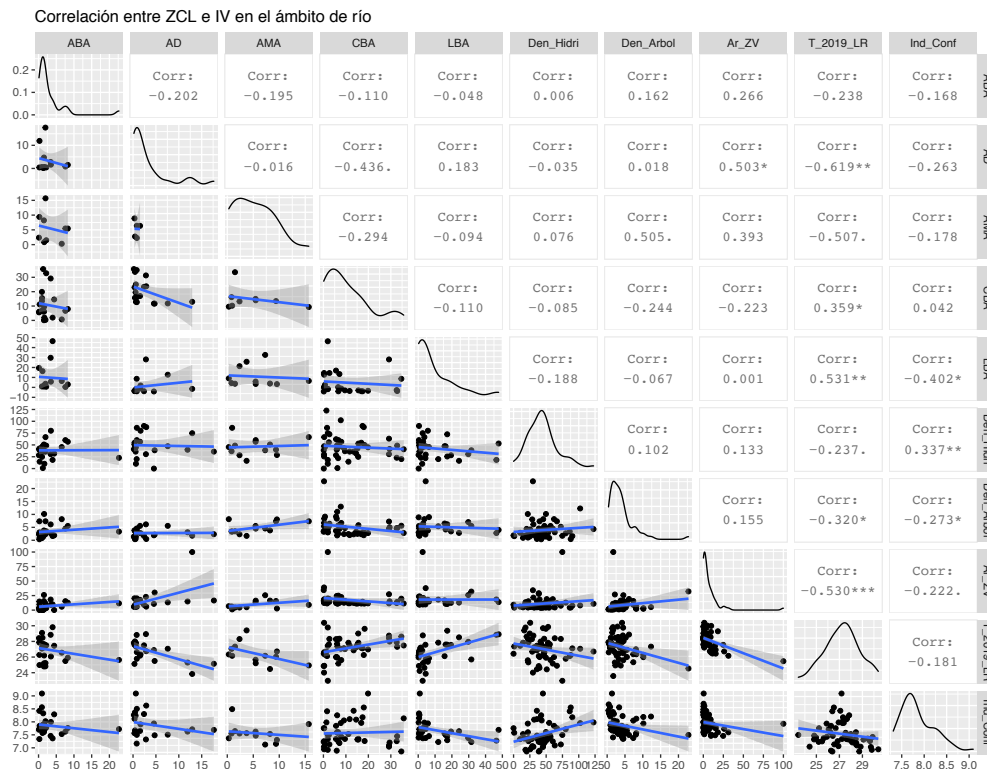


Figura 4.33: Diagrama de correlación entre ZCL e IV (ámbito río).

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al relacionamiento de las variables de las ZCL, frente a los indicadores de infraestructura verde, se puede observar que a nivel general las relaciones son de tipo débil y muy débil. Sin embargo, se destaca la correlación que se da entre las formas abiertas de mediana altura (AMA) y la densidad de árboles, pues con un corr de 0.505, es el índice de correlación mas alto frente a las variables de IV en este ámbito de la ciudad. Un relacionamiento que indica como la mayoría de barrios de AMA tienen áreas inferiores a 10 [ha], con densidades de árboles inferior a las 10 [un/ha], los cuales tienden a relacionarse con la línea de comportamiento ajustado, bajo una correlación aparentemente moderada, de orientación positiva, que señala una tendencia a que entre menor extensión de (AMA), menor es la densidad hídrica.

La segunda zona climática local de río, que se correlaciona representativamente es la de árboles dispersos, la cual obtuvo un corr de 0.503, frente a el área de zonas verdes. Otra correlación moderada, que señala como los barrios en su mayoría tienen extensiones de (AD), menores a las 5 [ha]; barrios que a su vez tienen menores áreas de zonas verdes al interior del ámbito de la ciudad. Son los barrios que no superan las 5 [ha] de (AD), con áreas de zonas verdes alrededor de las 25 [ha], los que mas tienden a relacionarse frente al comportamiento de ajuste, pues los que exceden esta extensión se alejan de la línea, influenciando en la dirección y magnitud del índice.

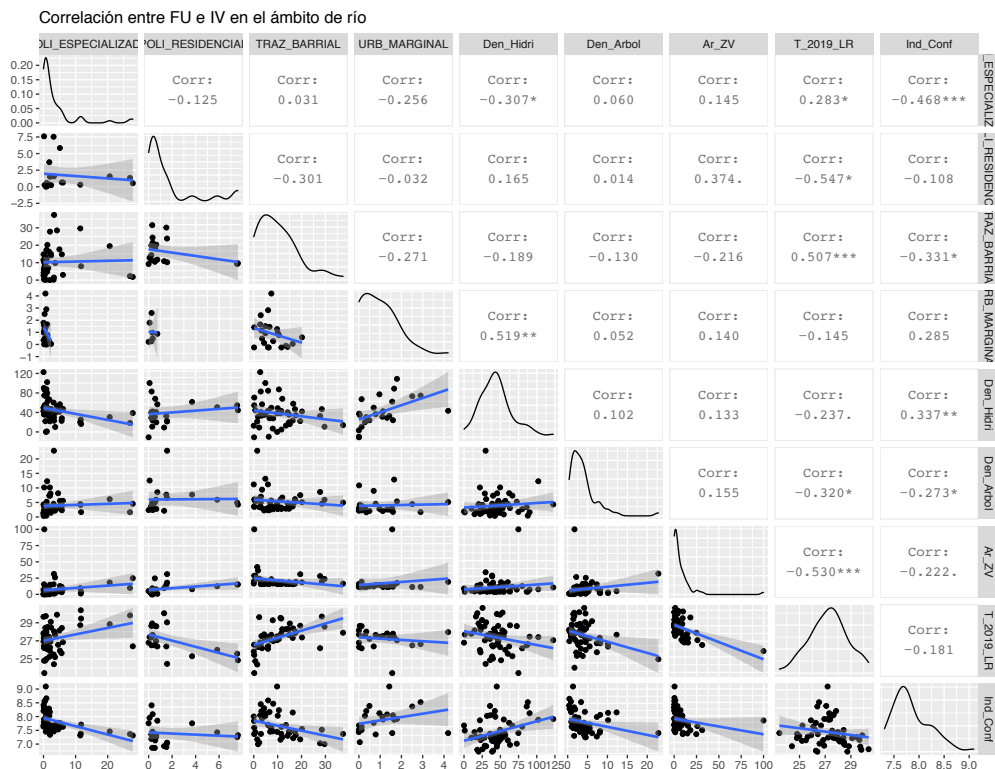


Figura 4.34: Diagrama de correlación entre FU e IV (ámbito río).

Fuente: elaboración propia.

No obstante la ZCL que mayor correlación genera frente al índice de confort es la grande de baja altura (LBA), la cual tiene valores de densidad hídrica, densidad de arboles y área de zonas verdes realmente bajos, que permiten observar una mayor influencia del área edificada bajo las formas (LBA), que de las variables de IV, sobre el mismo índice de confort. Por su parte la forma (ABA), se relaciona mas fuerte frente al área de ZV, que frente a la misma extensión de (ABA). Mientras que (CBA) se observa se relaciona más frente a la densidad de arboles y el área de zonas verdes que con la misma cobertura de su (CBA), en ambos casos

bajo una orientación negativa que señala la tendencia que a mayor cobertura de esta forma menor será el valor de densidad arbórea y de área de zonas verdes.

Por su parte, las unidades morfológicas que en este caso representan las formas del trazado de la ciudad, señalan como en algunas formas se da mayor correlación frente a las variables de infraestructura verde, que en otras. Por ejemplo la morfología de urbanización marginal, señala mayor relación frente a la densidad hídrica que incluso frente al índice de confort. Una relación que generó un corr de 0.519, de orientación positiva, en donde la mayoría de barrios de urbanización marginal tienen coberturas menores a las 2 [ha], con densidades hídricas que usualmente son menores a los 40 [m/ha], que cuando superan esa densidad, tienden a alejarse del comportamiento ajustado.

Otro caso de resaltar es el del polígono residencial, el cual tiene representatividad frente al área de zonas verdes, que con un corr de 0.374, señala una relación de que cuando se presentan menos extensiones de esta forma, se presentan menores extensiones de zonas verdes. Una clara relación de que la presencia del polígono residencial suele estar influye en la presencia y extensión de las zonas verdes de la zona del río urbano.

En ladera, el relacionamiento de la ZCL abierta de baja altura (ABA), arroja una correlación muy débil frente al índice de confort con un corr de 0.062, sin embargo demuestra mayor relación frente a las variables de IV. Por ejemplo frente a la densidad de arboles se observa gran cantidad de puntos que logran relacionarse con el comportamiento de ajuste, barrios con extensiones de hasta 20 [ha] de (ABA), con densidades de arboles de máximo 8.44 [un/ha], con áreas de zonas verdes menores a las 20 [ha] en su mayoría, que llevan a correlaciones débiles y positivas que se traducen en que entre menores coberturas de (ABA), menor área de zonas verdes así como menores densidades arbóreas. La forma de arboles abundates (AA), por su parte se correlaciona mas fuertemente frente a la densidad arbórea, y el área de zonas verdes, pero con muy bajo índice de correlación frente al índice de confort. Lo cual señala un relacionamiento débil, pero bastante representativo en comparación a las demás correlaciones al interior del mismo ámbito.

La forma de árboles dispersos, igualmente señala un correlación bastante débil frente al índice de confort, pero de mayor representatividad y fuerza frente al área de zonas verdes; correlación positiva, que demuestra que entre menores áreas de (AD), menores áreas de zonas verdes. Barrios que en su mayoría tienen áreas de (AD), menores a las 20 [ha], con áreas de zonas verdes inferiores a las 60 [ha], donde los pocos barrios que superan las 45 [ha] de ZV, tienden a alejarse de la línea de ajuste, influenciando en la magnitud y orientación de la correlación.

En este ámbito de la ciudad, se observan correlaciones mucho mas débiles frente a las vari-

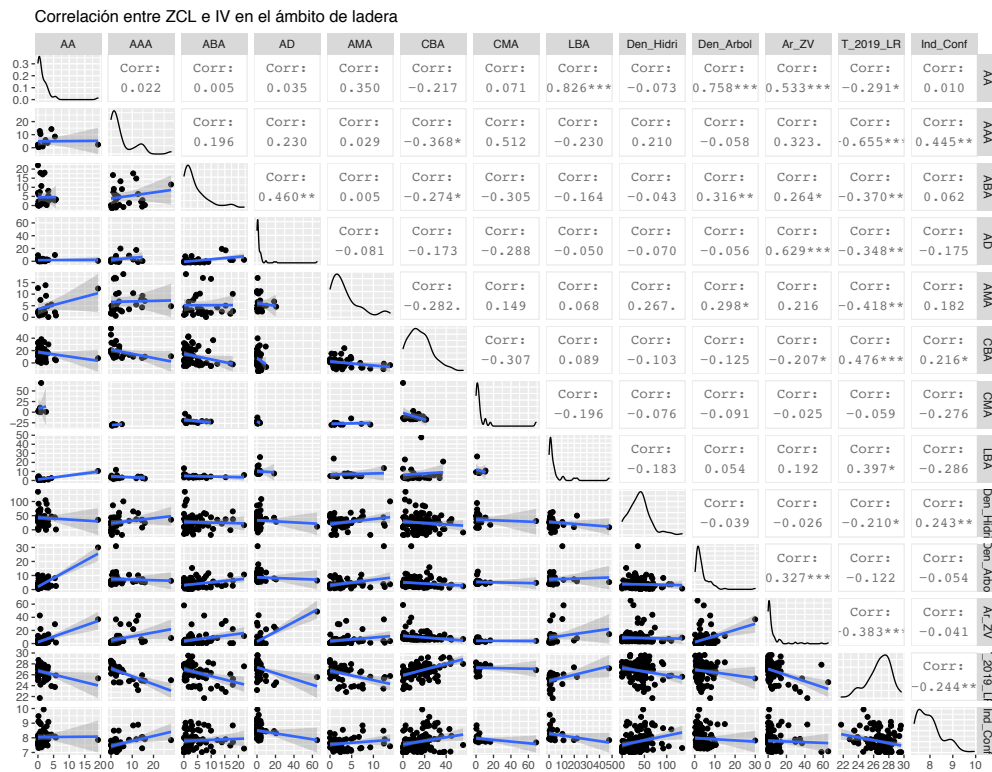


Figura 4.35: Diagrama de correlación entre ZCL e IV (ámbito ladera).

Fuente: elaboración propia.

ables de IV, sin embargo en el polígono especializado de este ámbito se observa mayor relacionamiento frente al área de zonas verdes que en relación al mismo índice de confort. Con un corr 0.275 señala unos barrios con extensiones menores a las 10 [ha] con coberturas de zonas verdes usualmente menores a las 40 [ha]. Barrios que se correlacionan definiendo una orientación positiva, que indican que cuando se presentan menores áreas del polígono especializado, se tienden a presentar menores coberturas de zonas verdes. Una forma de trazado que se vincula con la presencia de las zonas verdes al interior de la ladera de la ciudad.

El trazado barrial en este caso, se asocia con el área de zonas verdes, generando una correlación de orientación negativa, que indica gran cantidad de barrios con extensiones de trazado barrial de diversa magnitud, con extensiones de zonas verdes generalmente homogéneas que se correlacionan frente a la línea de comportamiento ajustado. Una forma urbana que se asocia con la presencia de las zonas verdes de la ciudad.

Al interior de la zona de borde urbano se observan algunas ZCL que se correlacionaron mucho más en relación a las variables de infraestructura verde que al mismo índice de confort. Un

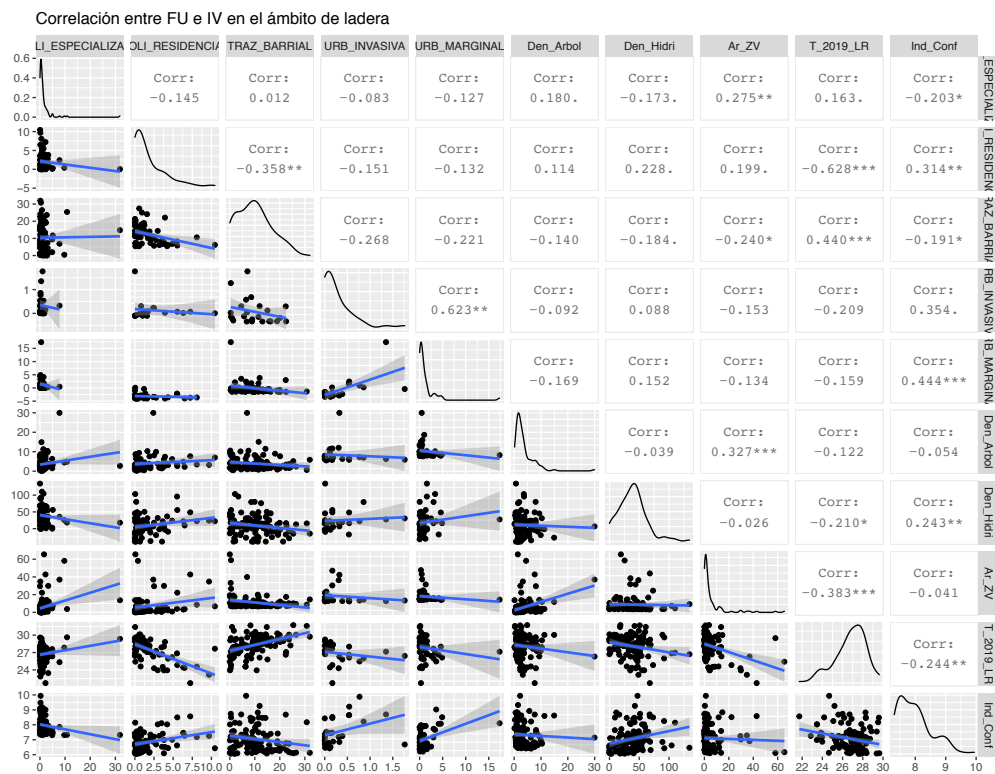


Figura 4.36: Diagrama de correlación entre FU e IV (ámbito ladera).

Fuente: elaboración propia.

ejemplo es la ZCL de plantas bajas (PB), la cual se correlaciona representativamente frente a la densidad de arboles y al área de zonas de verdes. Sin embargo, la densidad de arboles lo hace con una dirección negativa, que señala que entre mayor extensión de (PB), existe una tendencia a menores densidades arbóreas; mientras que respecto al área de zonas verdes, la relación es positiva.

La ZCL de arboles abundantes, igualmente, genera una correlación de gran fuerza frente al área de zonas verdes, que señala una clara presencia de esta forma respecto a la expansión de las zonas verdes. Una ZCL representada por una serie de barrios que en su mayoría tienen coberturas de AA inferiores a las 5 ha, que a su vez señalan menor presencia de zonas verdes. Correlaciones que cuando generan mayor fuerza frente a las variables de infraestructura verde, dependen menos de las formas edificadas, lo cual se refleja en las bajas correlaciones frente a índices de confort y la temperatura.

Frente a las unidades morfológicas, se puede decir que las correlaciones en su mayoría son de orientación negativa; Por ejemplo, en esta zona de la ciudad se evidencia que el trazado

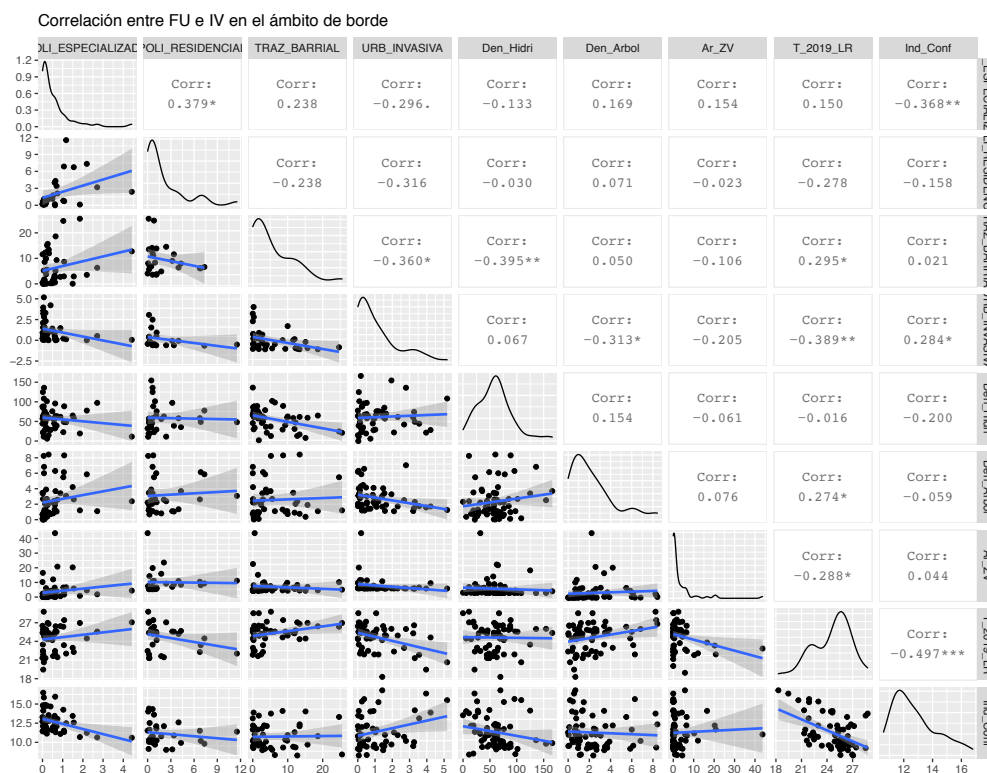


Figura 4.38: Diagrama de correlación entre FU e IV (ámbito borde).

Fuente: elaboración propia.

4.3 FASE 3: DEFINICIÓN DE CONGLOMERADOS URBANOS

El análisis de conglomerados es una herramienta exploratoria de análisis de datos que permite organizarlos en dos o más grupos. Esta herramienta, no requiere conocimiento previo sobre los elementos que pertenecen a cada conglomerado, pues los grupos se definen a través del análisis de esos datos. El análisis de conglomerados busca minimizar la similitud del comportamiento de las variables de cada uno de los casos que integran cada conglomerado, al tiempo que exalta la diferencia entre los grupos que inicialmente se desconocen o comportan totalmente diferente (Roy, Kar, & Narayan Das, 2015).

Es así como el análisis de conglomerados agrupa objetos basados únicamente en la información encontrada en los datos que describen los objetos y sus relaciones. De ahí que el objetivo sea que los objetos dentro de un grupo sean similares (o relacionados) entre sí y diferentes (o no relacionados) con los objetos en otros grupos. Cuanto mayor sea la similitud (homogeneidad) dentro de un grupo y mayor sea la diferencia entre los mismos, mejor o más distinto será el

agrupamiento (Tan, Steinbach, Karpatne, & Kumar, 2019).

La definición del número de agrupaciones o clústeres es tal vez uno de los parámetros que no están claramente definidos. Es decir, una muestra de X cantidad de datos se puede agrupar en tantos clústeres como datos posibles, de ahí que la mejor forma para definir los conglomerados dependa más de la naturaleza de los datos y de los resultados deseados.

En este caso, se definieron 13 variables asociadas a las zonas climáticas locales planteadas para Medellín, 8 asociadas a las unidades morfológicas del PEEP, entre otros indicadores que indican la infraestructura verde y la forma urbana de la ciudad. Más una variable de la temperatura aproximada para el año 2019 y otra del índice de confort térmico según el barrio del área urbana.

Como ya se mencionó el establecimiento de la cantidad de clústeres es un procedimiento que no tiene un criterio definido, sin embargo, se han experimentado métodos que permiten llegar a establecer un número apropiado de conglomerados. Esto a través de un algoritmo de agrupamiento de datos en masa, usado en el análisis de grandes volúmenes de datos, para realizar de esa forma agrupaciones lógicas de la información antes de cualquier análisis.

En su forma más simple, los clústeres son conjuntos de puntos que representan los datos que comparten atributos similares entre sí, y los algoritmos de agrupamiento son los métodos que categorizan estos puntos de datos en diferentes grupos, en función de sus similitudes. De ahí por ejemplo la figura 4.39, la cual representa el conjunto de puntos de los datos recopilados en esta investigación con el fin de detectar la relación de sus variaciones en torno a toda el área de estudio.

En dicha figura, se observan los puntos que representa a cada clúster y las líneas la variación de los datos entre un clúster y otro. La selección del número de clústeres depende de la lectura que se haga de la figura generada. En términos generales, para este caso se implementa el método del codo o el Elbow Method, el cual detecta los quiebres más pronunciados a lo largo de todo el gráfico, como sinónimo de cambios bruscos en la variación de los datos agrupados (Lingno et al., 2018). Es decir que en la figura 4.39, se observa un solo codo o quiebre de importancia, ubicado justo a los 19 clústeres.

Se aclara además que para la generación de los dendogramas se emplearon únicamente los barrios que integran el ámbito de río y ladera. Esto debido a que aspectos como la altura de la zona de borde y su cercanía al área rural, podrían influenciar en la modificación del confort térmico a escala urbana, incluso porque esas variables son mucho más predominantes allí que en la ladera y el río.

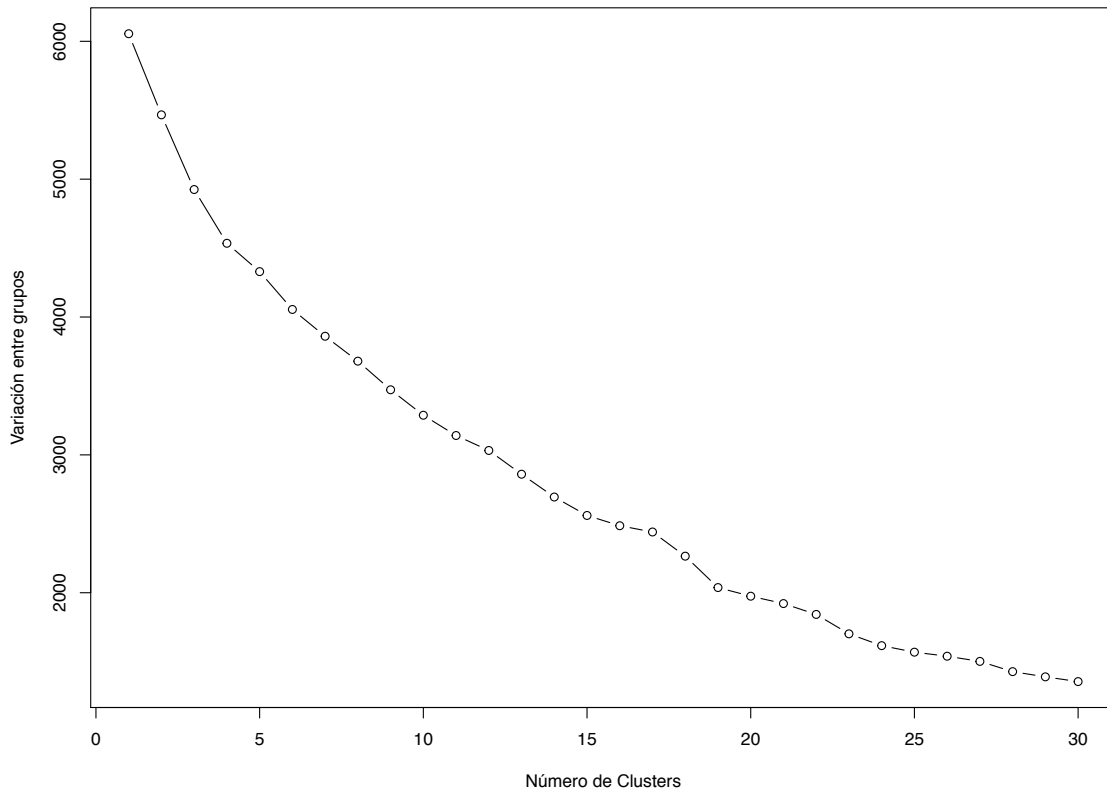


Figura 4.39: Selección de número de clústeres.

Fuente: elaboración propia.

4.3.1 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS CON 19 CLÚSTERES

Tal como se explicó en el apartado anterior, la gráfica de variación del comportamiento de variables, indica que justo en el 19 clúster se presenta una alteración en el comportamiento, que hace que el codo de mayor representatividad se ubique allí. Es así como se procede a generar el gráfico de esos 19 grupos que están conformados por una serie de barrios de la escala urbana (río y ladera) que de acuerdo al comportamiento de esas variables que los representan, se organizan dentro o fuera de un grupo. Si se observa la figura G.1, cada grupo es diferenciado a partir de un color, sin embargo, todos nacen en la misma base o rama superior que indica que todos son parte del gran grupo de variables de Medellín. Cuando se empiezan a subdividir, señala que existen ciertos comportamientos que hacen que unos barrios se parezcan más entre ellos respecto a los demás, razón de que los barrios con comportamientos de variables más parecidos se posicionen dentro de un mismo subgrupo.

A medida que los subgrupos se posicionan en las ramificaciones más bajas, quiere decir que son barrios que definitivamente poseen variables sumamente relacionadas entre sí. Así mismo, se evidencian algunos barrios que no son parte de ninguno de los clústeres trazados, sino que por sí solos son un clúster como tal. Esto debido a que sus comportamientos de variables son tan particulares que no se correlacionan con ninguna otra zona de la ciudad, razón por la que el programa estadístico R (R Core Team, 2017), lo genera como un clúster individual.

Dentro de los 19 clústeres se observa que el señalado con color negro, compuesto por 40 barrios, es el más grande de todos, en el cual los 40 barrios tienen comportamientos de variables que se correlacionan entre sí. Al interior de este y de todos los clústeres se evidencian ramificaciones por parejas de barrios, que indican que su correlación es tan fuerte que finalmente solo esos 2 barrios pueden integrar ese subgrupo.

Los siguientes conglomerados se componen de 32, 28 y 15 barrios, entre otros clústeres que se componen de solo 1 o 2 un barrios. Que como ya se mencionó no se relacionan directamente con otros barrios de la ciudad razón de su individualidad en los clústeres.

Ahora bien, la idea del ejercicio es detectar esos barrios que, por sus variables de forma y cobertura urbana, tienen comportamientos similares y muy diferentes a escala de ciudad. Para de esa forma elegir los barrios que puedan ser objeto de análisis a una escala de mayor detalle, haciendo una transición del análisis de escala urbana a una escala barrial que permite entre tanto acercarse a un nivel de observación e interpretación más meticulado en cuanto a la forma y el confort térmico de la ciudad.

Para eso es necesario mapear los clústeres generados, con el fin de visualizar en el plano de Medellín, cada uno de los barrios que integran dichos conglomerados. En ese orden y conservando los colores de los conglomerados definidos en la figura G.1, se genera el mapa presentado en la figura 4.40, el cual resalta la distribución de cada grupo de barrios.

Se observa que el clúster 12, se integra por barrios que se distribuyen en general a lo largo de toda de la ciudad, tanto de los costados oriental y occidental. En donde a pesar de que todos lo barrios integran un mismo grupo, no todos son vecinos entre sí. Esto como resultado de la diversidad de condiciones que tienden a haber entre un barrio y otro. Se destaca, además, barrios que se ubican en la zona de ladera muy cerca a la transición de borde los cuales se relacionan en algunos casos con barrios que se localizan en la zona más plana de la ciudad, donde las condiciones naturales y de desarrollo tienden a ser más contrastantes.

En el caso del clúster 13, integrado por 10 barrios, se observa que la mayoría se distribuyen sobre el costado occidental de Medellín a excepción del Centro Administrativo, y de Las Lomas

n. 1 y 2. Un clúster destacado por barrios con morfologías principalmente de trazado barrial y polígono residencial con ZCL compactas de baja altura, abiertas de baja altura y abiertas de gran altura. Que además poseen zonas verdes asociadas a la movilidad motorizada, a las macrorredes urbanas y al recurso hídrico.

Así mismo se obtienen otros clústeres como resultado del ejercicio de correlación de variables, en los cuales se evidencian claras coincidencias en lo relacionado a las unidades morfológicas, al componente vegetal y a las zonas climáticas locales, entre otras.

Los clústeres individuales, son respectivamente el clúster 6, 8, 15, 17 y el 18, los cuales surgen en diferentes momentos históricos de la ciudad, sin embargo se observa que los más antiguos de estos barrios datan de mediados de 1979 y otros de 1999. todos localizados en cercanías de la franja más central de la ciudad, ya sea en su costado oriental u occidental. Se observa igualmente que en ellos la morfología de trazado barrial está más bien ausente dando entrada a la forma de polígono especializado y la urbanización marginal. El componente vegetal es diferenciador en ellos, pues no todos tienden a estar fuertemente relacionados con este importante recurso, sin embargo se ve que las zonas verdes vinculadas a los espacios privados hacen presencia en algunos de ellos, así como lo hacen las zonas verdes de ecoparques de cerro y áreas de interés estratégico.

Los clústeres 2, 3, 16 y 19, son aquellos que se conformaron únicamente por una sola pareja de barrios de la ciudad, las cuales datan de épocas como 1875, hasta momentos mucho más recientes como en 1999, que es por ejemplo la época del barrio El Castillo y Las Brisas. Sus estructuras morfológicas señalan en el caso de la pareja de Laureles y La Candelaria una fuerte presencia del trazado barrial, mientras que para El Castillo y Las Brisas, es evidente el protagonismo del polígono residencial y del especializado. El componente vegetal en estos casos se vincula más que todo a las zonas verdes de los espacios privados, a los ecoparques de cerro, y a las zonas verdes de la movilidad urbana.

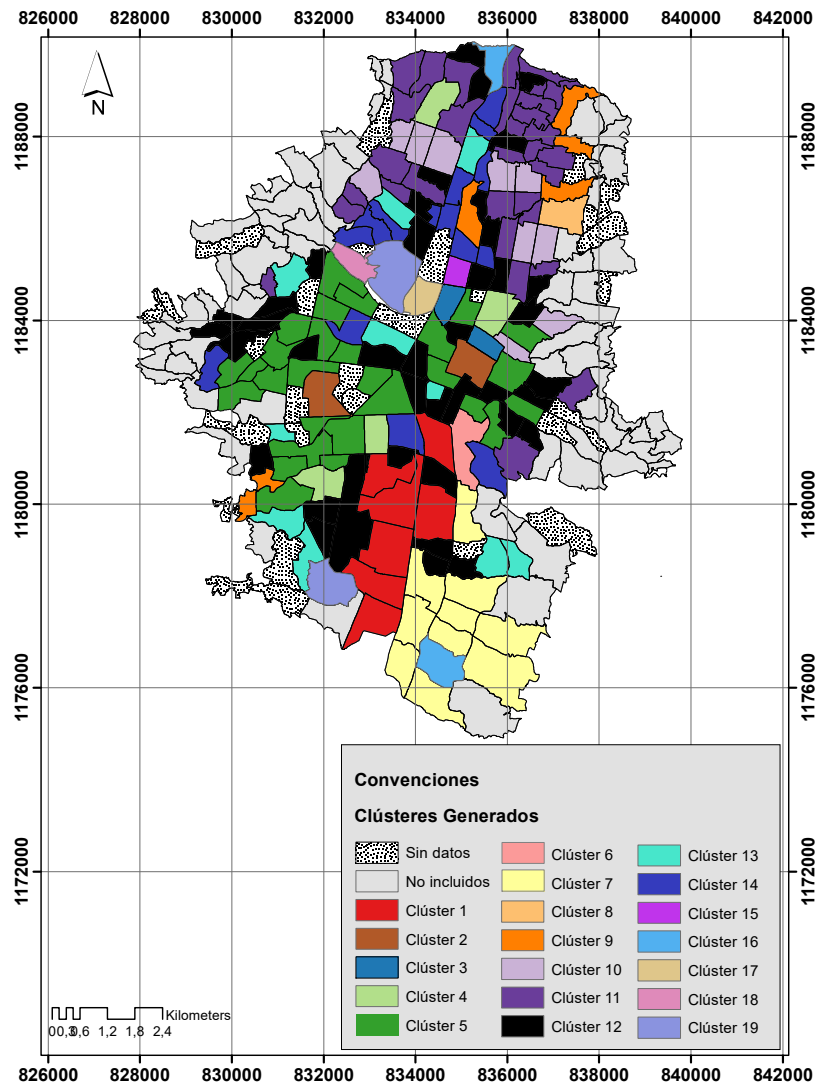


Figura 4.40: Mapa de clústeres en Medellín.

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 5

ANÁLISIS DE CASOS A ESCALA BARRIAL

Para la selección de casos específicos que permitan acercar el análisis de la forma y su relación con el confort térmico urbano a una escala de barrio, es necesario remontarse a la figura del análisis de conglomerados urbanos (figura 4.40). De los grupos obtenidos en ese gráfico, se decide trabajar con los barrios que componen principalmente el conglomerado Negro (Clúster 12) y el conglomerado 13 o turquesa. Esto dado el nivel de distribución espacial que tienen las parejas de barrios que más se correlacionan al interior de cada uno de ellos. Donde la Altura de los rectángulos de colores determina el grado de correlación de todas las variables de forma, temperatura, ZCL, y componente vegetal presente. Es así que entre más pequeño o cercano este el rectángulo a la parte inferior que conecta al nombre de cada pareja de barrios, mayor es el grado de relacionamiento de las variables.

En ese orden, es como se consideraron los clústeres en los cuales las parejas de barrios tenían mayor distribución a lo largo del plano urbano y las cuales tendían a una mayor correlación de variables. Para que a partir de eso se pudiese analizar cuales son esos comportamientos específicos que hacen que el programa estadístico R, los agrupe en un mismo conglomerado urbano.

Con los barrios ya agrupados por parejas, se empieza a retomar el concepto de ámbito territorial, el cual como asocia la geoforma y los usos del suelo en su definición, permite relacionar cada barrio frente a dicho concepto. Sumado a ello, se contemplan si los barrios se ubican en el costado oriental y occidental de la ciudad, como ejes de la ciudad en los cuales la radiación,

los vientos e incluso el desarrollo urbano impacta en diferente proporción. Además de la distancia entre las parejas de barrios que más se correlacionan, ya que la idea es que se ubiquen en puntos diferentes de la ciudad, debido a que la cercanía entre barrios puede influenciar en la similitud del comportamiento de las variables y con ello la generación de subgrupos de barrios vecinos.

En esa orden se eligen 3 parejas de barrios del área urbana del municipio de Medellín, que se localizan entre el ámbito de ladera y río, 2 parejas tomadas del clúster 12 y 1 del clúster 13. La idea es que cada pareja represente los rangos de confort que se presentan a escala urbana, además de como los barrios ubicados en costados y zonas diferentes y opuestas, pueden ser identificados como barrios que tienen algún grado de relacionamiento de variables.

Sumado a esto se consideran los barrios o casos atípicos que se constituyeron dado el comportamiento particular de sus variables. Para de esa forma representar la pareja de barrios que, a diferencia de las parejas correlacionadas, tiene comportamientos y características tan particulares que le impiden parecerse a otros barrios de la ciudad.

5.1 PAREJA 1 :BARRIO TRICENTENARIO Y ALTAMIRA

5.1.1 BARRIO TRICENTENARIO

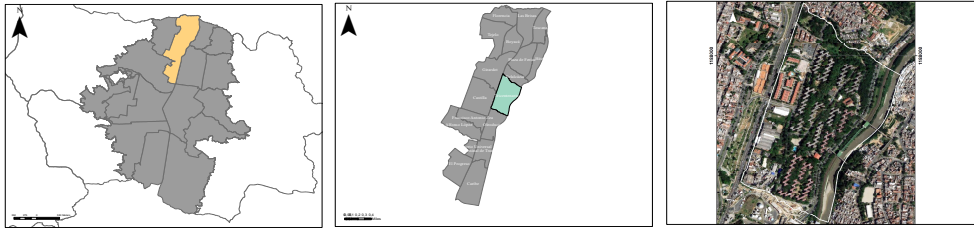


Figura 5.1: Ubicación espacial barrio Tricentenario.

Fuente: elaboración propia.

Tricentenario es un barrio con una extensión aproximada de 42 ha el cual se ubica al interior de la comuna 5 de Medellín, más conocida como Castilla, la cual abarca 606 ha de la superficie urbana. Este barrio posicionado sobre el ámbito de río urbano, posee unas pendientes superiores al 8% y una temperatura superficial aproximada que oscila entre los 23 y 28 °C.

Surge en la ciudad hacia 1978 momento para el cual Medellín cumplía sus 300 años en donde además fue designada como sede para los XII Juegos Centroamericanos y del Caribe, razón por que se decide construir allí los apartamentos que albergarían a los deportistas participantes de dicho evento. Posterior al evento, dichos apartamentos fueron puestos en venta en un valor aproximado de \$45.000, donde muchos de los ciudadanos vendieron sus pertenencias y sacaron créditos para poder acceder a este proyecto ubicado al norte de la ciudad exactamente sobre el costado occidental del río Medellín.

Un barrio que además ha sido arborizado desde la iniciativa municipal porque en su momento donaron las diferentes especies que enverdecerían a esta urbanización, pero que con el tiempo fue por parte de los mismos habitantes que se completó la labor para llegar a ser considerada como uno de los barrios más arborizados del continente (Saumeth Rios, 2010).

5.1.2 BARRIO ALTAMIRA

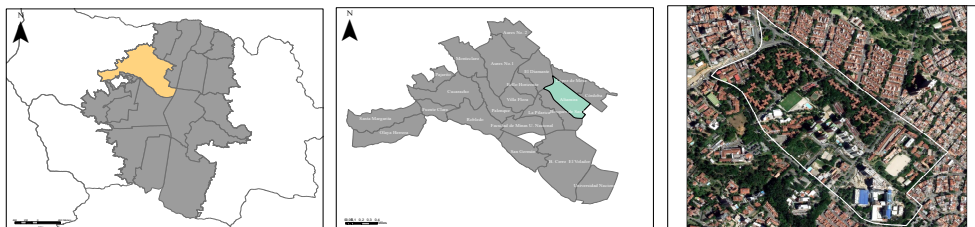


Figura 5.2: Ubicación espacial barrio Altamira.

Fuente: elaboración propia.

Por su parte el barrio Altamira se ubica en la comuna 7 de Medellín, al noroccidente de la ciudad, exactamente sobre el ámbito de ladera urbana. Este barrio, de pendientes alrededor de los 13% surge para las mismas fechas que Tricentenario, pues igualmente se diseñó tras la elección de Medellín como sede oficial de los juegos centroamericanos y del caribe en 1978.

Para los años 70 el instituto de crédito territorial inicia la construcción en zonas aledañas a Castilla, con urbanizaciones como Francisco Antonio Zea, los barrios Pedregal, Boyacá, Las Brisas y Florencia que para ese entonces eran barrios para las clases obreras del municipio. Una zona donde se ubicada el hospital la María y el Cementerio Universal, zonas catalogadas por ende como tugurios urbanos. Es hacia finales de los 70 cuando el mismo instituto de crédito territorial (Hoy Inurbe), empieza a edificar barrios formales como Altamira, López de Mesa y la Pilarica, donde este último fue más por constructores particulares.

Es así como Altamira empieza a ser edificado para hospedar a los participantes de este importante evento pero que dadas las demoras tuvieron que ser enviados a Tricentenario, razón por la que los docentes cercanos al sector empezaron a ser los inquilinos más usuales (Zuluaga Díaz, 2011).

5.1.3 BARRIO TRICENTENARIO FRENTE AL BARRIO ALTAMIRA.

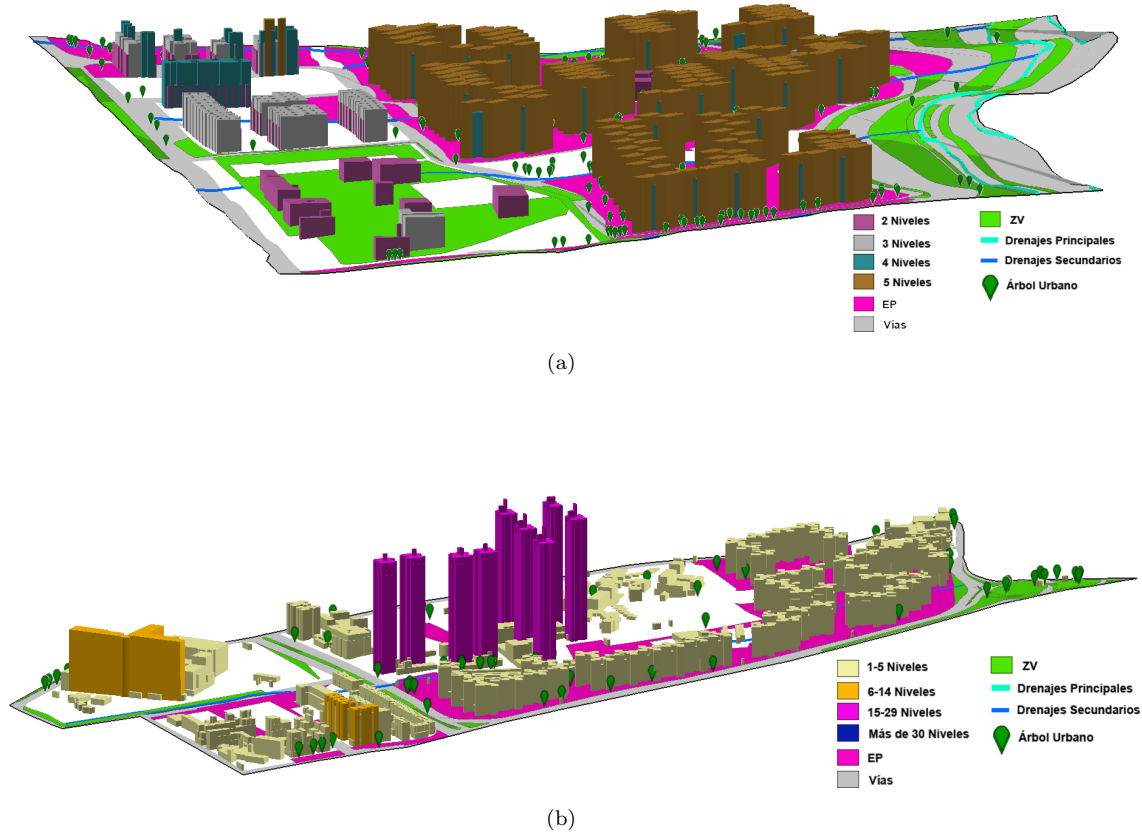


Figura 5.3: Representación 3D. (a) Barrio Tricentenario, (b) Barrio Altamira.

Fuente: elaboración propia.

En este punto cuando ya se ha explicado la composición morfológica y la distribución de los componentes grises y verdes de cada uno de los barrios que integran esta pareja (ver anexo B), se pueden detectar parámetros que evidentemente confirman al barrio Altamira y Tricentenario como barrios que tienen formas en común. Por ejemplo, la historia bajo la cual se desarrollan estos barrios se relaciona en que ambos fueron diseñados para albergar a jugadores de los juegos centroamericanos y del caribe en el año 1978 en Medellín, momento para el cual en la ciudad ya se hablaba de la necesidad de extenderse hacia el costado noroccidental, consolidando la zona centro oriental a través de varios proyectos de ensanche. Donde además ya existía la propuesta del cinturón verde metropolitano dado el crecimiento urbano desahogado que ya se presentaba.

Es así como estos barrios comparten un momento histórico y urbanístico por el cual se desar-

rollaron, en los cuales se implementaron morfologías edificativas principalmente de polígonos residenciales y especializados. Con bloques que priorizan las edificaciones entre 1 y 5 pisos, pero que por ejemplo en el caso de Altamira, han dejado introducir estructuras entre los 15 y 29 pisos en total. En esa medida ese dominio de estructuras bajas frente a la extensión de cada uno de estos barrios arroja, índices de compacidad absoluta muy bajos, respecto de los rangos planteados por los expertos que analizan la sostenibilidad a escala global.

Por ejemplo Tricentenario con un valor que lo posiciona entre 1 y 1,7 [m] de compacidad absoluta frente a los 2,3 [m] de Altamira. Lo cual indica que ninguno cumple con los rangos óptimos planteados por d'Ecología Urbana de Barcelona, es decir que el equilibrio que debería existir entre el área de cada barrio y su volumen edificado no se alcanza pues este es realmente bajo. En estos barrios los resultados demuestran volúmenes edificados bajos en relación al área



Figura 5.4: Unidades morfológicas. Barrio Tricentenario (a). Barrio Altamira (b).

Fuente: elaboración propia.

superficial que abarcan, llevándolos a ser lugares sumamente dispersos en la ciudad, a pesar de que Altamira logra ser un poco más compacta que el otro barrio.

Además en cuanto a la compacidad corregida se puede decir que Tricentenario tiene 4 unidades menos de compacidad corregida frente a Altamira, pues la relación actúa como si se hablase de más espacio público que volumen edificado. Un barrio sumamente disperso en la ciudad, al cual se le asemeja Altamira, pero no en la misma proporción, esto debido a que ha construido mucho más volumen que su compañero, Tricentenario.

Barrios que en relación a los demás indicadores de la estructura urbana permiten definir a Tricentenario como un barrio con 6 [ha] más de superficie total respecto a Altamira, donde la huella de sus edificaciones ocupa 1,7 [ha] menos que las que se tienen en el barrio con el cual se compara. Además Tricentenario cedió 7,9 [ha] más para fines de movilidad urbana.

En así como Tricentenario es un barrio que cedió 13,2 [ha] al trazado vial, categorizadas prin-

principalmente como colectoras, y autopistas urbanas, en comparación a las 5,3 [ha] trazadas por Altamira, donde además la mayoría se clasifican como vías de servicio y arterias principales, mientras que estas segundas se limitan a circular por el margen derecho del barrio.

Tricentenario por su parte se ubica en una zona de la ciudad muy cerca al eje del río Medellín, exactamente a unos 50 o 60 metros de distancia y con ello al autopista norte de la ciudad. Una zona de gran flujo vehicular, donde las pendientes oscilan alrededor del 8%, muy bajas en comparación a la localización de Altamira, que se integra de pendientes que ya se pueden considerar como intermedias y en donde las vías de mayor flujo se limitan a circular por los bordes del límite barrial.

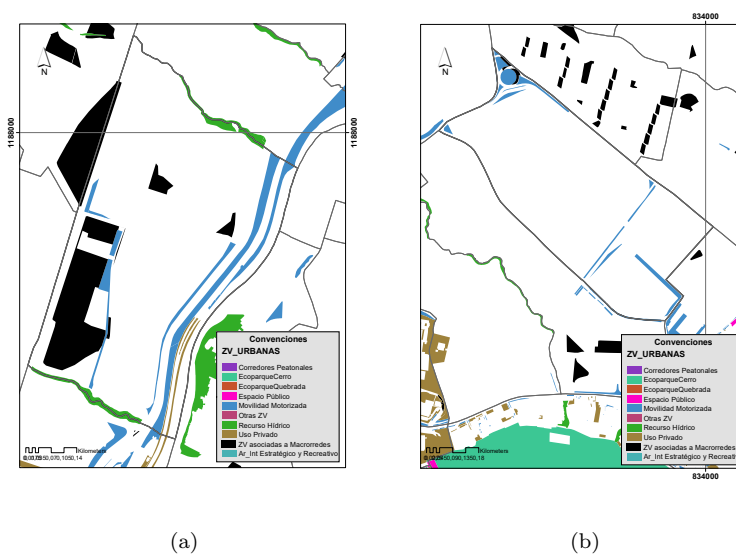


Figura 5.5: Zonas verdes. Barrio Tricentenario (a). Barrio Altamira (b).

Fuente: elaboración propia.

barrio, en comparación al otro barrio estudiado. Donde el área de zonas verdes de Tricentenario también se extiende por más de 6,5 [ha] respecto de Altamira.

El sistema de modelado BRAMS, arroja datos de predicción meteorológica que establecen que en Altamira se presenta un promedio de humedad relativa del 65 % y de velocidad del viento de 6,4 [m/s]. Por su parte Tricentenario tiene una humedad de un 1% más, con una velocidad del vientos de 0,4 [m/s] menos que Altamira. Datos que sumado a una temperatura promedio de 25,2 [°C] en el caso de Tricentenario y de 25,6 [°C] en el de Altamira, y aplicando el índice de confort térmico se llega a un resultado que los categoriza con un índice cálido bajo en ambos casos.

En cuanto al componente vegetal la diferencia más marcada se torna tal vez en relación a la densidad hídrica, en donde Tricentenario tiene más del doble de la reportada por Altamira. Sin embargo en Altamira la mayoría corresponden a drenajes secundarios, mientras que por Tricentenario circulan parte de las aguas del río Medellín o Aburrá. La densidad de árboles en el caso de Tricentenario se presenta por lo menos con 5 árboles más por cada ha de

En este punto se resalta como la morfología de las edificaciones, la ubicación y la presencia del componente vegetal podrían estar influenciando en las condiciones, para que se logren índices de confort térmico exactamente iguales a pesar de que se ubican en zonas que son relativamente cercanas entre sí, pero que evidentemente presentan algunas diferencias.

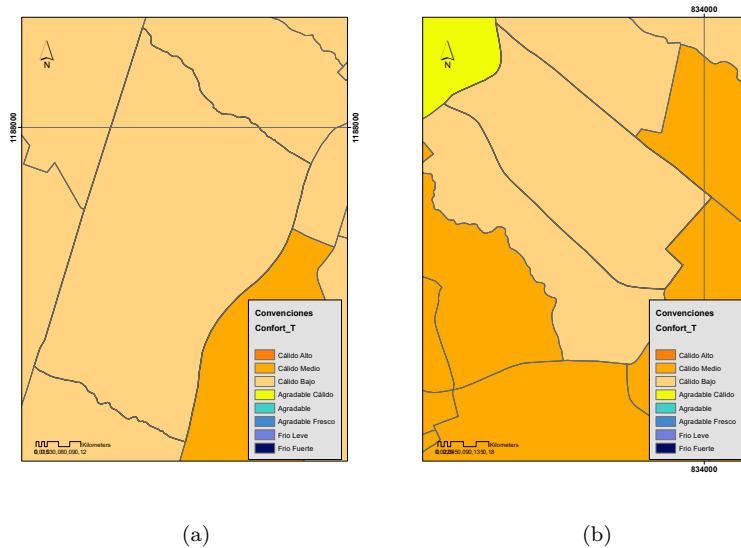


Figura 5.6: Índice de confort térmico. Barrio Tricentenario (a).

En el caso de Tricentenario, Barrio Altamira (b).

la mayoría de los cuerpos Fuente: elaboración propia.

hídricos están canalizados, mientras que en Altamira

han sido ocultos o enterrados, condición que podría incluso limitar la acción de regulación térmica brindada. Por otra parte, Tricentenario está a menos de 100 metros de una de las fuentes hídricas más importantes de la ciudad (río Medellín), la cual está canalizada en su totalidad.

Altamira a su vez presenta formas edificadas abiertas de bajas, medianas y grandes alturas, que implican mayores compacidades, con un componente natural más débil en comparación al barrio Tricentenario, sin embargo los árboles existentes allí se agrupan principalmente en los alrededores de la ZCL abierta de mediana altura, generando un efecto de dosel que podría proteger y aislar de los vientos y rayos directos del sol. Lo cual evidentemente mejora y protege del incremento de la temperatura en el resto del barrio.

5.2 PAREJA 2 :BARRIO CÓRDOBA Y LA MANSIÓN

5.2.1 BARRIO CÓRDOBA

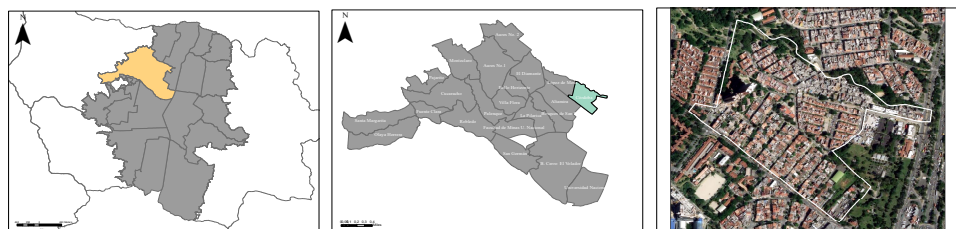


Figura 5.7: Ubicación espacial barrio Córdoba.

Fuente: elaboración propia.

Se localiza al interior de la comuna 7 de Medellín, exactamente en la zona de límite entre el ámbito de río y ladera urbana, sobre el costado noroccidental de la ciudad; vecino del ya mencionado barrio Altamira. Un barrio que empieza a surgir hacia los años 60 del siglo pasado, cuando muchos de los habitantes más pobres de la villa existente hasta ese momento ocuparon la faja de suelo de 10 metros de la corriente natural de agua hasta el cementerio universal. Invasión permitida por la familia Cock, propietaria del lugar en su momento. Posteriormente la corporación de vivienda y desarrollo social (CORVIDE) adquiriere el inmueble de mayor extensión de la familia Cock, para realizar múltiples ventas parciales sobre este.

Actualmente el barrio presenta condiciones de vulnerabilidad social, e inequidad fisicoespacial, frente al habitar dignamente en la ciudad, pues presenta un alto déficit cualitativo y cuantitativo de viviendas y de espacio público en una zona estratégica urbana, cercana al corredor metropolitano de servicios. Un barrio con pendientes, que van desde los 0 ° hasta los 35 ° esta última en cercanías a la carrera 71A (Departamento Administrativo de Planeacion, 2007).

5.2.2 BARRIO LA MANSIÓN



Figura 5.8: Ubicación espacial barrio La Mansión.

Fuente: elaboración propia.

El barrio La Mansión se ubica en la ladera oriental de la ciudad, exactamente en la comuna 8, conocida como Villa Hermosa. Hacia la década de los 40 se inicia el poblamiento de esta zona de la ciudad, en donde los urbanizadores adquirían las fincas en los sitios más cercanos al centro y donde la geomorfología ya empezaba a empinarse.

En aquel momento diferentes empresas tanto públicas como privadas tomaron el rol de urbanizadoras y construyeron viviendas para sus trabajadores y ciudadanos en general. Además, la densificación del sector centro-oriental para este momento ya se empezaba a apreciar notablemente, lo cual desató no solo urbanizadores privados sino asentamientos ilegales o clandestinos en áreas periféricas o aún rurales, en donde los habitantes eran migrantes que venían del campo o incluso de otros barrios.

Un barrio ubicado en una comuna de importantes hechos urbanos como los primeros acueductos tanto públicos y privados (La Toma y La Ladera), y el primer proyecto hidroeléctrico fundado en 1898. A lo que además se suma la herencia prehispánica que dejaron los caminos de Cieza, propios de los pueblos indígenas (Quiceno Toro, Muñoz, & Montoya, 2008) . En este barrio se ubica adicionalmente la primera comunidad religiosa femenina, fundadora del monasterio San José, el cual se crea para 1791 sobre la calle Palacé, pero dado el crecimiento urbano y los ruidos propios de este proceso, se trasladó al barrio La Mansión, donde en lo alto de la montaña refleja el centinela silencioso que guarda a Medellín (Carmelitas de Colombia, n.d.).

Así es como este barrio se posiciona al interior del ámbito de ladera urbana, sector en el cual se presentan pendientes superiores al 8%, con características geomorfológicas y geológicas únicas

en el valle. Zonas que, de acuerdo a su pendiente, poseen zonas de vida vegetal características y propias del Valle del Aburrá.

5.2.3 BARRIO CÓRDOBA FRENTE AL BARRIO LA MANSIÓN.

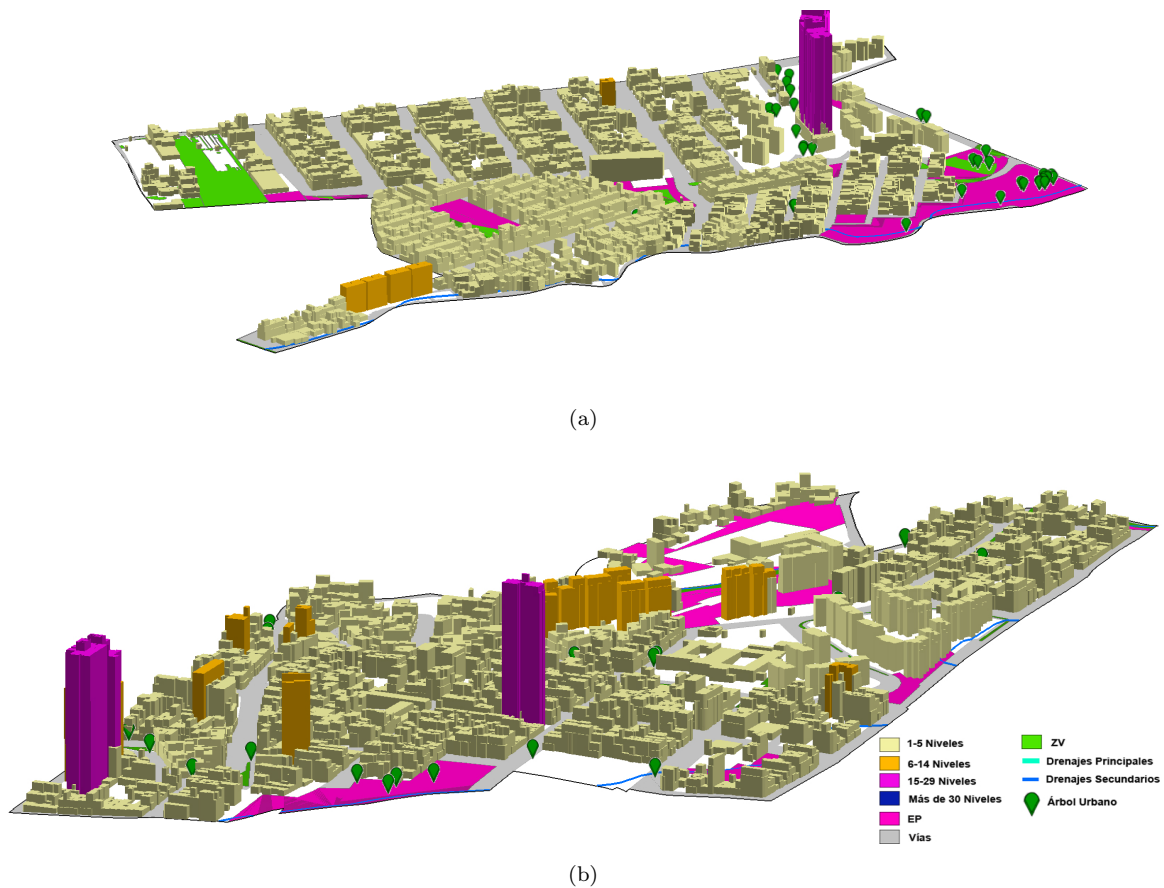


Figura 5.9: Representación 3D. (a) Barrio Córdoba, (b) Barrio La Mansión.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los resultados obtenidos frente al barrio Córdoba y el barrio La Mansión, se comprueba igualmente un hilo histórico que los une; en este caso es que son el resultado de la parcelación de fincas que pertenecían a familias que se habían establecido desde sus inicios en las zonas de ladera de la ciudad. Además para esa época la cantidad de personas había aumentado significativamente, por lo tanto el modelo de desarrollo urbano empezaba a promover reglamentaciones que apostaban al control y orientación de la actividad edificativa urbana. Modelo que no solo regulaba el espacio sino la densidad poblacional y las actividades urbanas. De ahí que para mediados de los 60, los urbanizadores como las empresas públicas

y privadas que trazaban barrios para sus empleados y ciudadanos en general, así como la corporación de vivienda y desarrollo social, compraban dichas fincas con el fin de desarrollar múltiples ventas parciales. Con ello también surgen algunos asentamientos ilegales en las áreas periféricas que para entonces aún pertenecían a la ruralidad urbana.

En ese orden se puede decir que actualmente en el barrio Córdoba y La Mansión las unidades morfológicas predominantes son el trazado barrial, con algunos polígonos de urbanización marginal, polígono residencial, polígono especializado y de gestores privados en el caso de La Mansión.

El trazado barrial en el caso de Córdoba cubre el 39 % de la superficie barrial mientras que en La Mansión cubre el 32,2% de su superficie total.

Las otras morfologías repre-

sentan el 12,5% de cobertura de la superficie de Córdoba y 10,4% de la cobertura de La Mansión. En realidad porcentajes bajos en comparación a las formas barriales.

Así mismo, se resalta que Córdoba es un barrio con un área de ocupación de 1,4 [ha] por debajo de la cobertura que tiene el barrio La Mansión. Dos barrios con áreas de vías relativamente iguales, cuya distribución y tipología corresponden a vías de servicio en su mayoría y unos metros lineales de colectoras, que ingresan al barrio, cruzando de forma paralela a su margen derecho en cada uno de ellos.

Barrios que además, priorizaron el desarrollo de edificaciones entre 1 y 5 pisos con muy pocas edificaciones superiores a los 6 pisos. Edificaciones que representan para La Mansión 638.801 m³ de volumen construido frente a los 553.918 m³ de Córdoba.

Referente a la compacidad absoluta, se detecta que ambos barrios tienen un índice de compacidad absoluta bastante similar, que no cumple con los parámetros planteados por los urbanistas que analizan la sostenibilidad urbana. Todo esto dados los 84.883 m³ de diferencia entre ellos y la gran similitud en relación a su superficie barrial, la cual no excede una diferencia de 4,4

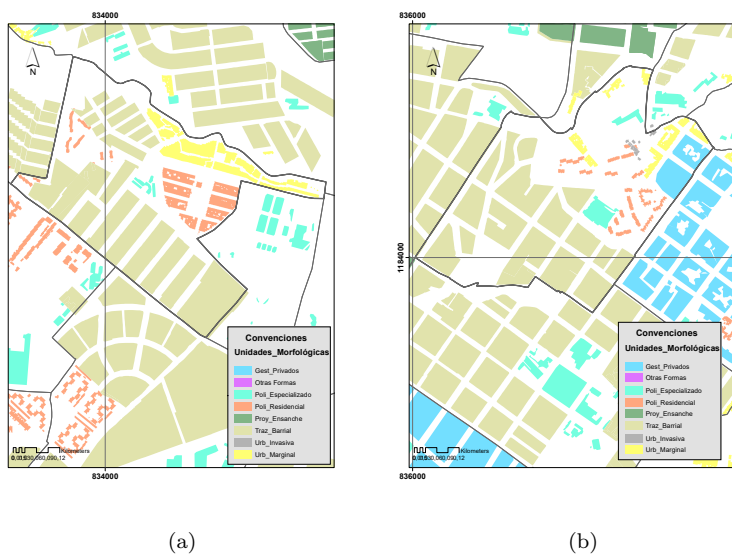


Figura 5.10: Unidades morfológicas. Barrio Córdoba (a). Barrio La Mansión(b).

Fuente: elaboración propia.

ha.

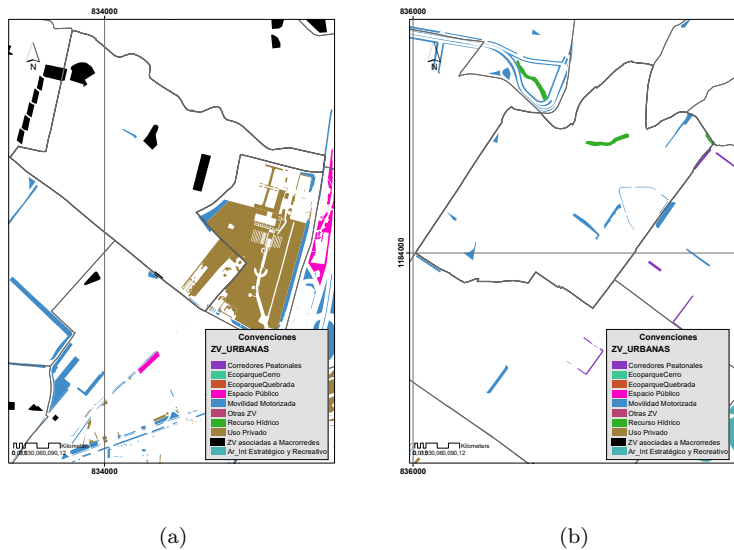


Figura 5.11: Zonas verdes. Barrio Córdoba (a). Barrio La Mansión(b).

Fuente: elaboración propia.

EP existente al interior de estos barrios en relación con el volumen edificado logra tener un efecto descompresor del espacio y liberador de las tensiones que allí se puedan generar, a pesar de ser barrios con áreas de espacio público inferiores a las de la pareja de barrios anteriormente analizada, y con volúmenes la verdad muy similares. Sin embargo en esta pareja hay menor presencia del trazado del polígono residencial en comparación a Tricentenario y La Mansión, en donde esta forma trazada era la protagonista.

En relación a las ZCL Martínez Osorio establece que el barrio Córdoba posee principalmente la ZCL compacta de baja altura, al igual que en el barrio La Mansión, sin embargo en este último, también existen algunas pequeñas partes de la ZCL abierta de mediana altura y abierta de baja altura.

También cabe señalar que la infraestructura verde en ambos casos tiene un comportamiento bastante cercano, a tal punto que la densidad hídrica representa una diferencia de solo 0,3 m/ha entre ellos. Donde en el barrio Córdoba las quebradas están mayormente canalizadas, mientras que en el barrio La Mansión la mayoría han sido cubiertas dejando solo unos pequeños tramos en su forma natural. En Córdoba la densidad arbórea es de casi 2 individuos por [ha], mientras que en La Mansión se ve reducido casi que a la mitad.

Ahora bien, la temperatura estimada de ellos durante el año 2019 es de 27,4 [°C] en el barrio

A ello se adiciona el área de espacio público con el fin de detectar el relacionamiento frente a la extensión del barrio, para llegar así a un resultado de compacidad corregida de solo 3 metros de diferencia entre un barrio y el otro. Donde ambos cumplen con el rango de Ccorr, planteado por d'Ecología Urbana de Barcelona, para los principios de ciudad sostenible. Los cuales se deben ubicar entre los 10 y 50 metros. En ese sentido se puede decir que el

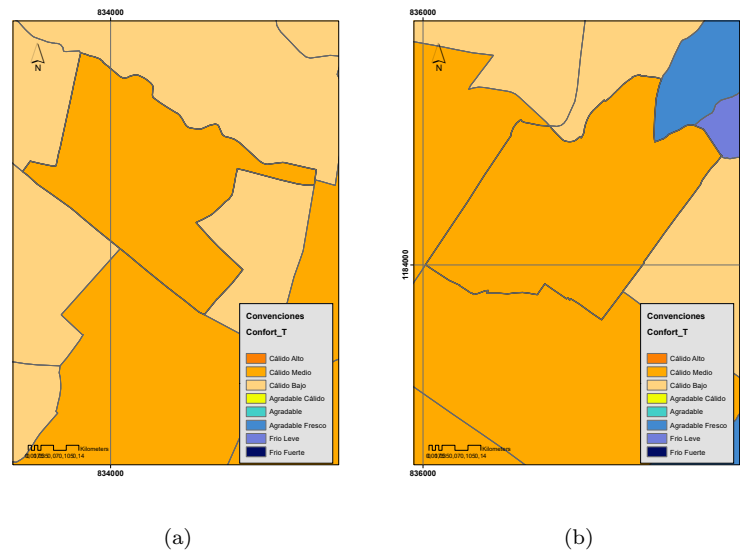


Figura 5.12: Índice de confort térmico. Barrio Córdoba (a). Barrio La Mansión(b).
Fuente: elaboración propia.

Córdoba, en comparación a los $26,9 [^{\circ}C]$ del barrio La Mansión, los cuales evidentemente tienen una diferencia de $0,5 [^{\circ}C]$. Esto ha llevado a 2 barrios con índice de confort térmico de tipo Cálido Medio, es decir, que estos dos barrios ubicados en diferentes costados de la ciudad, los cuales presentan gran similitud en relación a la morfología edificada y natural del sector, generan un grado de estrés por calor urbano, que se podría catalogar como intermedio. En el caso de Córdoba reporta un promedio de humedad relativa del $65,5\%$, con una velocidad del viento de $6,3 [m/s]$, mientras que La Mansión, reporta una humedad de $64,7 \%$ y una velocidad de $5 [m/s]$.

En comparación con la pareja de Tricentenario y Altamira, el barrio Córdoba presenta un poco más de vapor de agua en el aire que la que se presenta en Altamira, con una velocidad del viento exactamente igual. Sin embargo las temperaturas en este caso oscilan alrededor de los $27 [^{\circ}C]$, representando más de $1 [^{\circ}C]$ de diferencia con el pareja de Tricentenario y Altamira.

En cuanto a la presencia de los cuerpos hídricos, en el barrio La Mansión se presenta una densidad hídrica mayor que su barrio más equivalente (el barrio Córdoba). Diferencias que sumadas a una menor presencia de zonas verdes y de árboles urbanos, conllevan a una temperatura inferior, pero con sensaciones experimentadas similares, identificadas en ambos casos como cálidas medias.

5.3 PAREJA 3: BARRIO ASTORGA Y LOS ALPES

5.3.1 BARRIO ASTORGA

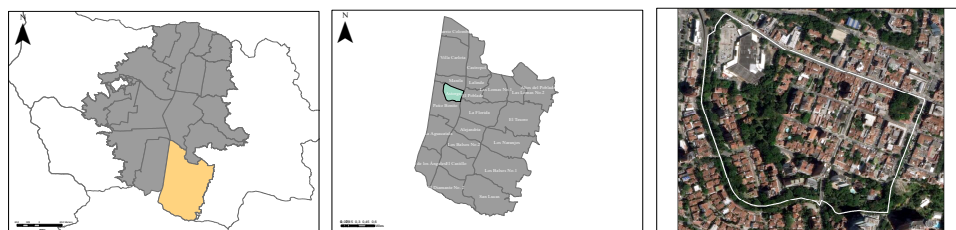


Figura 5.13: Ubicación espacial barrio Astorga.

Fuente: elaboración propia.

El barrio Astorga se ubica en la comuna 14 del municipio de Medellín, más conocida como el poblado, la cual involucra un componente histórico que remite a evocar los sucesos bajo los cuales se fue influenciando el desarrollo en la ciudad. Hechos tales como los que se dieron allí con la existencia del resguardo indígena de San Lorenzo de Aburrá, hace unos 2500 años. Que más tarde es influencia por la determinaciones eclesiásticas e institucionales para el control de la vida en general.

Un sector que además ha mantenido una estrecha relación con la naturaleza, la cual además ha sido orientada en su utilización y acceso según los estratos socioeconómicos, divisiones sociales existentes incluso desde la antigüedad. Desde 1930 ya se producían migraciones de familias de clase alta que salían desde el barrio Prado hasta el Poblado, dado el deterioro que presentaba el centro de la ciudad, dando nacimiento a barrios como El Lleras, Manila, Astorga y Provenza (Barros et al., 2010).

Hacia mediados de los años 50 los hermanos Gaitán, se dedicaban a construir un barrio en los terrenos de la antigua finca familiar Astorga, allí contrataron a Tulio Ospina (familiar del presidente Ospina Pérez), quien era rector y profesor de la escuela de minas de Medellín, como la persona que trazaría este nuevo barrio. El cual con los años ha sufrido grandes transformaciones dada la densificación de las viviendas, el éxodo de habitantes, las diferentes propuestas habitacionales por parte de las empresas constructoras, la modificación del uso del suelo, entre otras. A parte de que la infraestructura vial poco se ha modificado para atender

esos flujos de personas que han llegado a esa parte de la ciudad (Mejía Gutiérrez, 2007), (Uribe, n.d.).

Siendo este barrio unos de los tantos en los cuales la planeación municipal cede para generar modificaciones que permitan edificar e introducir actividades para las que inicialmente no fueron pensados desde su trazado original.

5.3.2 BARRIO LOS ALPES

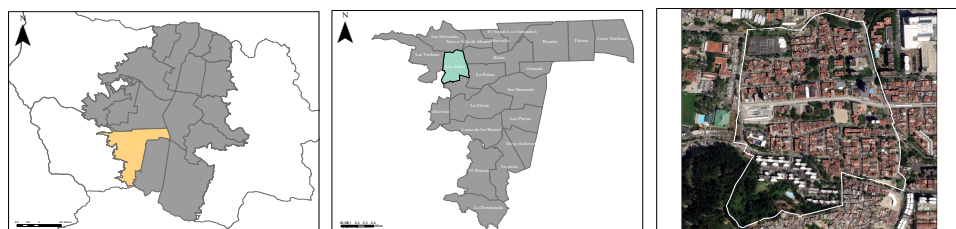


Figura 5.14: Ubicación espacial barrio Los Alpes.

Fuente: elaboración propia.

El barrio los Alpes se ubica en la comuna 16 del municipio de Medellín, comuna conocida como Belén, y ubicada en el costado occidental de la ciudad, hacia el lado derecho del río Medellín. Es ese costado identificado como otrabanda donde habitaba la tribu Aburrá de los Yamesíes, para 1541, pues a lo largo del todo el Valle de Aburrá había diferentes grupos indígenas que se habían asentado.

Ese costado occidental del río funcionaba como centro económico donde los diferentes grupos indígenas pagaban sus tributos a la corona española, además de que fueron consideradas de gran importancia en actividades como la agricultura y la ganadería. Esa zona de otrabanda se integra físicamente a la ciudad con la construcción de obras civiles que finalmente permiten el cruce del río. Es hacia 1814 cuando después de 16 años de insistencia por que la iglesia llevara jurisdicción a esta parte de la ciudad, cuando se elige el nuevo curato de Belén de Otrabanda, de ahí que en 1830 se le designe el actual nombre de Belén.

Es hacia finales del siglo XIX e inicios del XX, cuando otrabanda se integra a la ciudad, denominado para 1920 como corregimiento del área urbana; el cual dada la naciente industria y el crecimiento acelerado de la población, llevaron a la propagación de asentamientos ilegales,

que después se convirtieron en barrios legalizados, que para 1938 empiezan a ser considerados como barrios urbanos de la ciudad. Esto gracias a la importancia dada por el aeropuerto, la rectificación del río y la creación de nuevos barrios. Que más adelante se integran al Mercado inmobiliario como resultado de la expansión de la malla vial de la comuna (de Planeación, 2014) .

El barrio los Alpes, anteriormente conocido como el barrio departamental, es hoy un barrio de casi 28 ha de extensión, el cual se ubica al interior del ámbito de ladera urbana, límite con el borde occidental de la ciudad, el cual tiene pendientes de suaves a moderadas. Es un barrio que desde momentos históricos preserva su función comercial y residencial, a la cual ha venido anexando usos como los servicios. Hoy sede de importantes centros universitarios como es incluso la Universidad de Medellín.

5.3.3 BARRIO ASTORGA FRENTE AL BARRIO LOS ALPES

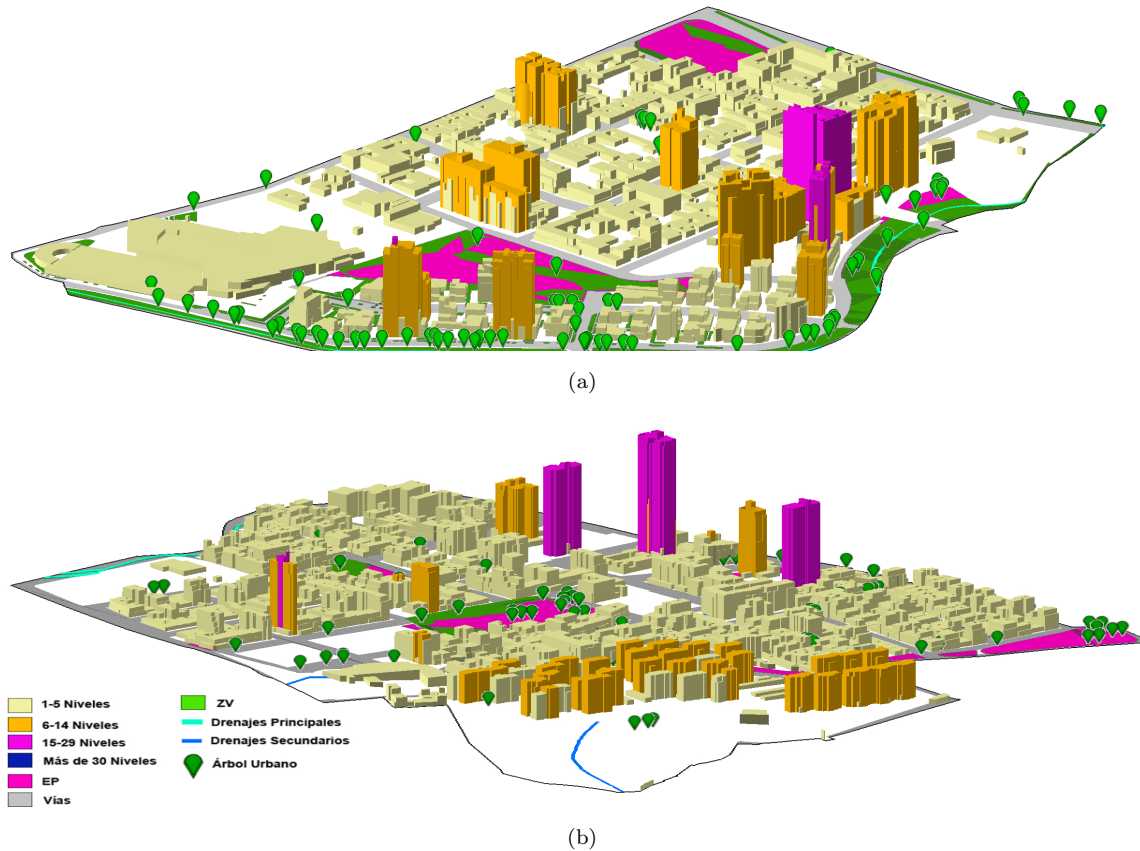


Figura 5.15: Representación 3D. (a) Barrio Astorga, (b) Barrio Los Alpes.

Fuente: elaboración propia.

El barrio Astorga y el barrio Los Alpes, son 2 barrios que se ubican en costados diferentes de la ciudad de Medellín, uno en el lado suroccidental de la ciudad y el otro en el suroriental. Los Alpes en el ámbito de ladera, casi que en la zona de transición a borde urbano y Astorga en el límite entre río y ladera urbana.

Son estos barrios una de las parejas formadas por el análisis de clúster realizado durante esta investigación, en donde se verifican parámetros de relación físicos y espaciales que coinciden en aspectos históricos como por ejemplo que tanto Astorga como Los Alpes desde la antigüedad funcionaron como zonas donde se establecían las comunidades indígenas que llegaban al valle. Y que tuvieron una gran relación con los diseños y mandatos impuestos por la iglesia, además de que fueron sectores influenciadores del desarrollo urbano de Medellín. En estos 2 barrios de la ciudad, desde sus inicios se ha tenido una fuerte relación frente a la naturaleza, sin embargo,

las modificaciones en los usos del suelo y en las actividades permitidas, las convierte en cierta medida en los parámetros que ahora definen y controlan el componente verde existente.

En cuanto a sus características físicas y espaciales se puede decir que Astorga es un barrio con un área de ocupación de 0,3 [ha] menos que la de Los Alpes, con una extensión barrial de 22, 4 [ha] en total frente a las 27,8 [ha] de Los Alpes.

En cuanto al volumen edificado se puede decir que la diferencia que se presenta entre Astorga respecto a Los Alpes es de 104,7 [m³], siendo Los Alpes el de mayor volumen construido. Lo cual conlleva a una compacidad

absoluta alrededor de los 2 [m] en ambos casos, y a una compacidad corregida de 25, 7 [m] para el caso de Astorga y de 37,3 [m] para el de Los Alpes, a pesar de que este último tiene 0,3 [ha] de espacio público menos que Astorga.

Esto significa que en términos de la compacidad absoluta ninguno de los barrios cumple con los rangos establecidos para la sostenibilidad urbana, lo cual los define como barrios poco compactos. Además el EP existente es bastante bajo, sin embargo se observa una compacidad corregida que cumple con los parámetros planteados de ser mayores a 10 [m] y menores a 50 [m]. Esto se le atribuye a que la relación entre el volumen edificado y el EP existente, alcanza un equilibrio entre compresión y la descompresión urbana.

En cuanto a las vías de movilidad, se puede decir que en Astorga las de mayor flujo vehicular transitan por el margen izquierdo del barrio y por la carrera 43, la cual cruza el barrio de norte a sur. Vías que además no representan la mayoría, pues el dominio en esta zona pertenece es a las vías de servicio urbano. Para el caso de Los Alpes, las vías de mayor presencia son las arterias principales y las de servicio, donde tanto las arterias como las colectoras circulan por toda la parte central del barrio, tanto de la zona occidental a la oriental. En esa medida Los Alpes han cedido 2,6 ha más a la movilidad que las que dejó Astorga.

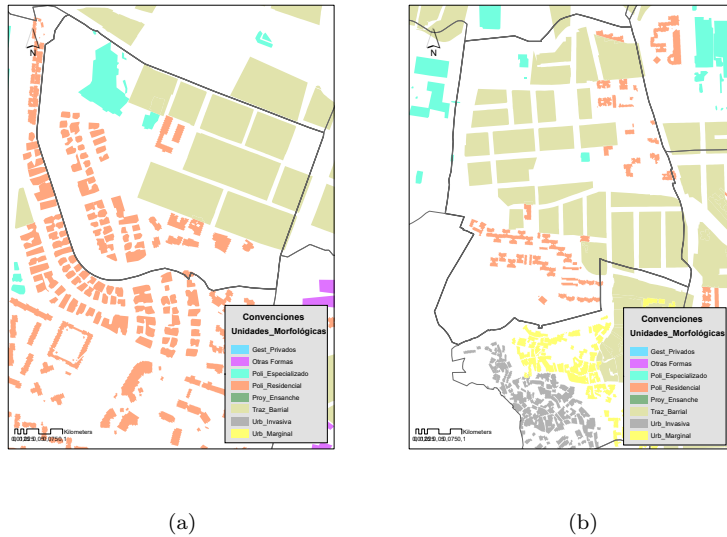


Figura 5.16: Unidades morfológicas. Barrio Astorga (a). Barrio Los Alpes (b).

Fuente: elaboración propia.

Las unidades morfológicas predominantes en estos barrios son el trazado barrial y el polígono residencial, con pocos polígonos especializados que se han ido introduciendo con el tiempo para el desarrollo de las actividades urbanas. Las cuales se fueron estableciendo desde mediados de los 40 en Astorga y de finales de los 70 en Los Alpes. Las ZCL en estos barrios demarcan que Astorga se compone de 4 ZCL que son la compacta de baja altura, la cual predomina al interior del barrio, seguido de la árboles dispersos, además de la ZCL larga de baja altura y la que representa las edificaciones abiertas de mediana altura. Los Alpes por su parte lo integran solo 2 ZCL como la compacta de baja altura y un pequeño tramo de abierto de alta altura.

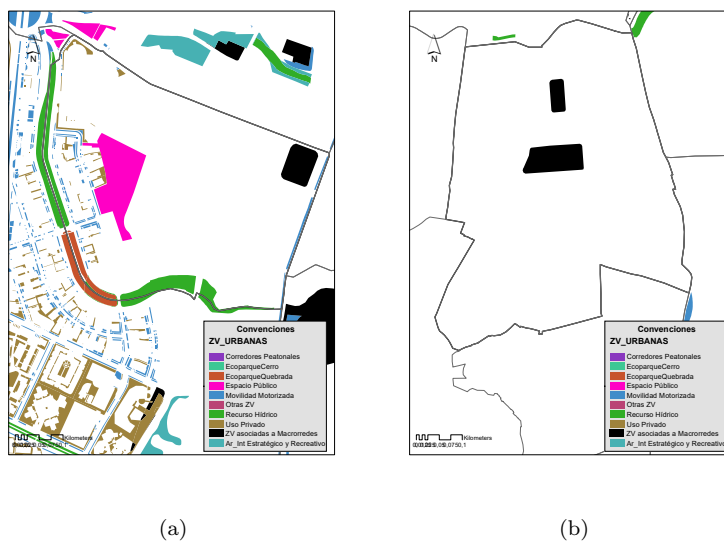


Figura 5.17: Zonas verdes. Barrio Astorga (a). Barrio Los Alpes (b).

Fuente: elaboración propia.

Astorga esos cuerpos hídricos están mayormente canalizados con algunos tramos en su forma natural. por su parte, en Los Alpes, la mayoría de esas quebradas han sido cubiertas por los desarrollos edificativos y urbanísticos del barrio.

En ese sentido, la temperatura superficial estimada para 2019 es de $26,4^{\circ}\text{C}$ en Astorga y de $26,2^{\circ}\text{C}$ en Los Alpes, temperaturas realmente cercanas. Con lo cual se llega a un índice de confort térmico Cálido Alto en el caso de Astorga y Cálido Medio en los Alpes.

Esto se puede atribuir a que el relacionamiento de la forma urbana y la infraestructura verde en este par de barrios es un poco diferente, pues Los Alpes tienen mayor área barrial, con mayor cantidad de cuerpos hídricos, con mayor área de vías de movilidad, con menos densidad de árboles y con una compacidad corregida superior, respecto de Astorga. Lo cual arroja

Por lo que se refiere a la infraestructura verde, se puede decir que existen algunas diferencias entre el componente vegetal e hídrico de estos 2 barrios. En Astorga, se presenta prácticamente 1 árbol de más por cada $[ha]$, respecto a Los Alpes. Igualmente Astorga tiene $2,3 [ha]$ de zonas verdes más que las que se presentan en Los Alpes, mientras que la longitud del recurso hídrico si es mucho mayor en Los Alpes, que en Astorga, esto con una diferencia de $7,6 [m/ha]$. En

variaciones respecto al índice de confort entre el uno y el otro a pesar de que las diferencias de temperatura sean de solo $0,2^{\circ}\text{C}$.

En Astorga el 65% de los árboles presentes tienen alturas por debajo de los 3,9 [m], catalogados por Alcaldía de Medellín como arbustos; mientras que solo el 11,7% corresponde a aquellos individuos con alturas superiores a los 7 [m]. En Los Alpes, por su parte el 44,7% equivale a esas individuos por debajo de los 3,9 [m], mientras que los que superan esos 7 metros alcanzan un 41%. En ese sentido se evidencia que en Astorga la mayoría de los individuos implantados tienden a estar acumulados en inmediaciones del parque de La Bailarina y en los alrededores del cauce de la quebrada La Presidenta. Un barrio de formas principalmente compactas, con un componente arbóreo mayoritariamente de baja altura, que se posiciona en un solo costado de todo el polígono barrial. Adicionalmente este barrio se ubica en cercanías al río Medellín, y al polígono de actividades económicas en transformación en el cual están localizadas industrias como Coltabaco, Haceb, Colcafe y Fotón, entre otras.

En contraste, Los Alpes, también son representados por formas principalmente compactas, sin embargo aquí el componente vegetal de más de 7 metros se distribuye un poco mejor a lo largo y ancho del barrio. Además se posiciona en una zona que limita con el área rural de la ciudad, lo cual podría influenciar en la temperatura e índice de confort de este barrio. Los Alpes presentan 0,3 % más de humedad relativa y una velocidad del viento menor en $0,1$ [m/s], que determinan un índice de confort térmico medio.

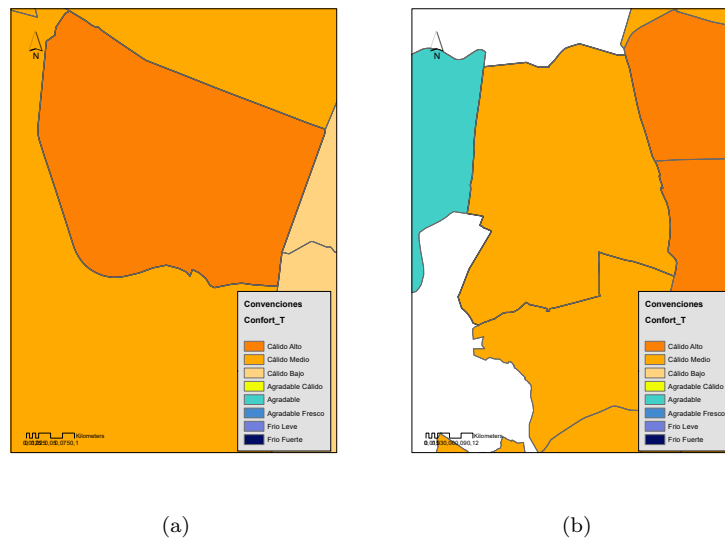


Figura 5.18: Índice de confort térmico. Barrio Astorga (a). Barrio Los Alpes (b).
Fuente: elaboración propia.

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La presente investigación se desarrolló a partir de un análisis de las formas edificadas y naturales presentes al interior del área urbana del municipio de Medellín, para lo cual se identificó que la configuración espacial del valle está dada por un trazado diverso, resultado de la influencia de diferentes movimientos urbanos que, en múltiples periodos de tiempo, direccionaron el desarrollo urbano de la ciudad. Llegando a una urbe definida principalmente por trazados del urbanismo tradicional, que constituyen las formas barriales predominantes. Formas constituidas por bloques de máximo 5 pisos que igualmente representan una notoria mayoría, donde poco a poco se han venido introduciendo los edificios de hasta 29 pisos, que se posicionaron sobre todo en la zona suroriental, centro y centro occidental del valle.

Se puede decir que las escalas de índice de confort planteadas por el IDEAM, conllevaron a un mapa que señala un área de estudio de sensaciones mayoritariamente agradables, especialmente en la zona de río y ladera. Lo cual es poco concordante con la experiencia que tienen los habitantes de la ciudad, sobre todo en términos del confort térmico, de zonas específicas como el centro de Medellín. De ahí la necesidad de sugerir una escala de rangos, que permitiera observar el contraste y el comportamiento del índice de confort térmico a escala de ciudad. Escala que finalmente deja ver una ciudad en donde la zona de río y ladera se asocia principalmente con sensaciones cálidas, sobre todo hacia el sur. Mientras que los bordes, se

relacionan sobre todo con los índices agradables y fríos.

Según lo anterior, se concluye que la limitación del índice de confort planteado por el IDEAM, es que fue diseñada para determinar dicho valor a escala de ciudad, de acuerdo a las condiciones de elevación de cada una de ellas. Sin embargo, en esta investigación se adaptó para su implementación al interior de la escala urbana, arrojando un estimado de índice de confort térmico a escala de barrio. Resultados que permiten afirmar la necesidad de avanzar en la mejora o definición de nuevos índices que permitan determinar este tipo de sensaciones térmicas, a escalas más específicas que incluso la misma escala barrial, pues como lo reveló el cálculo de la compacidad, cada 200 metros de un mismo barrio, se presentan condiciones de forma muy diferentes que pueden llevar incluso a índices de confort contrastantes. Para lo cual se requieren niveles de información de mayor nivel de detalle que deberían ser divulgadas por parte de las entidades públicas de forma abierta, por lo menos para lo que se refiere a ejercicios de investigación académica.

Igualmente, es tener claro que incluso a escala de ciudad, debería actualizarse el índice de confort térmico, de acuerdo a las condiciones morfológicas, geográficas, y térmicas de cada área urbana. Pues incluso los municipios que integran el área metropolitana del Valle de Aburrá presentan singulares diferencias entre uno y otro. De ahí, que este tipo de índices se prioricen como una necesidad en la planificación urbana del país.

De acuerdo con los mapas obtenidos, se puede concluir que los barrios en donde las sensaciones experimentadas son de tipo cálido alto y cálido medio, corresponden en general a unidades morfológicas de tipo barrial, de proyectos de ensanche y de polígonos especializados. Barrios que a su vez tienden a coincidir con las mayores áreas de vías de la ciudad. Así como con las mayores áreas de ocupación del centro y sur. Las áreas de construcción mayores a 63.2 [ha] coinciden a su vez con las sensaciones más cálidas, sobre todo hacia la zona de los polígonos especializados del sur.

La compacidad absoluta permite observar que los barrios más densos y continuos coinciden en su mayoría con la sensación experimentada cálida media y alta. Barrios que se localizan formando puntos específicos en la ciudad con altos valores de compacidad, ubicados en los alrededores del barrio La Candelaria, Laureles, Alejandría y Kennedy.

Los barrios con ausencia de espacios de encuentro se distribuyen sobre todo a lo largo del costado oriental del valle, arrojando altos índices de compacidad corregida. Formas que corresponden normalmente al trazado barrial y a las edificaciones compactas de baja altura, las cuales generan sensaciones experimentadas principalmente cálidas.

En cuanto al componente vegetal se puede decir que las zonas con mayores áreas de ZV corresponden al cerro El Volador, al parque Juan Pablo II y al barrio el Rodeo, localizados todos en zonas de sensaciones experimentadas cálidas altas y medias. Los demás barrios con zonas verdes representativas se distribuyen sobre la zona de río, ladera y borde sobre todo en el centro y sur de la ciudad. Estos barrios tienden a no relacionarse con las sensaciones experimentadas más frías, lo cual podría indicar que las zonas verdes por si solas, difícilmente conllevan a mejorar la sensación experimentada de la ciudad.

Las densidades arbóreas permiten concluir que los barrios Cerro Nutibara y San Diego presentan las mayores densidades de árboles dentro del área de estudio, ubicados en zonas de sensaciones experimentadas cálidas medias. A nivel general no se observa un patrón específico entre la densidad arbórea alta y las sensaciones experimentadas frías o cálidas, pues se distribuyen aleatoriamente por toda la ciudad. Mientras que la densidad hídrica más alta tiende a ubicarse en los barrios del borde urbano, donde las sensaciones experimentadas se asocian principalmente con el frío o el agradable cálido. Los valores más bajos de densidad hídrica a nivel general, coinciden con aquellos barrios del río y la ladera urbana, con sensaciones experimentadas de calor alto, medio y bajo.

Se puede decir que, a pesar de obtener correlaciones débiles y moderadas, es evidente que las formas propias del componente edificado y de IV, inciden en el confort térmico de la ciudad, reflejando mayor fuerza de correlación al interior de los ámbitos de río y ladera urbana. Mientras que en borde dichas formas, tienden a no correlacionarse, pues la influencia más alta del índice de confort se da frente a la temperatura.

Frente al IC, las variables de forma de mayor correlación a escala urbana son el polígono especializado en río y la formas abiertas de gran altura en ladera.

De las variables de infraestructura verde se identifica que la densidad hídrica es la de mayor influencia a nivel general sobre el índice de confort, la cual con orientaciones positivas en río y ladera, señala que entre mayor presencia tiene, conlleva a mayores valores de IC que se traducen en sensaciones experimentadas más frías.

Las correlaciones entre IV y FU, revelan que cada componente de la IV, impacta de distinta manera frente a la forma edificada o trazada en la ciudad. Por ejemplo en río, las formas de urbanización marginal son las que más se correlacionan frente a la densidad hídrica, seguido por las zonas abiertas de mediana altura frente a densidad de árboles y los polígonos residenciales frente a las áreas de zonas verdes.

En ladera, por su parte las formas abiertas de baja y mediana altura, son las que mayor

participación han dado al componente natural en esta zona de la ciudad. Mientras que en borde son los edificios dispersos, y las formas abiertas de baja y mediana altura.

A escala barrial se puede observar que las formas abiertas no mayores a 5 pisos, apoyadas con la presencia del componente arbóreo, pueden conllevar a IC, menos cálidos.

Finalmente, se puede decir que barrios que se ubican bajo condiciones geomorfológicas similares, pueden presentar IC, totalmente diferentes, acorde a la presencia y asociación de las formas edificadas y naturales. Por ejemplo el barrio Altamira y Córdoba, demuestran que a pesar de la cercanía, la transformación de las formas edificadas, y la diferente presencia del componente natural, conllevan a sensaciones experimentadas totalmente diferentes.

6.2 RECOMENDACIONES A LA GESTIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VERDE

Medellín es una ciudad que se encuentra en la parte más profunda del valle del río Aburrá, el cual se ubica en la zona central de un complejo montañoso, con unas particularidades a nivel geomorfológico que determinan sus comportamientos climáticos. Una ciudad que dada esa geoforma compleja, presenta variaciones en las condiciones meteorológicas de un punto a otro, lo cual merece toda la atención posible desde los entes encargados de la planeación urbana. Esto con el fin de implementar principios de planeación que se acojan realmente al concepto de diseño urbano bioclimático, dada la evidente necesidad de mitigar los impactos negativos que ya se presentan.

Se sugiere avanzar en los estudios que permitan determinar los posibles impactos que se puedan desplegar de los desarrollos urbanos que se vienen implantando en las zonas de altas pendientes del Valle de Aburrá. Zonas en donde los intereses del mercado inmobiliario son mayores que las mismas desventajas que pueden dejar edificios de más de 6 pisos ubicados en superficies que pueden llegar a superar pendientes del 20%. Dejando implicaciones no solo a nivel del riesgo, sino en las limitaciones que generan en fenómenos como el de ingreso de la luz solar y de los vientos en la ciudad, entre otros. Fenómenos vitales cuando de confort térmico se trata.

Es pertinente que la norma urbanística tenga especial cuidado en la edificación de torres de más de 6 pisos, debido a que no todos los barrios de la ciudad están aptos para la transformación de sus alturas originales. Pues sobre todo en el suroccidente, se ven efectos sumamente negativos

en cuanto a la reducción del índice de confort, incluso hacia el costado occidental en su zona más central y en el oriental de centro a sur.

Se plantea realizar una revisión de la norma básica constructiva del plan de ordenamiento territorial (POT) ya que como lo demuestra esta investigación la forma urbana tiene una incidencia directa en el confort térmico, en tal sentido no es suficiente robustecer los elementos de la infraestructura verde en la ciudad si esto no va acompañado de un diseño normativo que defina unos estándares correspondientes a las características de cada barrio. Es decir, la gestión ambiental y la gestión urbanística deben coincidir en la promoción del confort térmico, tratando de conservar un equilibrio entre las formas edificadas y naturales de acuerdo a los parámetros de áreas construidas, alturas de los edificios, distribución del componente arbóreo, presencia del componente hídrico, áreas de zonas verdes, etc. Factores que como bien se evidenció determinan en gran medida las condiciones de confort en los espacios.

Las decisiones que se han venido tomando desde las administraciones frente al manejo de las cuencas hidrográficas, incluso desde inicios del siglo XX, cuando se decide empezar a canalizar el río Medellín y cubrir otras quebradas como la Santa Elena, como estrategia de mitigación de inundaciones y manejo del higiene en la ciudad, se han seguido propagando incluso en la actualidad. Ante eso se sugiere especial atención sobre el manejo que se le da a este componente natural, que como bien se observó, es el que mayor influencia genera sobre el índice de confort térmico urbano. Lo cual podría incrementar el efecto potencial de la infraestructura verde urbana, para mitigar efectos adversos de tipo ambiental y térmico.

En relación a las ZCL empleadas en Medellín, se sugiere además que la administración establezca clasificaciones de ZCL oficiales y validadas que sirvan de base para los estudios propios de la autoridad competente así como del ejercicio académico, para de esa forma analizar los comportamientos térmicos y climáticos de la ciudad, en base a las morfologías urbanas que ya se han planteado desde el PEEP y el AMVA. En esa medida cualquier estudio generado tendrá el respaldo oficial de la caracterización que se realice por parte de la administración.

Se plantea además, que en Medellín se oficialice y difunda una metodología que permita el cálculo del confort térmico urbano, acorde a la complejidad geomorfológica que esta ciudad representa, pues el IDEAM hacia los años 90 planteó una metodología específica para Colombia, dado que el país tiene unas condiciones que no le permiten igualarse a métodos usados para otras ciudades. Sin embargo, es evidente la necesidad de acotar la escala de análisis de confort, pues en un mismo barrio pueden presentarse diferentes rangos. Por ello es necesario, que se avance en el estudio de estas metodologías que permitan seguir identificando las formas que sin duda mejoran la habitabilidad de la ciudad.

Anexos

Anexo A

ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

El municipio de Medellín desde sus inicios en la Villa de Aburrá, ha tenido una gran preocupación por el orden ideal de lo urbano, lo cual se ha reflejado en los primeros mapas elaborados como representación inicial de las formas de la ciudad que para aquellos tiempos obedecía los intereses particulares de pocos ciudadanos. Ese proceso evolutivo bajo el cual Medellín se gestó reconoce una serie de momentos fundamentales de transformación, donde múltiples autores como (Arcila Aristizábal, 2016), (Salazar Hernández, 2012) y (González Escobar, 2007b), definen periodos que marcan la historia del desarrollo urbano de acuerdo a las formas típicas que la trama adquiría y los comportamientos que con ello iban desarrollando sus habitantes. Reconociendo además todos aquellos personajes influenciadores en el modelo urbanístico de Medellín quienes visionaron desde aquella época la ciudad de la modernidad.

Es (Vélez White, 2000) quien describe la identidad de Medellín como un juego de creencias, una suma de signos, de elementos, de formas que se mezclan y que constituyen esa idea que hoy tenemos de esta ciudad. Como una suma de capas que se superponen (García Vázquez, 2004) y que definen precisamente esa identidad, materialidad e historia propia de la urbe. Que más adelante (Salazar Hernández, 2012) deslaminada en base al discurso urbano, con el fin de entender los comportamientos y dinámicas propias de Medellín, su entorno físico natural y artificial y los efectos psicológicos y sociales que todo esto genera dentro del ecosistema urbano.

Ecosistema, que ha sido ampliamente analizado por la institucionalidad y la academia a fin de entender sus comportamientos y así continuar en la construcción de una ciudad que se adapte a las dinámicas del desarrollo urbano. En ese orden es cuando la Alcaldía de

Medellín, la Empresa de Desarrollo Urbano y la Universidad Nacional, bajo el mandato del ex-alcalde Sergio Fajardo, desarrollan un análisis de las transformaciones urbanísticas del municipio desde 1791 hasta 2005 a modo de inventario que permite describir la condición actual de la ciudad desde antecedentes históricos como proyectos, planes y modelos que han contribuido a la definición de la actual estructura de espacios y lugares urbanos ordenadores de la forma de esta ciudad. Esto con el propósito de reconocer las formas de parcelación, urbanización y edificación típicas de cada uno de estos periodos, y así poder agruparlas en unidades morfológicas que finalmente serán las que permitirán la clasificación del territorio actual con base a su proceso de formación histórica.

Por su parte el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en asocio con la Universidad Pontificia Bolivariana realizó en el año 2007 el Estudio de la Forma y el Crecimiento Urbano de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá dentro del cual se elaboró una cartografía digital del crecimiento urbano desde 1948, 1970, 1985 hasta 1996, a partir de la que se identifican los hechos temporales y espaciales que han soportado la construcción del territorio. Periodos que se definen dada la disposición cartográfica existente en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC en base al proceso de restitución cartográfica realizado desde 1948 y soportado además en la cartografía SIGMA que el AMVA proporcionó para tal fin. Información de gran valor dada la recopilación y el formato actualizado en el cual se disponen los mapas, que son de gran ayuda en temas de investigación urbana.

De este estudio de la forma urbana, se obtienen una serie de mapas de acuerdo al periodo de tiempo analizado, los cuales resaltan las unidades morfológicas del entorno, las cuales fueron clasificadas así: A lo largo de un eje, por ramificación, por agrupación, alrededor de la industria o equipamiento, por hilera suburbana, por unidad residencial, por trama irregular y por trama regular. A su vez cada mapa permite visualizar el área de ocupación urbana que para la época predominaba, aproximando a la dispersión del desarrollo territorial de su momento.

Desde la maestría en paisaje de la universidad Pontificia Bolivariana se han venido desarrollando algunos proyectos investigativos que ya han empezado a mirar ese relacionamiento entre la infraestructura ecológica y gris de la ciudad. Ejercicio en el cual la autora del presente proyecto tuvo la oportunidad de presenciar y participar en la recopilación de información histórica que, para los fines actuales, serán igualmente de gran importancia dado el rigor con el cual se ha tenido que empezar a clasificar el entorno urbano.

Salazar Hernández es otro de los autores de gran importancia, dado el ejercicio meticuloso que realizó en su proceso de definición del entorno de la ciudad en diferentes periodos de tiempo que reconoce por eventos de gran influencia en el desarrollo urbano de Medellín, y que

por supuesto se entrecruzan con las demás tesis e investigaciones que refieren a la evolución histórico-temporal de la ciudad. Desde (Molina Franco, 2013), se contempla el proceso de evolución de la ciudad en cuanto a su relación con el entorno natural, el cual siempre ha tratado de vincular el orden, el urbanismo, la asepsia y la modernización con los espacios verdes urbanos, dado el sentimiento de evocar al mundo rural incluso cuando ya se auguraba un futuro de crecimiento y desarrollo urbano desaforado.

Por su parte, el municipio de Medellín día a día apuesta al modelo de innovación tecnológica que le permite estar siempre inmerso en las tendencias que las *Smart Cities* promueven en el mundo, tendencias que van desde la adaptación al cambio climático, la prevención del delito, las nuevas tecnologías y la recolección y monitoreo de datos en línea, entre otros (Null et al., 2014). A partir de lo que se han generado en esta ciudad y su área metropolitana plataformas como Geomedellín, Open Data e incluso Siata, que buscan ofrecer información que las entidades gubernamentales recopilan y disponen para el uso libre y público, con el fin de mantener informada a la población. Sin embargo, este tipo de datos todavía son limitados, dadas las políticas de restricción de algunas entidades, o por múltiples razones que finalmente acotan el ejercicio investigativo en base a información oficial.

Otra fuente importante de información cartográfica es la que se generó durante la definición del Plan de Ordenamiento territorial del año 2014, el plan Bio 2030, el Plan de Manejo de Cuencas Hidrográficas, entre otras como la alcaldía de Medellín y la secretaria de Salud. Que son quienes finalmente han facilitado la base cartográfica con la cual se procede a hacer el análisis histórico temporal de la ciudad. Análisis que desde investigaciones anteriores ya se ha tratado de realizar, pero que en esta oportunidad pretende descifrar el efecto que se da sobre el confort térmico de los habitantes de Medellín, frente a la interrelación existente entre la morfología y la infraestructura verde.

A.1 PERIODOS DETERMINANTES EN LA TRANSFORMACIÓN URBANA DE MEDELLÍN

(Salazar Hernández, 2012) reconoce a Medellín como un texto narrativo en el cual desde la composición discursiva que envuelve al territorio, se pueden identificar tres grandes momentos de transformación. El primero de ellos, equivale al periodo que va desde las últimas dos décadas del siglo XIX hasta las dos primeras del siglo XX, momento en el que se da la transición entre la época colonial y el proyecto burgués que la élite infunde en la ciudad. Un segundo momento es entre los años de 1925 y 1970 donde el crecimiento urbano sale de

control, motivo por el cual inician los procesos de ordenación territorial y un tercer momento es en el que el crecimiento ya es tal que ahora el poco espacio existente es competido por el mercado inmobiliario.

Para efectos de este ejercicio de desdoblamiento histórico, se consideran principalmente los periodos de tiempo trazados por Salazar Hernández, quien de la mano con González Escobar, inician su análisis desde un periodo que permite entender la introducción de modelos extranjeros a Medellín y como ello transforma no solo la trama urbana sino el pensamiento típico de los habitantes de la ciudad. Así mismo se cruza con el ejercicio realizado en el plan especial de espacio público y equipamientos para Medellín (Universidad Nacional de Colombia & Empresa de Desarrollo Urbano, 2006), el cual hace un ejercicio detallado de identificación de tipologías urbanas que se complementa con el elaborado por Schnitter et al. quien finalmente permite resaltar los sucesos y cambios que se generaron sobre el plano de la ciudad. Sucesos que en todo momento van ligados a un pensamiento urbano que generó un acercamiento específico frente al verde existente de cada periodo.

PERIODO 1791-1900

Medellín fue fundada hacia 1675, momento para el cual ya existía el rumor de que más de tres mil o cuatro mil personas habitaban en el Valle de Aburrá, llevando así a una amenaza temprana relacionada con su saturación. Para 1804, un documento local de la ciudad, informaba como el territorio ya tenía unos 25.000 habitantes y la villa en sus diversos poblados un poco más de 4.000, que para 1875 ya superaba los 10.000 habitantes. Esa ciudad de los primeros trazados limitaba su expansión al centro de la ciudad, donde se caracterizaba por sus exquisitas aguas, sus baños imponderables, sus lindos campos y su aire puro. Es decir, los habitantes en este momento no dejaban de mirar la vida campestre que aún estaba muy cerca de esa ciudad colonial. En este momento el diseño del espacio urbano todavía está lejos de todo lo que parece natural, los árboles están limitados a las jardineras o surgen ya en medio de pavimentos y lozas.

Según (González Escobar, 2007a), en este periodo se plantea la propuesta de realizar el plano de ensanchamiento futuro de Medellín, donde como ya se mencionó los doctores eran los que hacían los intentos por organizar la ciudad dada la necesidad de sanear el espacio. Es en este momento donde el dominio horizontal de calles angostas y casas de no más de dos plantas, obedecían un lenguaje sencillo y modesto; Mientras que los espacios públicos estaban reducidos a los espacios de encuentro católico, los cuales dominaban en el paisaje de la ciudad.

Son los nuevos ciudadanos que llegan desde el mundo rural al urbano los que introducen

nuevos elementos capitalistas que reducen el dominio religioso. En este plano de la ciudad la zona periférica era el escenario propio de las personas pobres, sin hogar y fallecidas, donde ya la vida urbana de los ricos se alejaba de los pobres. El entorno de borde urbano empieza a ser un lugar de expansión ante los deseos del nuevo burgués, quien ahora adquiere tierras para introducir nuevos componentes urbanos, que más adelante dinamizan el entorno.

Durante este periodo llega la luz eléctrica a la urbe, y con ello trae nuevas rutinas a la vida de los ciudadanos quienes ahora incursionan nuevos espacios de encuentro como la catedral, el parque y la plaza, las cuales inician primeramente por el norte de medellín. Ahora el ciudadano se exhibe en el espacio público dadas las nuevas rutinas horarias que se generan. En este momento es cuando el arbolado tiene cabida en el diseño del espacio urbano, desde el parque hasta sus calles. Periodo para el cual esos nuevos elementos del espacio son contrastantes respecto de aquellos de la era colonial, los cuales representaban para los nuevos burgueses una parte de la ciudad vieja que ahora estaba en un ideal de estorbo para ese nuevo proyecto burgués.

PERIODO 1900-1925

Durante este periodo aparecen nuevas plazas de mercado cubiertas hacia el sur y oriente de la ciudad dada la inconveniencia que el mercado público tenía de estar junto a la iglesia y los edificios comerciales existentes en el momento. Durante este periodo el centro histórico de Medellín se extendía a lo largo de la quebrada Santa Elena y por la calle La Ladera, igualmente que al norte por la carrera Bolívar, al occidente por la calle San Juan conectando con la América y por la calle Colombia conectando con Robledo (Schnitter et al., 2007). Dado el aumento de actores en la ciudad, la demanda de servicios y espacios de alimentación, entretenimiento y hospedaje incrementa, con ello llegan nuevos hoteles, inquilinatos, cafés y cabarets en los alrededores de la plaza de mercado que ahora marcan los ritmos del tiempo y la economía urbana (Salazar Hernández, 2012).

Ya hacia finales del XIX e inicios del XX, cuando en la ciudad aún domina el mundo rural sobre el urbano, es cuando se da inicio al proceso de revegetalización urbana, a pesar de que la vegetación convive incluso dentro y alrededor de las casas, al punto que el mundo rural esta a simple vista del urbano. Más adelante es el médico Manuel Uribe Ángel quien empieza a catalogar las plantas como hacedoras de lugares incultos e insalubres pues bajo ciertas condiciones pueden ser foco de exhalaciones pútridas que posteriormente para el periodo que esta entre 1905 y 1928 genera el inicio de una etapa en la que la población empieza a ver la escasez de espacios verdes y parques en la ciudad, dado el acelerado crecimiento urbano.

PERIODO 1925-1940

En esta fracción de tiempo, el centro histórico se consolida como la centralidad principal de Medellín, la cual se extiende por el costado nororiental con el barrio El Salvador, que ya se caracterizaba por su trazado barrial, además surge el Barrio Campo Valdés y Aranjuez con el trazado de urbanizaciones piratas o de gestores privados, resultado de la parcelación legal e ilegal de fincas.

Igualmente nace el barrio Manrique y Prado, clasificados dentro del modelo de proyectos de ensanche, que se traduce en una morfología urbana típica de la modernidad. En este modelo, se da la repetición tipológica de edificaciones, a través de modelos geométricos claros para la ocupación del suelo. Finalmente por el costado suroccidental de la ciudad crece el Barrio Antioquia, clasificado igualmente como un proyecto de ensanche en la ciudad (Schnitter et al., 2007).

Estos procesos se dan en respuesta al notorio crecimiento que se lleva a cabo; lo cual desencadena entre tanto la canalización del río Medellín, que permite mejorar las condiciones de insalubridad que existían hacia esa parte de la ciudad. Además, es hacia las zonas de periferia y tras la llegada del ferrocarril en 1910, donde se permite que médicos e ingenieros puedan trazar normas edificativas que definen jerarquías viales y zonas para equipamientos determinados, así se tendría mayor control del orden y la higiene urbana. En este momento, igualmente se introduce el bosque urbano, el cual funciona a modo de pulmón que no solo promueve la asepsia sino el orden de las conductas en Medellín. Mientras que los equipamientos como hospitales, escuelas y la cárcel se dispersan sobre el plano, pues ya no están solo en la zona céntrica. Con esto se busca controlar no solo a las personas sino a los espacios de la ciudad (Salazar Hernández, 2012).

PERIODO 1940-1960

Durante este periodo, la ciudad se extiende hacia la zona suroccidental, formándose así, el Barrio Belén, el cual responde al modelo de trazado Barrial. Por el noroccidente, surge otro barrio que responde al modelo de urbanización pirata, ese es el Barrio La Esperanza. Por su parte hacia el costado centro occidental se diseña y construye el Barrio Laureles y San Joaquín con proyectos de ensanche que avanzan hacia el costado a lo largo de toda la avenida Guayabal (Schnitter et al., 2007).

De acuerdo con Salazar Hernández, el paseo de la Junín se convierte así en un escenario donde

los transeúntes cruzan a modo de pasarela para ir y venir y ser vistos; en este nuevo corredor existente entre el Teatro Europa y La Catedral, se moldea la imagen del caballero y la dama. Sin embargo, con ello, surge la escena de desigualdad e inequidad, es decir salen a relucir las heridas que la presencia de los pobres genera en la ciudad.

El valor del suelo en la zona céntrica de Medellín, tiende a la pérdida en comparación a los modelos erguidos en épocas recientes, esto en pleno auge de la economía industrial en la ciudad, la cual en cierta medida pretende generar un nuevo culto ante el poder corporativo existente, el cual genera modificaciones en la silueta de la ciudad, dados los edificios altos que existían. Se habla incluso de como ese nuevo escenario pasa por encima de la huella de los espacios de atrás, llevando a restituir esa memoria urbana, pues para entonces el entorno ya había sido enmascarado por la modernidad.

Durante este periodo se da una siembra masiva de árboles en el parque bolívar, en cumplimiento de las reformas según el plano realizado por Vasquez y Viera (Molina Franco, 2013). Además de los arboles que se sembraron a lo largo de cada costado de las vías de la ciudad, lo cual se asumió como un acto equivocado debido a que restaba utilidad a labor de las vías.

PERIODO 1960-1980

Ahora bien, en esta fracción de la historia de Medellín, la ciudad continuó extendiéndose hacia el costado suroccidental donde luego se establece la zona industrial de la ciudad. Por el lado noroccidental, se expande con el Barrio La Esperanza y Castilla propias del modelo de urbanización pirata ya mencionado. Se consolida además la zona centro oriental con la edificación de múltiples proyectos de ensanche y hacia las zonas de borde de quebradas, se instauran algunos trazados barriales irregulares que poco a poco se adaptan a la topografía. Así es como inician las aglomeraciones en las periferias específicamente hacia la zona nororiental.

Este momento de construcción fragmentaria, dado el dinamismo y crecimientos desmesurado de la ciudad, va respondiendo a múltiples procesos urbanos, legales o ilegales que, aunque no cumplen en su totalidad los modelos propuestos, si conciben una nueva forma de hacer ciudad. Surgen centros educativos de gran importancia nacional como la universidad de Medellín, de Antioquia, la nacional, la Pontificia Bolivariana, entre otros espacios como el aeropuerto, colegios y hospitales, etc.

Para 1976 se da inicio a la construcción de la replica de un pueblo antioqueño que representa la época de 1900 y 1920, esto dado el aniversario 300 de la ciudad de Medellín.

PERIODO 1980-ACTUALIDAD

Según Salazar Hernández en este último periodo, la ciudad incrementa en un 119% su área urbana. Lo cual genera que se agote el espacio de expansión disponible en una zona de valle estrecho y geográficamente complejo. De modo tal que el paisaje urbano se compone de una gran amalgama entre lo informal propio del mundo rural presente en cada poblador proveniente del campo que para este periodo engrosa las áreas de marginación que, desde mediados del siglo XX, ya se venían configurando. Por otra parte, hace parte de ese paisaje el modelo de segregación evidente fuera de las áreas que son objeto de negocio inmobiliario y que desde los intereses privados aumenta la oferta de vivienda y con ello su rentabilidad, reduciendo el espacio de los lugares urbanos de calidad.

Igualmente, la llegada de familias campesinas que se establecen en zonas que no pertenecen al interés del mercado de tierras, es muy usual, en donde buscan desarrollar una configuración espacial similar a las de las zonas de origen, dado el desconocimiento que los nuevos pobladores tienen de la norma urbana y el desinterés que la misma ciudad tiene de estas áreas. Así el resultado son espacios orgánicos contruidos de materiales que desecha la ciudad formal que configuran una maraña de calles estrechas en donde la diferencia entre lo publico de lo urbano se difumina totalmente. A su vez los edificios comunitarios que albergan múltiples funciones son piezas que en este periodo constituyen la estructura de la ciudad.

Así mismo este autor, expresa como tras una serie de conflictos políticos en el país, la construcción de vivienda es cedida al sector financiero el cual conlleva al urbanismo del frente Nacional y si mismo a una producción de vivienda en serie, la cual dejó en el olvido los escenarios de espacios de calidad y cantidad suficientes que promovían el desarrollo de la vida urbana. Desde aquí la construcción de ciudad se ve reducida a una precariedad estética donde los nuevos componentes no están presentes y por ende se multiplican. un ejemplo son las placas deportivas.

Para este periodo, la ciudad se continúa extendiendo hacia el costado suroriental, donde predomina el modelo de polígono residencial. Hacia el costado noroccidental, la ciudad se condolida mediante proyectos de ensanche como el Barrio 12 de octubre. Por su parte en la zona centro oriental y oriental, se expande haciendo uso de modelos de aglomeraciones e invasiones (Schnitter et al., 2007).

Anexo B

BARRIO TRICENTENARIO Y BARRIO ALTAMIRA

B.1 BARRIO TRICENTENARIO

Componentes de morfología urbana:

Tricentenario es un barrio diseñado con fines casi que exclusivamente residenciales, lo cual se sustenta en que sus formas trazadas corresponden principalmente al polígono residencial, que cubre casi 4 [ha] del área del barrio. Otras morfologías como las de los polígonos especializados se han ido anexando, cubriendo un poco menos de 2 [ha] de su extensión total.

En este punto se destaca que los polígonos residenciales, corresponden a un modelo de urbanización moderno en el cual la edificación con organización interna domina, generando un trazado por paquetes con bordes discontinuos y monotonía interior. En el caso de Tricentenario se puede decir que su trazado obedece a un polígono de edificaciones abiertas y aisladas, en donde no se presentan elementos de cerramiento como muros o mallas.

Los polígonos especializados, en este barrio son usados para el desarrollo de estructuras como la Unidad de vida Articulada (UVA) Sin Fronteras, la parroquia San Alfonso María de Ligorio, la iglesia Cristiana de Tricentenario y las industrias Prodevases S.A.S y Andercol S.A. Polígonos establecidos hacia el costado más occidental del barrio.

En términos del trazado vial, en este barrio hacen presencia arterias principales, colectoras,

férreas, autopistas urbanas, vías de servicio y privadas. Las cuales obedecen la categorización planteada desde la norma urbana, donde las arterias principales, ocupan aproximadamente 39 metros lineales del territorio urbano, las colectoras unos 2.484 metros, las férreas 847 [m], las autopistas urbanas unos 854 [m], las vías de servicio unos 560 metros y las de uso privado unos 492 metros lineales aproximadamente. Lo cual, en base a la cartografía recopilada y los análisis geospaciales realizados, permite determinar que el trazado del barrio ha cedido unas 13 [ha] a la movilidad vial del barrio.

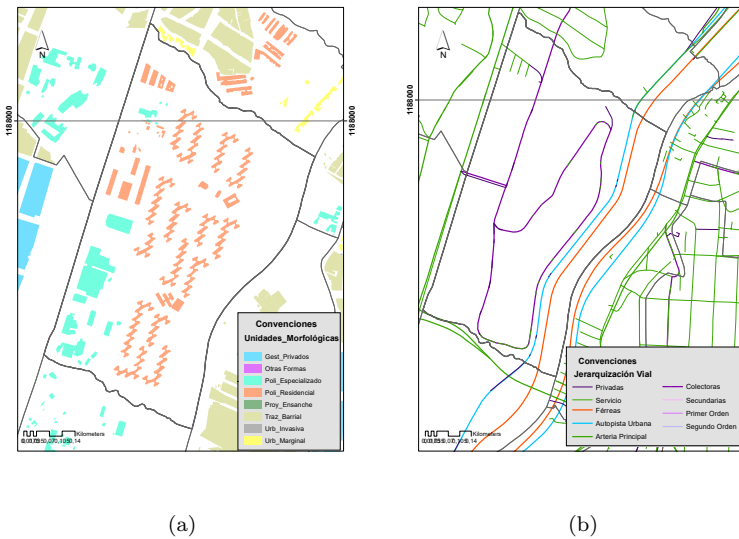


Figura B.1: Barrio Tricentenario.

(a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas.

Fuente: elaboración propia.

las cuales representan la densidad del flujo vehicular que transita por allí.

Además el barrio Tricentenario, presenta un alto flujo vehicular por su costado oriental, debido a que es la zona correspondiente a la autopista norte, donde además esta la red férrea que moviliza al metro de la ciudad. Por su parte las vías colectoras ingresan por todo el barrio, para conectar a las arterias principales cercanas como es la de la carrera 64C.

Referente a los números de pisos edificados al interior de este barrio se puede decir que la totalidad de las estructuras edificadas tienen niveles que no exceden los 5 pisos. Estructuras que en relación al máximo urbano de 39 pisos, no exceden los 15 [m] de alto, que a nivel general determinan que este barrio destina 5,7 [ha] de la superficie a la edificación de estructuras.

Componentes de infraestructura verde:

Conociendo de antemano que de acuerdo a los parámetros del Manual de Espacio Público de Medellín (MEP), las autopistas urbanas ocupan unos 57,9 [m] de ancho contemplando los andenes, las colectoras unos 32 [m], las de servicio unos 19 [m], las férreas unos 18 [m] y el sistema vial unos 32 [m]. En ese orden se dice entonces que en el barrio Tricentenario la gran mayoría del espacio ocupado por la red vial pertenece a vías de la categoría de colectoras y autopista urbana, las

En relación al componente natural se puede decir que este barrio cuenta con casi 14 [ha] de zonas verdes de uso recreacional las cuales son usadas para la instauración de jardines o la recreación pasiva y contemplativa de los espacios. Estos espacios dada su composición deben contribuir a la función ecológica y ambiental, así como en la reducción del ruido y la temperatura superficial urbana. Además, sobre el borde norte del barrio se ubica el corredor ecológico lineal La Moreno, el cual tiene 1 [ha] en inmediaciones del barrio en mención. Destacando en ese orden la importancia ecológica que brindan a la red ecológica de la ciudad.

Los cuerpos hídricos presentes no exceden los 2.799 metros lineales. De los cuales 1.180 [m] corresponden a drenajes principales, representados en este caso por el cauce del río Medellín y 1.618 [m] correspondientes a otras redes secundarias tales como la Quebrada Minutas, La Potrera, La Caribia, La Rosa y La Velásquez. Donde la mayoría de ellas se encuentran cubiertas, quedando de esa forma bajo cada uno de los proyectos urbanos desarrollados en la zona. Solo una pequeña parte de la quebrada La Potrera, tiene su cauce de forma natural y en otras partes debidamente canalizado.

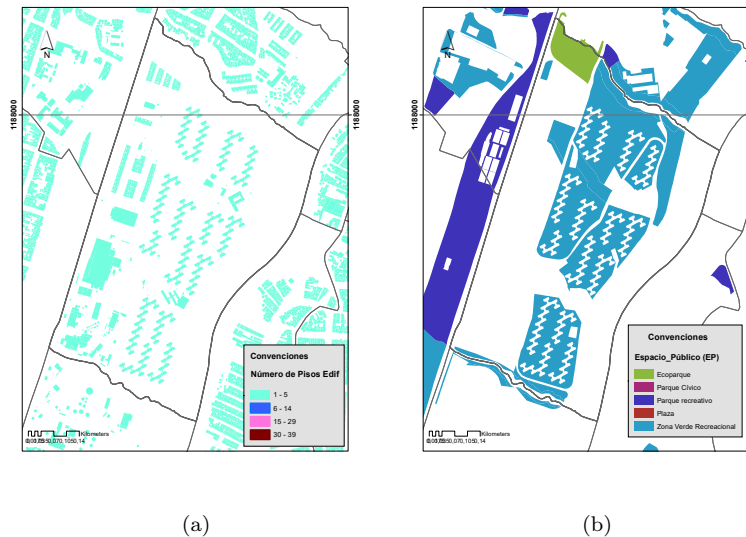


Figura B.2: Barrio Tricentenario. (a) Pisos edificados. (b) Espacio público.

Fuente: elaboración propia.

Como ya se ha mencionado, Tricentenario es un barrio donde su vegetación es uno de sus factores diferenciadores a escala urbana, barrio en el cual el sistema de árbol urbano ha registrado unos 309 individuos arbóreos, cuyas alturas llegan incluso hasta los 24 metros de altura.

En términos de alturas arbóreas y de acuerdo a los parámetros del MEP, se puede decir que al menos 185 individuos tienen alturas inferiores a los 4 metros, alturas que obedecen a la tipología de arbustos. Unos 81 individuos por su parte tienen alturas entre 4 y 8 metros, alturas propias de árboles pequeños, 107 árboles con alturas entre los 7 y 15 m, catalogados como árboles de altura media y 10 individuos con alturas superiores a los 10 metros, vistos como árboles altos. Evidentemente abundan los arbustos y los árboles medianos dentro del

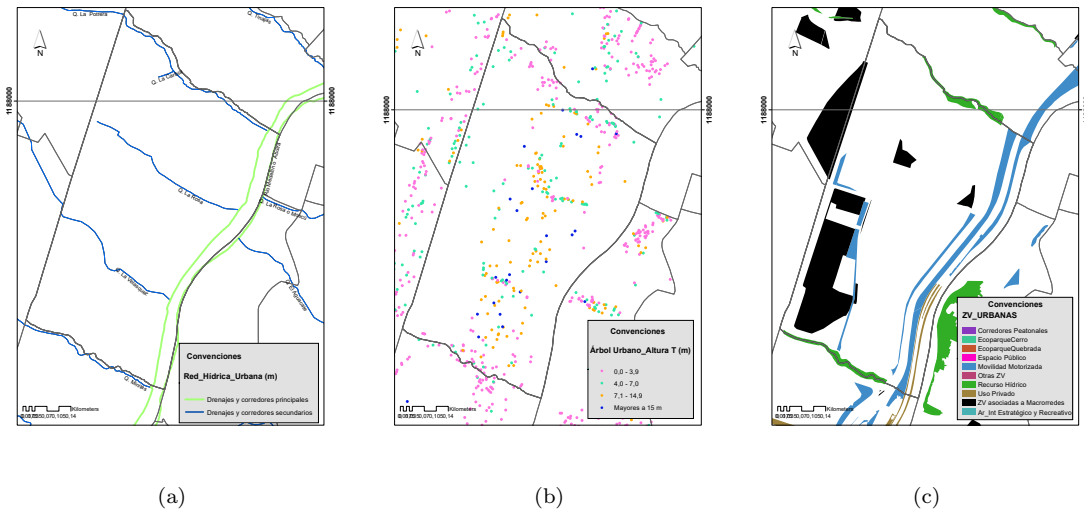


Figura B.3: Barrio Tricentenario. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes.

Fuente: elaboración propia.

barrio, cuyas especies más típicas son el casco de vaca, el chimichango, el jaboncillo, la acacia forrajera, el guayabo, el tulipán africano y el urapán, entre otros.

Además y retomando las zonas verdes se puede decir que en el interior del barrio Tricentenario 2,8 [ha] se asocian a los ejes y estructuras de movilidad motorizada, asociados en este caso a la sección vial. Unas 4,5 [ha] se asocian a las macrorredes urbanas, mientras que menos de 1 [ha] se asocia al recurso hídrico y al uso privado. De acuerdo al trazado de bloques abiertos, es casi nula la existencia de zonas verdes de uso privado, pues en este barrio la iniciativa barrial ha implantando un componente vegetal de uso público y comunitario.

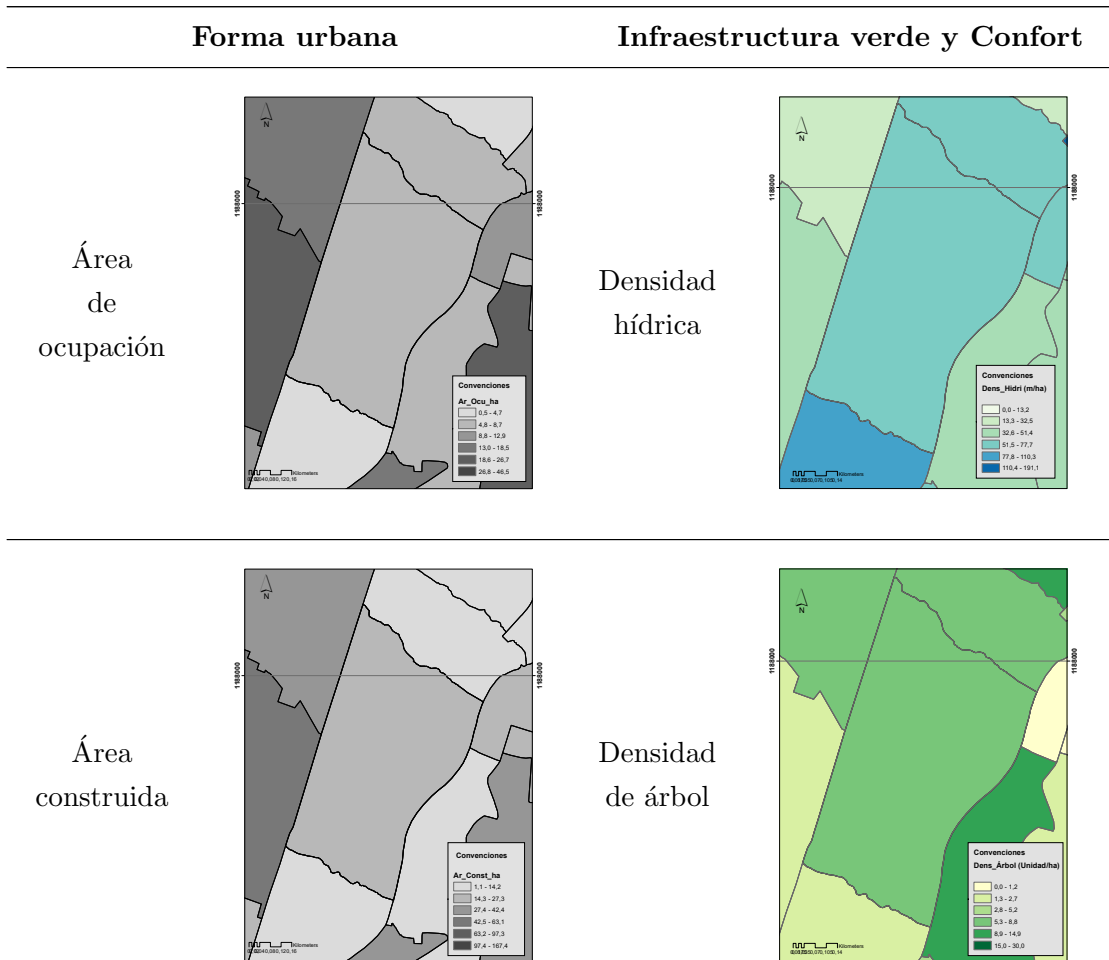
En ese orden, es como se puede decir que la estrategia del componente vegetal del barrio ha estado más fuertemente ligada a la introducción de árboles urbanos desde la iniciativa principalmente comunitaria. Y al fortalecimiento de las zonas verdes de las secciones viales de la autopista norte desde la iniciativa de la administración. Donde finalmente la suma de esfuerzos ha llevado a que este barrio sea punto clave en la regulación térmica y ecológica de la ciudad.

Indicadores Calculados:

Los datos que determinan la composición y forma de los barrios de la ciudad de Medellín permiten obtener un valor que se relaciona con el comportamiento de cada variable dentro de

un rango establecido a escala urbana, es por eso que los mapas que se muestran a continuación, señalan en que rango esta el área por ejemplo el área de ocupación y el volumen edificado del barrio Tricentenario. En ese orden se puede decir que el barrio tiene un área de ocupación intermedia en relación a los demás barrios de la ciudad, es decir que sus edificaciones cobijan unas 5,7 [ha] del polígono barrial. En cuanto al área construida, este barrio cuenta con 18 [ha] edificadas que se traducen en 450.941 [m³] de volumen construido. Un valor relativamente bajo en relación a los rangos establecidos a nivel urbano.

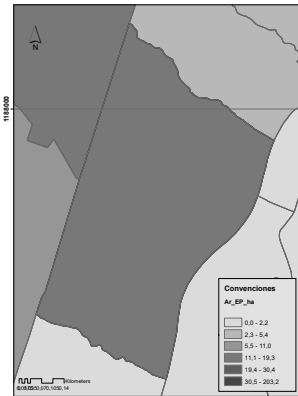
En ese sentido a continuación se presentan cada uno de los mapas obtenidos en el cálculo de los indicadores del barrio Tricentenario, los cuales determinan los comportamientos en relación a la presencia de la infraestructura verde y edificada de este barrio.



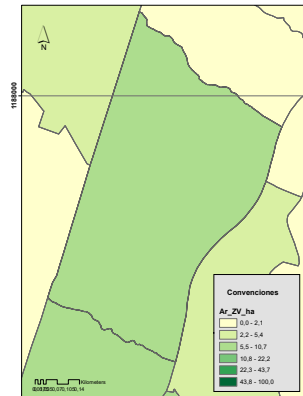
Forma urbana

Infraestructura verde y Confort

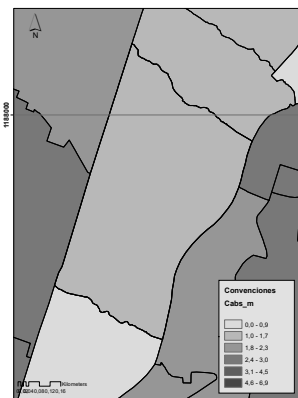
Área espacio público



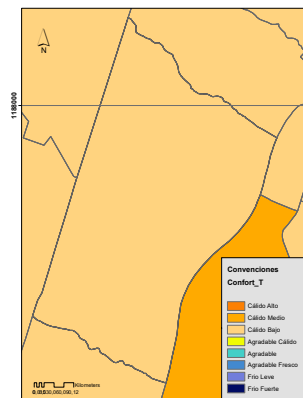
Área zonas verdes



Compacidad absoluta

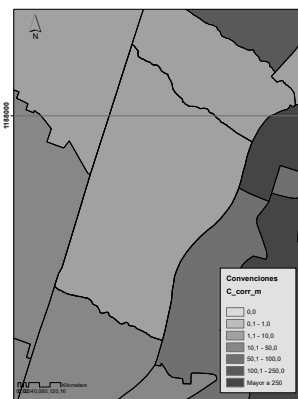


Índice de confort

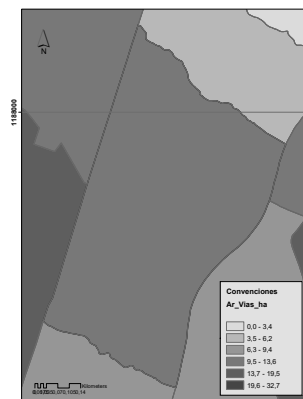


Forma urbana

Compacidad corregida



Área de vías



Forma urbana

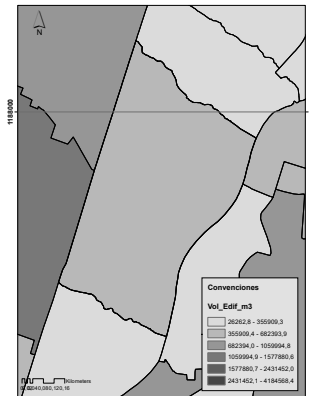
Volumen
edificado

Tabla B.1: Indicadores calculados para el barrio Tricentenario.

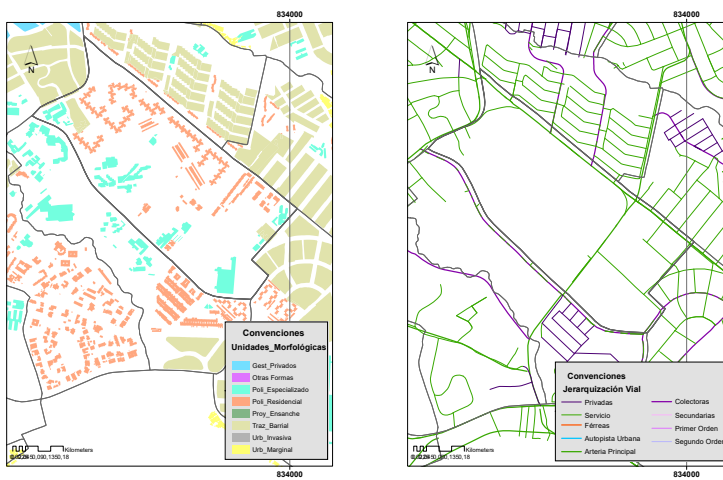
B.2 BARRIO ALTAMIRA

Componentes de morfología urbana:

Similar a lo ocurrido en Tricentenario, en este barrio se desarrolló el modelo urbano de polígonos residenciales en mayor medida, dado que su principal propósito es el habitacional. Sin embargo, se fueron anexando los polígonos especializados propios del Tecnológico de Antioquia, del Colegio Bárbara Micarelli, Corporación para las Investigaciones Biológicas y el Laboratorio Departamental para la Salud Pública. Ubicados todos estos más hacia el costado occidental del barrio.

A diferencia de Tricentenario, en este barrio empiezan a aparecer pequeñas porciones del trazado Barrial, propio de las primeras extensiones urbanas, donde el urbanismo de plazas, parques, calles y edificaciones dominaba. Es así como este trazado no ocupa más de 1 [ha] al interior de este barrio, mientras que el polígono residencial alcanza casi las 3,2 [ha] y el polígono especializado las 2,3 [ha].

Es así como la mayoría de la superficie edificada corresponde a unidades edificadas abiertas y aisladas, que cedieron en este caso espacio para el emplazamiento del componente vegetal.



(a)

(b)

Figura B.4: Barrio Altamira.

(a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas.

Fuente: elaboración propia.

El trazado vial del barrio Altamira se caracteriza por corresponder a arterias principales y vías de servicio urbano, donde las arterias tienen prelación sobre las demás vías urbanas a excepción de las férreas y las autopistas, dado que su función es permitir el flujo de largos recorridos. Lo cual se traduce en vías de alto tránsito vehicular diario. Y las vías de servicio como aquellas que complementan y mejoran el acceso a las propiedades y actividades adyacentes, donde su flujo no es tan permanente y congestionado como el anterior.

Además de las colectoras que conducen el tráfico a las arterias principales urbanas.

Las arterias principales abarcan una longitud aproximada de 1.646 [m] al interior de este barrio, correspondientes principalmente a la calle 80, la cual pasa a lo largo de todo el costado que va de la zona noroccidental a la suroriental. Además del tramo de la carrera 72, el cual atraviesa el barrio por el costado más oriental del polígono barrial. Así mismo las vías de servicios, tienen una longitud de 2.183 [m] lineales, y las colectoras una extensión de 156 [m].

Al interior de Altamira se destaca que aproximadamente 6,7 [ha] se han construido a través de edificios que oscilan entre 1 y 5 pisos. Mientras que 0,3 [ha] corresponden a edificios entre los 6 y 14 pisos y 0,2 [ha] a edificaciones entre los 15 y 29 pisos, para un área total de ocupación de 7,4 [ha]. Considerando la clasificación planteada de las ZCL, en Medellín, se puede decir que la zona en la cual están establecidos los bloques que fueron diseñados para los juegos de 1978, se clasifican como una zona de estructuras abiertas de mediana altura (AMA), al igual que la parte donde se ubica el Hospital Pablo Tobón Uribe y la Corporación para Investigaciones Biológicas. La parte donde se encuentra el Tecnológico Antioquia y la Institución Educativa San Vicente de Paúl, por su parte obedecen a la morfología de edificaciones abiertas de baja altura (ABA) y las zonas de alturas superiores a los 15 pisos obedece a la morfología de edificaciones abiertas de gran altura (AAA). Formas que terminan determinando los comportamientos de las islas de calor en la ciudad.

En términos del espacio público Altamira cuenta con 0,1 [ha] de parques recreativos y 8,6 [ha] de zonas verdes recreacionales, las cuales han sido destinadas para la adecuación e implantación del componente vegetal que hoy cataloga al barrio como uno de los pulmones verdes de Medellín.

En la zona que está más aislada de las torres edificadas para 1978 se evidencia total ausencia de los espacios públicos urbanos, espacios que de acuerdo al mapa

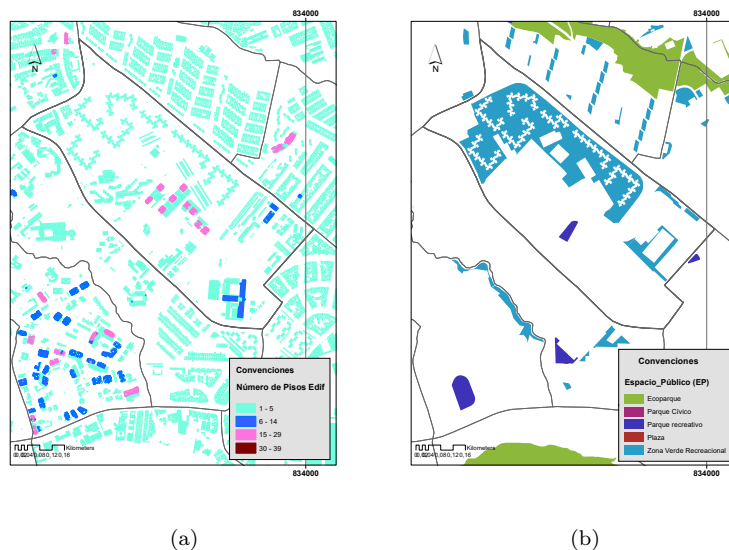


Figura B.5: Barrio Altamira. (a) Pisos edificadas. (b) Espacio público.

Fuente: elaboración propia.

de unidades de forma y de pisos edificados, han sido cedidos más al trazado de polígonos especializados y de torres mayores a los 15 pisos. Formas que evidentemente aislaron el espacio público por lo menos al interior de este barrio de Medellín.

Componentes de Infraestructura Verde

La red hídrica presente al interior del barrio Altamira comprende 1.046 metros lineales de cuerpos hídricos secundarios que alimentan la red principal del río Medellín. Cuerpos que atraviesan el barrio desde su zona noroccidental hasta la suroriental, los cuales presentan algunos tramos que han sido cubiertos por los desarrollos urbanos y otros debidamente canalizados.

La presencia de árboles al interior del barrio Altamira se traduce en 65 individuos registrados por el sistema de árbol urbano SAU, de los cuales 15 individuos presentan alturas inferiores a 4 [m], 17 individuos alturas entre 4 [m] y 7 [m], correspondientes a árboles bajos, 26 individuos con alturas entre los 7,1 [m] y los 15 [m] categorizados como árboles de altura intermedia y 7 árboles con alturas superiores a los 15 [m], vistos desde el manual de silvicultura, como árboles altos. Al interior de este barrio la altura total más representativa las tiene solo 3 árboles con 20 [m], 22 [m] y 26 [m] de las especies Urapán y Eucalipto respectivamente.

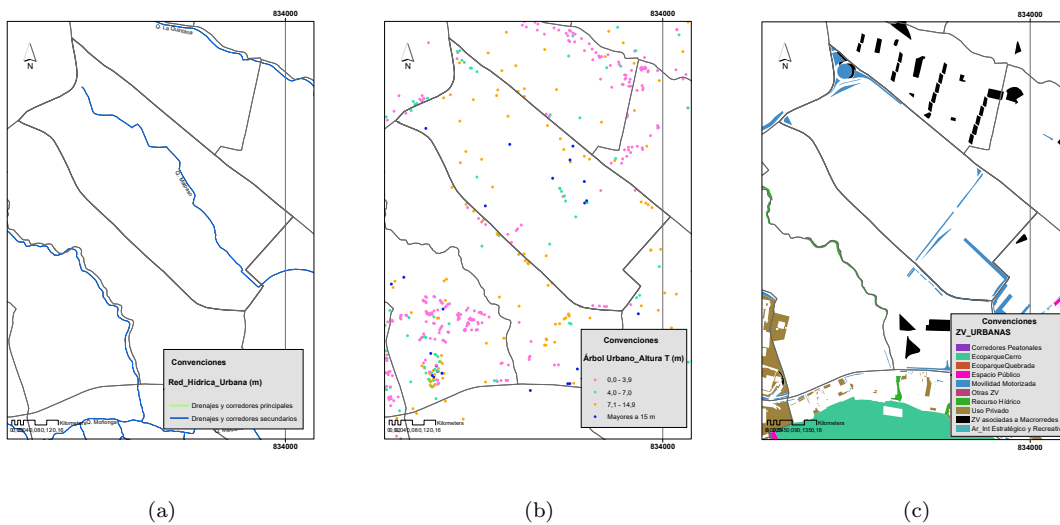


Figura B.6: Barrio Altamira. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes.

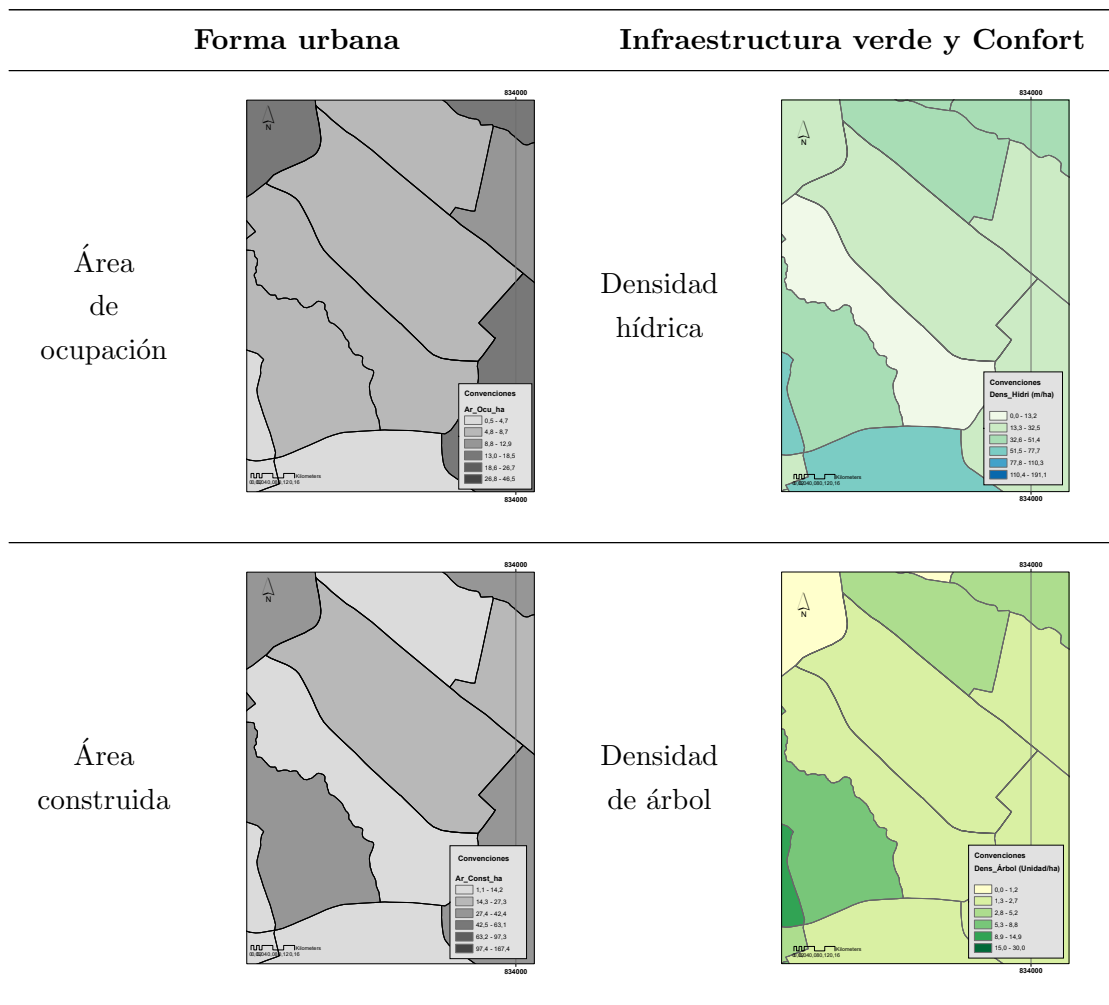
Fuente: elaboración propia.

En referencia a las zonas verdes urbanas se puede decir que al interior del barrio Altamira, la totalidad de las zonas verdes reportadas se han introducido con el fin de acompañar los ejes

y las estructuras que se destinan para la movilidad urbana. Exactamente 1,5 [ha] de zonas verdes asociadas a la movilidad motorizada, ubicadas en el intercambiador de la carrera 80, separadores viales y zonas verdes de la sección vial en general.

Indicadores Calculados:

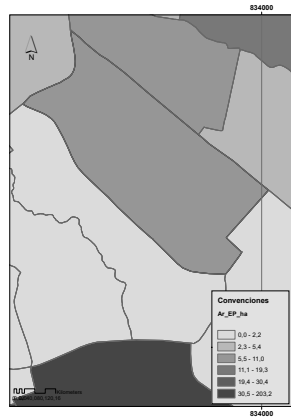
Los indicadores calculados para este barrio arrojan resultados que indican un sector con un área de ocupación mayor que la que se presentó en el barrio Tricentenario. Un barrio con baja compacidad absoluta y con una compacidad corregida que según los estándares planteados por Agencia d'Ecología Urbana de Barcelona infringe los rangos de sostenibilidad urbana. En ese orden se presenta a continuación la tabla que resume cada uno de los indicadores calculados para este barrio, en relación a los componentes descritos anteriormente.



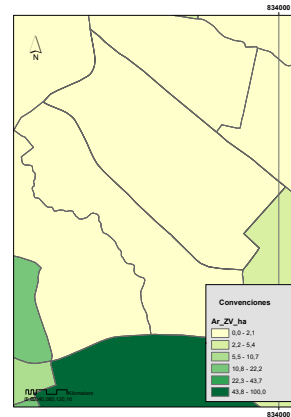
Forma urbana

Infraestructura verde y Confort

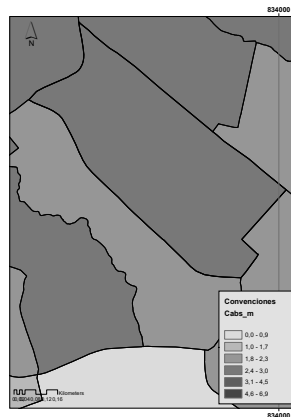
Área espacio público



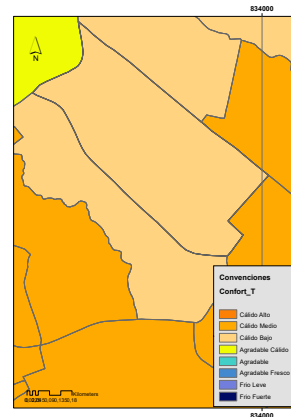
Área zonas verdes



Compacidad absoluta

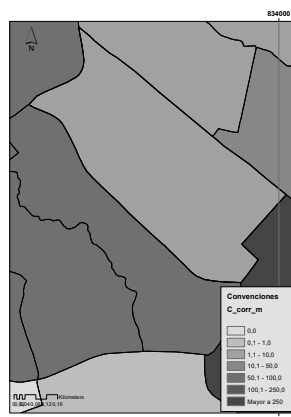


Índice de confort

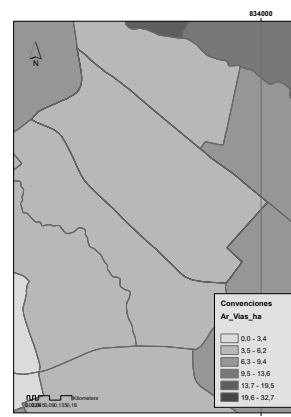


Forma urbana

Compacidad corregida



Área de vías



Forma urbana

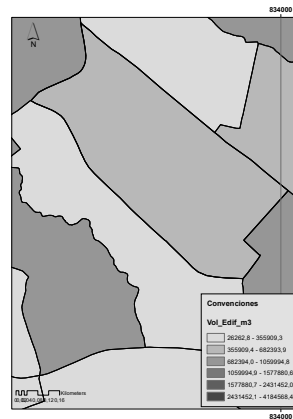
Volumen
edificado

Tabla B.2: Indicadores calculados para el barrio Altamira.

Anexo C

BARRIO CÓRDOBA Y BARRIO LA MANSIÓN

C.1 BARRIO CÓRDOBA

Componentes de morfología urbana:

El barrio Córdoba tiene una gran importancia histórica en la ciudad de Medellín, dada su cercanía a lo que se conoce como el cementerio universal de la ciudad, el cual es el primer cementerio municipal proyectado para ciudad, que además es diseñado por el arquitecto Pedro Nel Gómez, dada la necesidad de sepultar los cadáveres que incrementaban en la ciudad para las primeras décadas del siglo XX. En esa medida este campo santo actuó como atractor para el asentamiento de habitantes. Que más adelante dado el crecimiento de la ciudad, se fue poblando en mayor proporción hasta consolidarse como el barrio que es hoy.

Es así como este barrio de unas 23 [ha] de extensión total, se destaca porque contiene múltiples morfologías urbanas presentes, entre ellas la urbanización marginal, y el polígono residencial. Estas formas del trazado urbano, son de las primeras instauradas al interior de este barrio, ubicadas en el límite más directo al cementerio universal.

Así mismo la unidad morfológica de trazado barrial hace presencia, siendo la de mayor cobertura, abarcando unas 9 [ha] del total trazado. Por su parte la urbanización marginal cubre 1,6 [ha] del barrio, así como el polígono residencial abarca 1,3 [ha] de extensión. En cuanto

al polígono especializado, se puede decir que cubre menos de 1 [ha], exactamente 1.155 [m²], en la zona donde hoy existe la institución educativa San Vicente de Paúl.

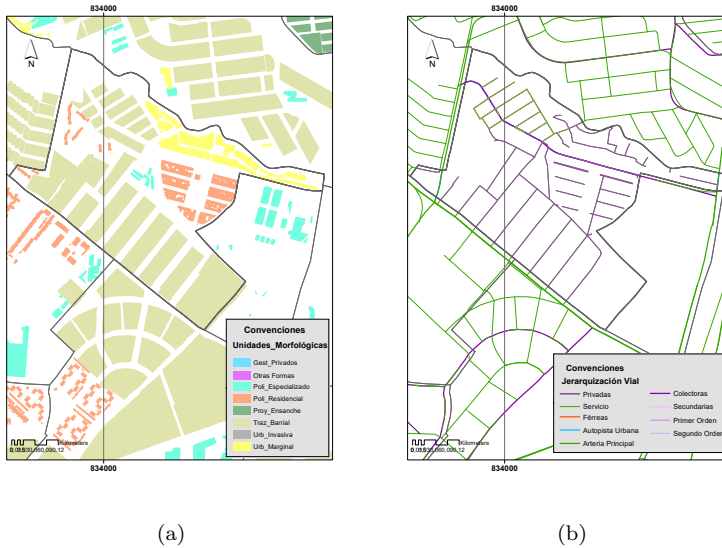


Figura C.1: Barrio Córdoba.

(a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas.

Fuente: elaboración propia.

interior de las unidades privadas, esta tipología especialmente ubicada entre el trazado barrial del costado occidental más superior del barrio.

Así mismo, las vías de mayor flujo vehicular al interior del barrio Córdoba corresponden a los 536 metros de vías Colectoras que conectan además con el barrio López de Mesa. Entre otras vías como los 117 metros de Arteria Principal que pasan por su costado oriental exactamente por la carrera 65 y hacia su parte más occidental por la Carrera 72.

El número de niveles que las estructuras edificadas han implantado al interior del barrio Córdoba, son principalmente entre 1 y 5 pisos, las cuales cubren una extensión aproximada de 8,7 [ha] del total del barrio, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo de todo el polígono barrial.

Otras torres habitacionales con alturas superiores a los 6 pisos, cubren menos de 0,5 [ha] de la superficie barrial. Torres edificadas al interior del trazado de urbanización marginal y barrial, donde la altura máxima alcanzada en este barrio es de 22 pisos.

En relación al espacio público de esta zona de la ciudad, se puede decir cuenta con 0,5 [ha] de zonas verdes recreacionales ubicadas principalmente hacia los límites laterales del barrio,

El trazado vial demarcado para el barrio Córdoba, desde su tipología de Servicio, recorre unos 4.072 metros lineales, buscando principalmente el acceso a las propiedades de la zona. Esta categoría de vías, no es de las de mayor flujo urbano, pues se restringe por el tipo de transporte público y de carga que circula, además de la velocidad que el mismo dinamismo urbano permite para estas zonas. Complementario a esto se encuentran unos 96 [m] de vías al

en su zona más oriental, en cercanías al Cementerio Universal y en la más occidental con el ecoparque de la quebrada La Quintana. Dicho ecoparque también tiene una importante función y presencia en el costado occidental del barrio, con 0,9 [ha] al interior de la cobertura barrial.

El parque recreativo, por su parte se extiende por 0,5 [ha] de la superficie, distribuidos en 2 parques, donde uno se ubica a unos 111 metros lineales del límite que separa del Cementerio Universal, y el otro en todo el centro del polígono barrial. Ambos parques impermeabilizados en gran medida, donde el SAU, no reporta individuos vegetales existentes. Sin embargo, las imágenes de Google Maps, develan la presencia de algunos individuos arbóreos.

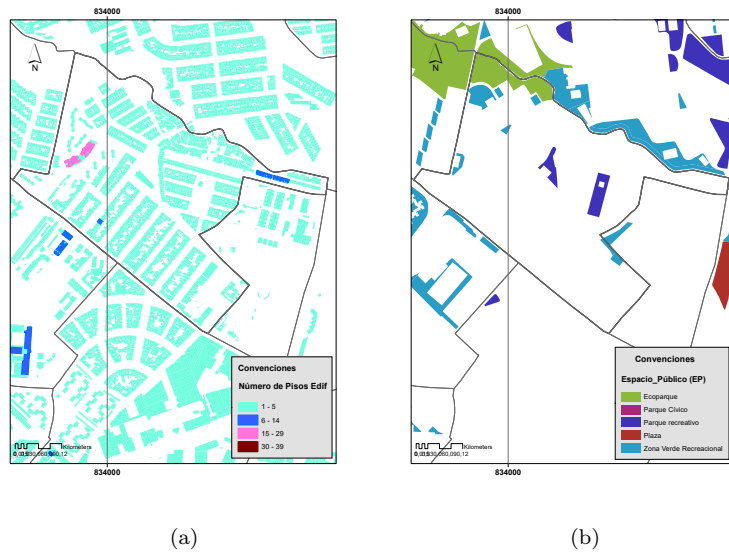


Figura C.2: Barrio Córdoba. (a) Pisos edificados. (b) Espacio público.

Fuente: elaboración propia.

Componente de la infraestructura verde:

El componente hídrico de este barrio depende de la presencia de la quebrada La Quintana, la cual demarca el límite entre el barrio Córdoba y el barrio Alfonso López. Este cuerpo hídrico es de carácter secundario y tiene una longitud de 713 metros, los cuales están en su mayoría canalizados, con pequeños tramos cubiertos en su totalidad. Esta quebrada integra la microcuenca que lleva su mismo nombre. Es así como es vista como un instrumento orientador del desarrollo territorial y recuperador del patrimonio ambiental de la ciudad (Secretaría de Medio Ambiente & Alcaldía de Medellín, 2009).

Este importante cuerpo hídrico urbano es delineado por el parque lineal La Quintana, que, aunque cartográficamente no queda al interior del polígono barrial, si genera atracción de especies, proporción de sombra y regulación térmica que se evidencian incluso desde la escala urbana.

Para este barrio el SAU, reporta 44 individuos arbóreos en total, de los cuales 36 tienen alturas

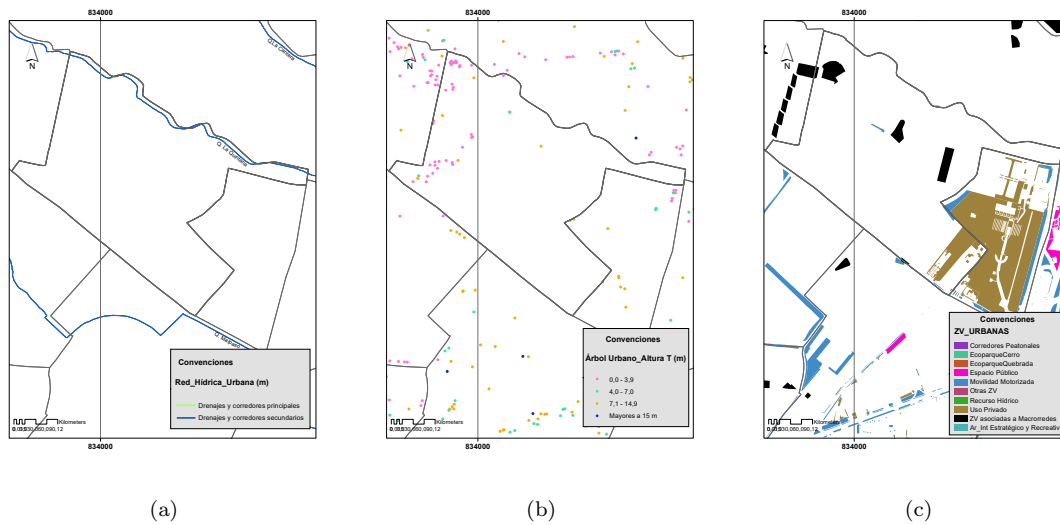


Figura C.3: Barrio Córdoba. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes.

Fuente: elaboración propia.

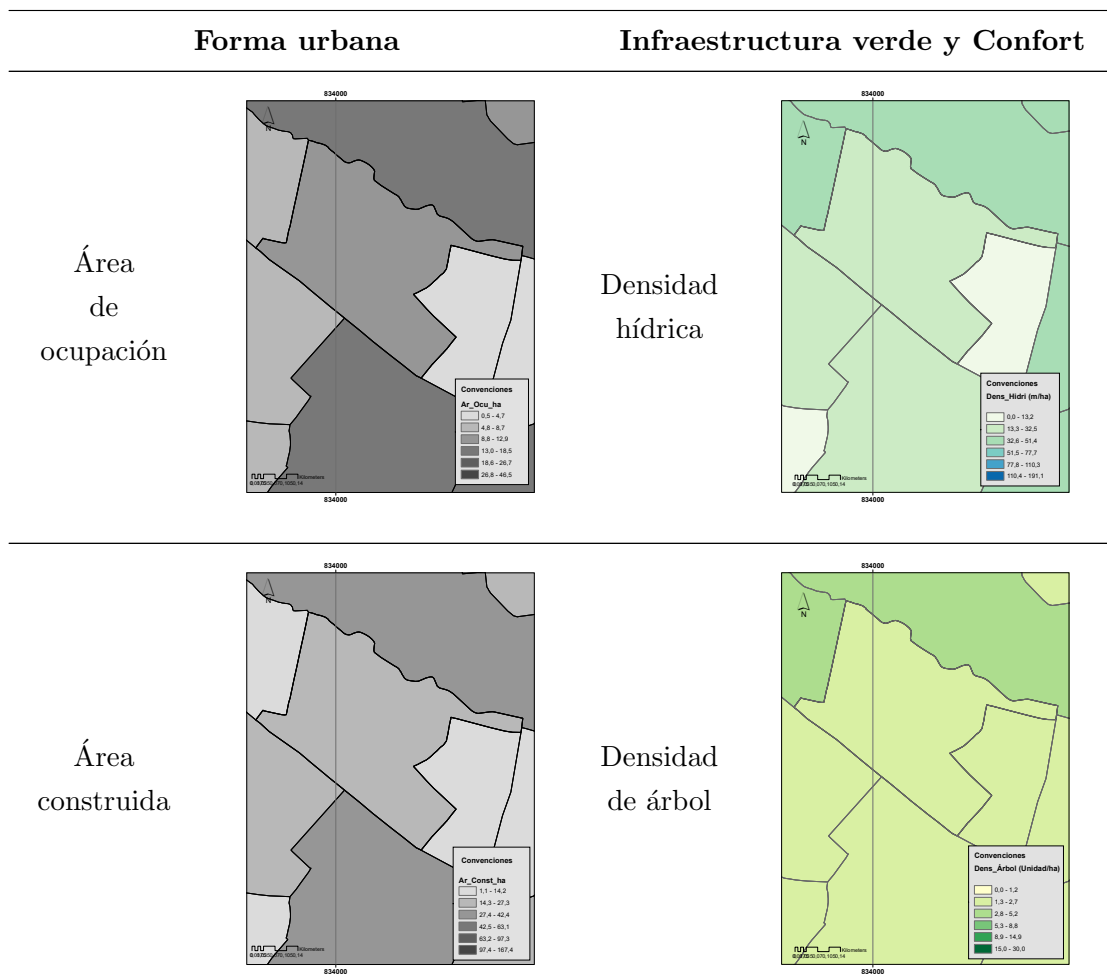
totales inferiores a los 4 [m], 2 individuos alturas entre 4 y 7 metros, 6 individuos entre 7,1 y 14,9 metros y ninguno superior a los 15 [m]. Sin duda la mayoría de los individuos arbóreos allí, al ser inferiores a 4 [m] se pueden catalogar como arbustos o árboles de baja altura. A su vez los de mayor altura equivalen a especies como el Guayacán de 12 metros y un Urapán de 13 metros.

En términos generales, los individuos arbóreos más comunes al interior del barrio Córdoba son el Azahar de la India, el Jaboncillo, El Guayabo, El Guayacán Amarillo, La Hernandiacea, El Mango, El Níspero del Japón, y la Vara Santa.

Referente a las zonas verdes presentes al interior del barrio se puede decir que se clasifican en zonas verdes asociadas a las macrorredes urbanas, zonas verdes de uso privado y zonas verdes de Movilidad Motorizada. En cuanto a las zonas verdes de macrorredes urbanas, estas cubren 0,65 [ha] de la superficie barrial, mientras que las zv de uso privado 0,67 [ha] y la movilidad motorizada 0,06 [ha], lo cual equivale a 677 [m²]. Para llegar así a un total de 1,39 [ha] de zonas verdes al interior del barrio en mención. Las zv asociadas a las macrorredes, son aquellas representadas por los parques urbanos y la porción de ecoparque de quebrada presente allí. Mientras que las de uso privado, se relacionan con la vegetación del Cementerio Universal de la ciudad.

Indicadores Calculados:

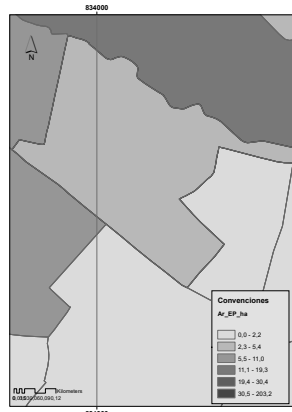
De acuerdo a los resultados obtenidos a través del cálculo de indicadores para este barrio de la ciudad, se puede observar que tiene una extensión de 23,3 [ha], de las cuales 8,9 [ha] se destinan para la edificación, que en términos de volumen ocupa 553.918 [m³] del espacio urbano. Además, otras 7,7 [ha] se distinguen por ser superficie destinada para el trazado vial y 2,8 [ha] para los espacios públicos y de encuentro. Sin dejar de considerar las 1,3 [ha] de zonas verdes y el área ocupada por los cuerpos hídricos. Es así como estos resultados se espacializan en la siguiente tabla, según los rangos que se seleccionan acorde al mismo comportamiento de datos en este barrio. Tratando de resaltar las diferencias entre cada uno de ellos.



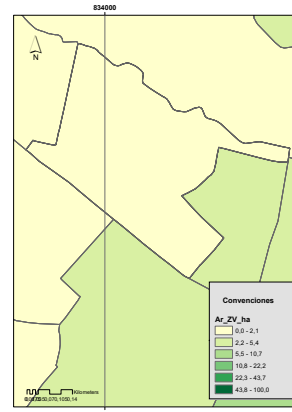
Forma urbana

Infraestructura verde y Confort

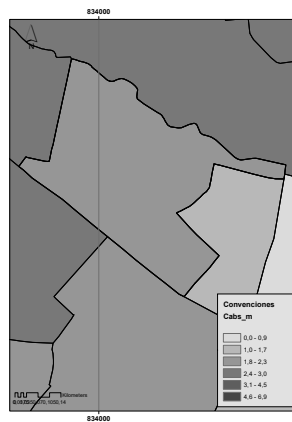
Área espacio público



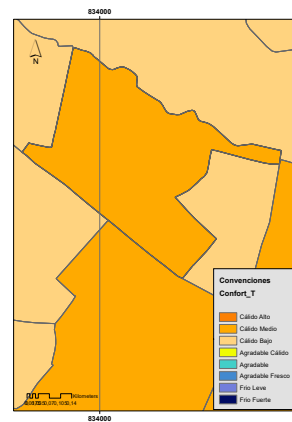
Área zonas verdes



Compacidad absoluta

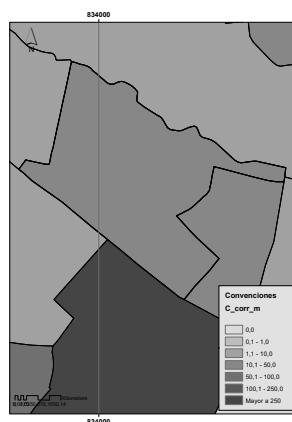


Índice de confort

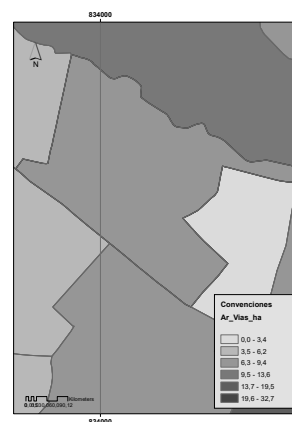


Forma urbana

Compacidad corregida



Área de vías



Forma urbana

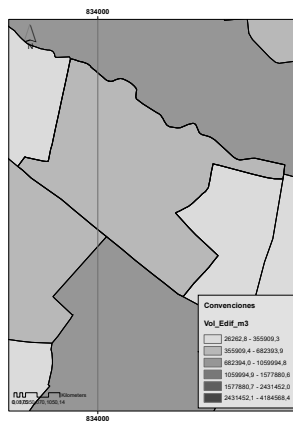
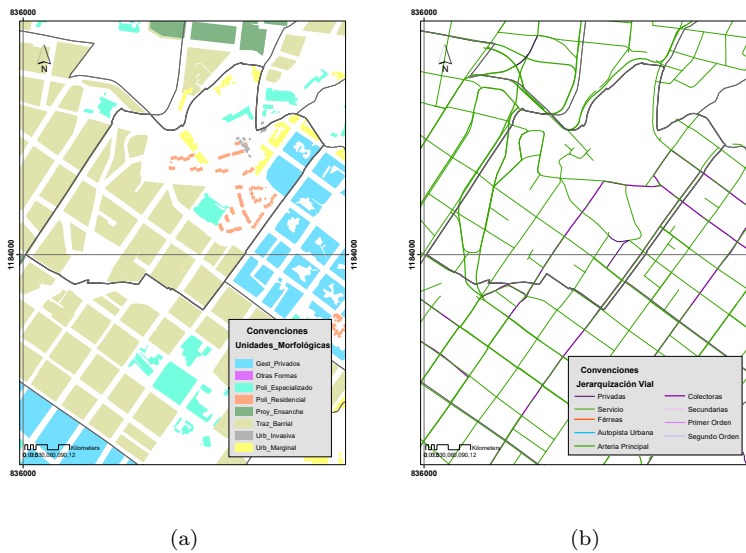
Volumen
edificado

Tabla C.1: Indicadores calculados para el barrio Córdoba.

C.2 BARRIO LA MANSIÓN

Componentes de morfología urbana:

Las formas urbanas establecidas al interior de este barrio, revelan una diversidad general del trazado y la funcionalidad para cual ha sido diseñado. Formas típicas como el trazado barrial, el cual cubre el 32% de la superficie de esta zona, con 8,9 [ha] de extensión; del trazado residencial con 0,6 [ha]; del polígono especializado con 0,5 [ha]; de los gestores privados con 1 [ha], de la urbanización invasiva con 0,07 [ha] y de la urbanización marginal con 0,8 [ha] de cobertura a nivel barrial. En ese sentido, se puede decir que las formas implantadas hacia los años 40 son principalmente la del trazado barrial que después hacia los años 60 se sigue desarrollando como prioridad hasta tal vez ya entrados los 90 donde se introducen nuevas morfologías como las residenciales, las marginales, las invasivas y las especializadas.



(a)

(b)

Figura C.4: La Mansión.

(a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas.

Fuente: elaboración propia.

63b, las cuales conectan con el barrio Prado. Las colectoras son aquellas que recorren este barrio, pero sobre su costado oriental hasta enlazar con el barrio San Miguel y Villa Hermosa respectivamente.

En ese orden, las vías de La Mansión están destinadas en su mayoría para permitir la conexión vehicular con las viviendas presentes, sin embargo, el transporte de mayor flujo está limitado

El trazado vial establecido para este barrio por su parte refleja una mayoría de ejes de servicio que se expanden entre los espacios dejados por cada morfología existente, exactamente 6.447 metros de esta categoría vial. Además 157 metros equivalen a vías privadas, 645 metros a arterias principales y 1.237 metros a vías colectoras.

Las arterias principales de este barrio se distribuyen principalmente en el margen más occidental del barrio, con la Carrera 45c y la calle

a circular por los costados oriental y occidental del barrio.

El número de niveles edificados al interior del presente barrio indica que cerca de 10 [ha] están edificadas con estructuras que van entre 1 y 5 pisos. 0,2 [ha] corresponden a edificios entre los 6 y 14 pisos y 0,1 [ha] entre 15 y 29 pisos; Para un total de 10,3 [ha] ocupadas en total.

Los edificios correspondientes que tienen entre 6 y 14 pisos, se ubican principalmente al interior de las morfologías de polígonos residenciales y barriales, mientras que aquellos que se ubican entre los 15 y 29 pisos se establecen únicamente para el trazado barrial.

Referente a los espacios públicos y de encuentro, La Mansión cuenta principalmente con espacios de zonas verdes recreacionales, 2 [ha] para ser más exactos. Que se posicionan en el margen que delinea las quebradas El Ahorcado y Los Ataúdes, esto hacia la zona nororiental del barrio. Entre otros fragmentos ubicados alrededor de la quebrada La Mansión, esto anexo a las vías de tránsito urbano como la Carrera 41, con calle 45aa. Otra tipología de espacio público

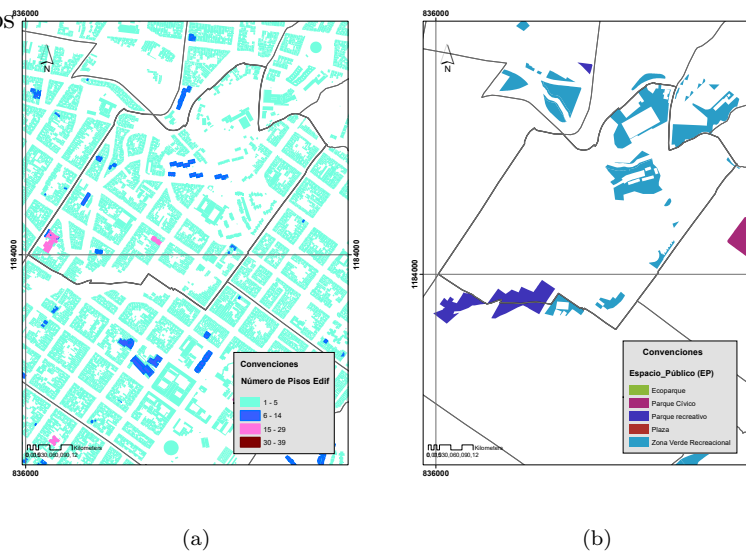


Figura C.5: Barrio La Mansión. (a) Pisos edificados. (b) Espacio público.

Fuente: elaboración propia.

presente es la de parque recreativo con 0,5 [ha] de cobertura sobre la zona sur del barrio, en límites con el barrio San Miguel, también a lo largo de todo el margen de la quebrada la Mansión.

Componentes de la infraestructura verde

Las redes hídricas que recorren este barrio son principalmente la quebrada el Ahorcado, la cual tiene unos 4.190 metros desde su zona más alta de la montaña oriental de Medellín, hasta el mismo río Aburrá. Con un tramo al interior del barrio de unos 238 metros lineales que se suman a los 97,5 metros de la quebrada Los Ataúdes dentro de este mismo barrio. Sin dejar de lado la quebrada La Mansión, la cual recorre unos 97,5 metros, pero hacia la zona sur hasta desembocar más abajo con la quebrada La Loca, la cual finalmente conecta con la

Quebrada Santa Elena.

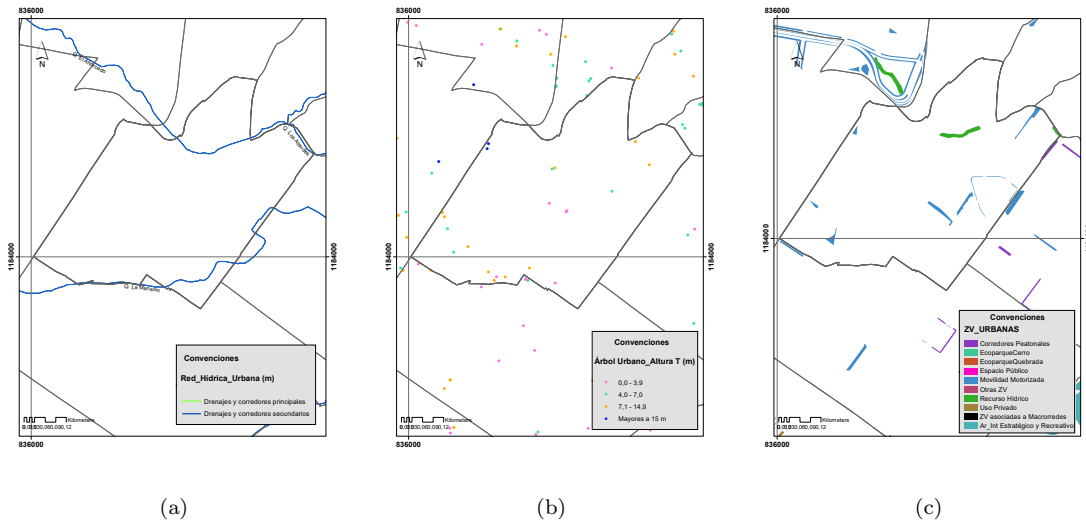


Figura C.6: Barrio La Mansión. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes.

Fuente: elaboración propia.

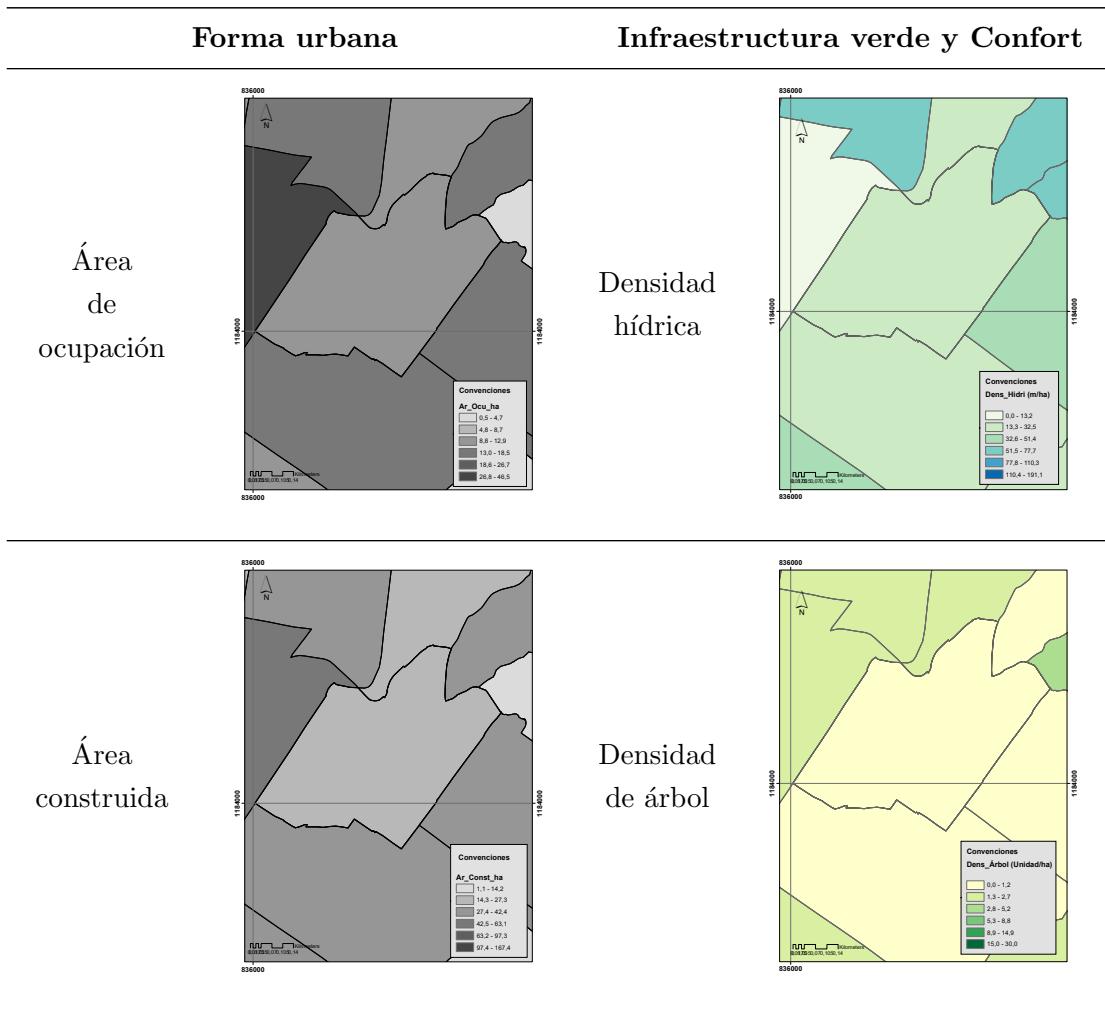
Los árboles urbanos que el SAU reporta en inmediaciones de este barrio no superan los 21 individuos. Por ejemplo 3 de los individuos más bajos, inferiores a los 3,9 [m] se ubican en inmediaciones del monasterio San José, mientras que los otros 2 en la zona de margen de la quebrada La Mansión. Los árboles entre los 4 y 7 metros se asocian principalmente a los ejes de movilidad al igual que a unidades residenciales privadas. Los árboles más altos reportados tienen alturas entre los 15 y 20 metros, y se ubican sobre la Carrera 45c, mientras que los demás tienden a estar también anexos a la quebrada La Mansión.

Las zonas verdes urbanas reportadas desde la cartografía arroja que en este barrio 0,3 [ha] son zv asociadas a los ejes de movilidad y 0,1 [ha] al recurso hídrico. Lo cual demuestra mayor presencia de árboles que se asocian a los ejes viales, en donde los individuos de alturas superiores a los 4 metros tienden a predominar.

Indicadores Calculados:

En el barrio La Mansión los indicadores calculados permiten observar que la extensión total del barrio es de 27,6 [ha], de las cuales 10,3 [ha] son ocupadas por las edificaciones urbanas, y 17,3 [ha] para otros fines que no involucran el desarrollo de edificios o estructuras volumétricas. En ese sentido se se presentan 7,5 [ha] asociadas al desarrollo del trazado vial, 3,6 [ha] son

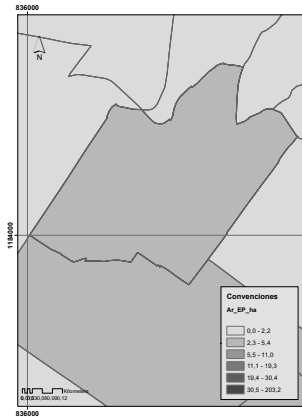
de espacios públicos y de encuentro y 0,45 [ha] son de zonas verdes urbanas. Cálculos que se evidencian en los rangos demarcados al interior de cada uno de los mapas que componen la siguiente tabla, donde se puede verificar de acuerdo a su propio comportamiento los rangos que resaltan su diversidad.



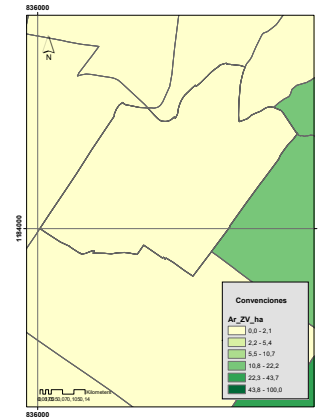
Forma urbana

Infraestructura verde y Confort

Área espacio público



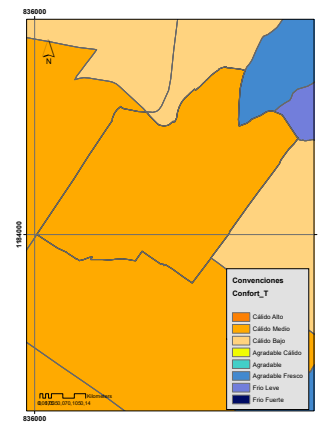
Área zonas verdes



Compacidad absoluta

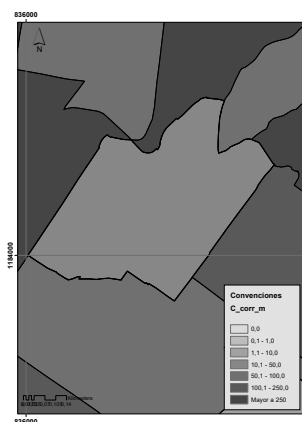


Índice de confort

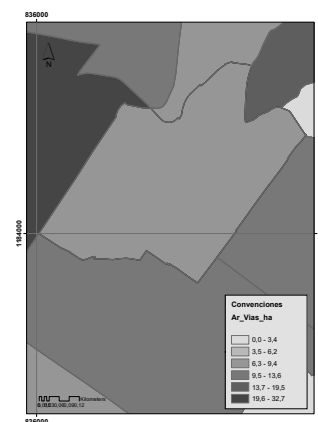


Forma urbana

Compacidad corregida



Área de vías



Forma urbana

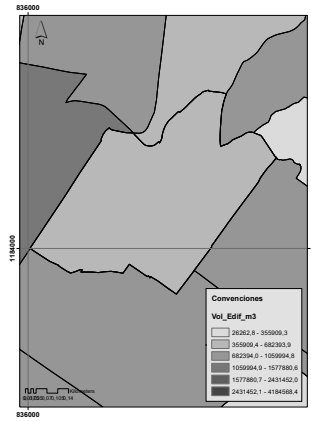
Volumen
edificado

Tabla C.2: Indicadores calculados para el barrio la Mansión.

Anexo D

BARRIO ASTORGA Y BARRIO LOS ALPES

D.1 BARRIO ASTORGA

Componentes de morfología Urbana

Las unidades morfológicas implantadas al interior del barrio Astorga obedecen en un 31% al trazado barrial de formas típicas del urbanismo tradicional, propio de las cuadrículas regulares, irregulares, curvas y ortogonales que contienen a las plazas, parques, calles y edificaciones como elementos básicos constituyentes del trazado urbano. Esta tipología se extiende 7 [ha] a lo largo del barrio Astorga, y se complementa con 1,8 [ha] de extensión del polígono residencial y 0,9 [ha] del polígono especializado.

Los polígonos residenciales los cuales cubren un 8% del territorio barrial se localizan principalmente en la zona más paralela y cercana al río Medellín, en donde el desarrollo urbano se da hacia los años 70 y continua sobre finales de los años 90 introduciéndose en el barrio. Por su parte, los polígonos equivalentes al trazado barrial fueron propios de los años 50, donde ya después del polígono residencial de los 70 y 90 surge el polígono especializado también hacia la década de los 90, en donde hoy se posiciona el Éxito del Poblado.

En cuanto a las vías urbanas que se han establecido al interior de este barrio son principalmente las vías de servicio, con 3.390 metros de recorrido a lo largo de todo el polígono barrial, las

cuales se concentran al interior de las formas barriales y residenciales. Otras vías presentes son la arteria principal con 526 metros de longitud que recorren el barrio desde la zona norte a la sur, mediante la carrera 43 conectándose con Manila y Patio Bonito.

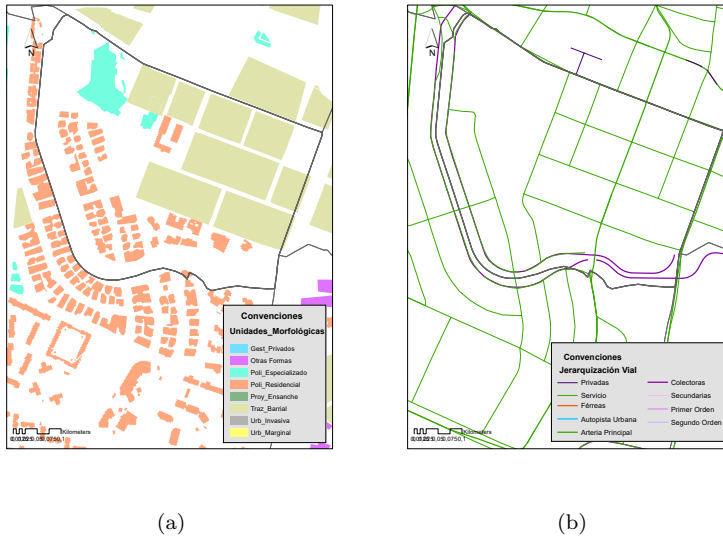


Figura D.1: Barrio Astorga.

(a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas.

Fuente: elaboración propia.

Se identifica además como los edificios en alturas, tienden a posicionarse en el margen de la quebrada La Presidenta, y sobre las vías de acceso directo a las vías colectoras y arterias principales.

Los espacios públicos existentes al interior del barrio Astorga, corresponden a la categoría de parques cívicos y parques recreativos, esto como resultado del trazado barrial, propio del urbanismo tradicional anterior incluso a los procesos de industrialización que promovieron consigo la migración de gran cantidad de habitantes a la ciudad. El parque cívico entendido como aquellas zonas descanso o recreación con cierta proporción de zonas duras, cubre 0,44 [ha] de la superficie barrial y urbana, seguido de 1,2 [ha] de parque recreacional que se articulan a la conectividad ecológica de la quebrada La Presidenta mas 0,07 [ha] de zonas verdes recreacionales.

Las vías colectoras, se extienden 1.195 metros por todo el margen lateral derecho que va relativamente paralelo al río Medellín y por todo el margen inferior que delinea la quebrada La Presidenta, la cual además limita con el Barrio Patio Bonito. Vías que en total ocupan un área de 4,5 [ha] de la superficie barrial.

Las edificaciones desarrolladas dentro del barrio Astorga obedecen principalmente a estructuras entre 1 y 5 pisos las cuales teóricamente

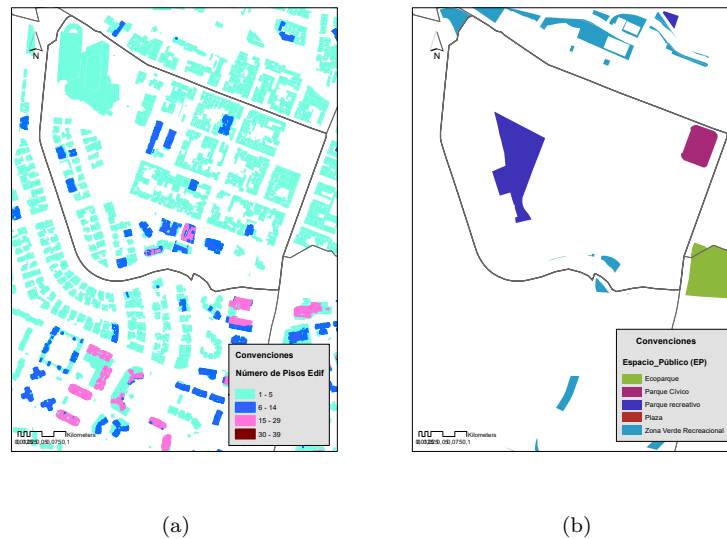


Figura D.2: Barrio Astorga. (a) Pisos edificados. (b) Espacio público.
Fuente: elaboración propia.

Componente de Infraestructura verde

El barrio Astorga se ubica en una zona de transición entre el río y la ladera urbana; es decir una zona donde las pendientes tienden a ser leves en comparación a otros barrios incluso del mismo sector del poblado. Además, se ubica a unos 270 metros del río Medellín, donde desemboca la quebrada La Poblada a la cual a tan solo unos metros atrás cae la llamada Quebrada La Presidenta, que en este caso es la que circula dentro de los márgenes del barrio Astorga. Esta quebrada recorre unos 713 metros por lo menos dentro del polígono correspondiente a este barrio de la ciudad.

La quebrada La Poblada, aunque no intercepta con el barrio, su afluente circula a unos 21 metros de este barrio, lo cual la ubica en una zona muy cercana que permite influenciar en muchos de los procesos ecológicos y ambientales barriales. Además de que es el cuerpo hídrico al cual conecta La Presidenta para finalmente desembocar en el Río Medellín.

Los árboles urbanos registrados al interior de este barrio alcanzan los 83 individuos de los cuales 55 tienen alturas inferiores a 4 metros, 18 individuos con alturas entre los 4 y 7 metros, 9 individuos entre los 7,1 y 14,9 metros y un solo individuo que excede los 15 metros de altura, exactamente con 18 metros, el cual se posiciona dentro de las zonas verdes asociadas al recurso hídrico urbano.

En términos generales, se observa que los árboles con alturas superiores a los 4 metros se asocian principalmente a los ejes de movilidad y a los espacios públicos existentes. Mientras

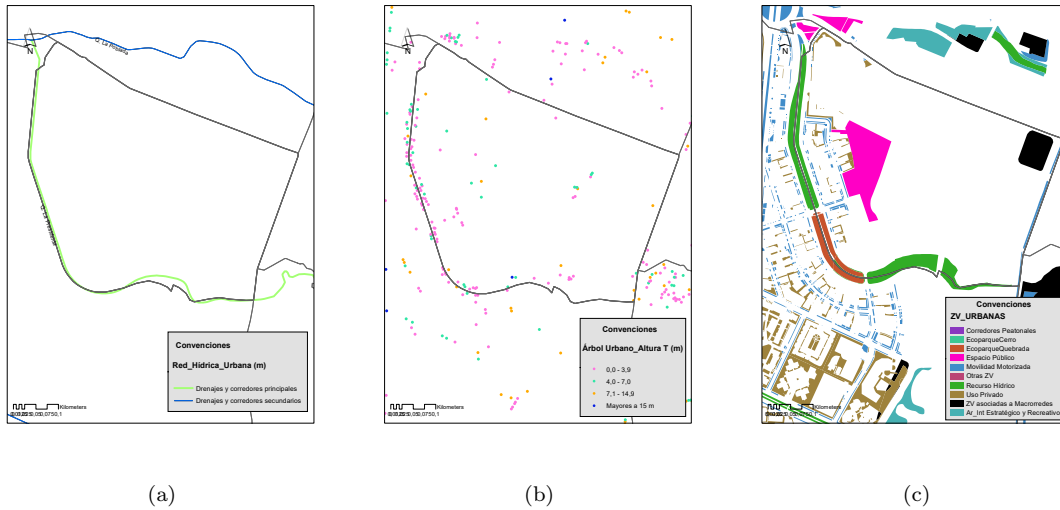


Figura D.3: Barrio Astorga. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes.

Fuente: elaboración propia.

que aquellos individuos inferiores a 4 metros tienden a estar sobre la cuenca de la quebrada La Presidenta especialmente sobre el costado izquierdo del barrio.

En cuanto a las zonas verdes reportadas se tiene un total de 3 [ha] aproximadamente, de las cuales 0,2 [ha] pertenecen a la categoría de Ecoparques de Quebrada, 1,2 [ha] a la categoría de espacio público, 0,3 [ha] a la de movilidad motorizada, 0,8 [ha] al recurso hídrico, 0,2 [ha] a las zonas de uso privado y 0,4 [ha] a las macrorredes urbanas.

En ese orden es como la mayoría de zonas verdes al interior de este barrio de la ciudad, se asocian a los espacios de uso público y de encuentro seguido de las que se asocian a los espacios de la cuenca de la quebrada La Presidenta. Donde la extensión vinculada a los espacios públicos se localiza principalmente en lo que se conoce como el parque La Bailarina, pues el parque del Poblado a parte de ser un espacio público de la ciudad se vincula con las Macrorredes Urbanas, dada su importancia ecológica y natural.

Indicadores Calculados

Los indicadores hallados de acuerdo a la composición, distribución y formas del barrio Astorga, permiten inducir que este barrio de 22,4 [ha] de extensión dispone 7,5 [ha] para la edificación de construcciones en alturas como torres de apartamentos, oficinas, o simplemente viviendas. Con un área de 4,5 [ha] destinadas para las vías urbanas, 1,6 [ha] de espacio público y 3,3 [ha]

de zonas verdes, entre otras zonas como las que comprenden lotes vacíos y los cauces de los cuerpos hídricos urbanos, representados allí por la quebrada La Presidenta. En ese sentido, se puede verificar dichos resultados en la siguiente gráfica:



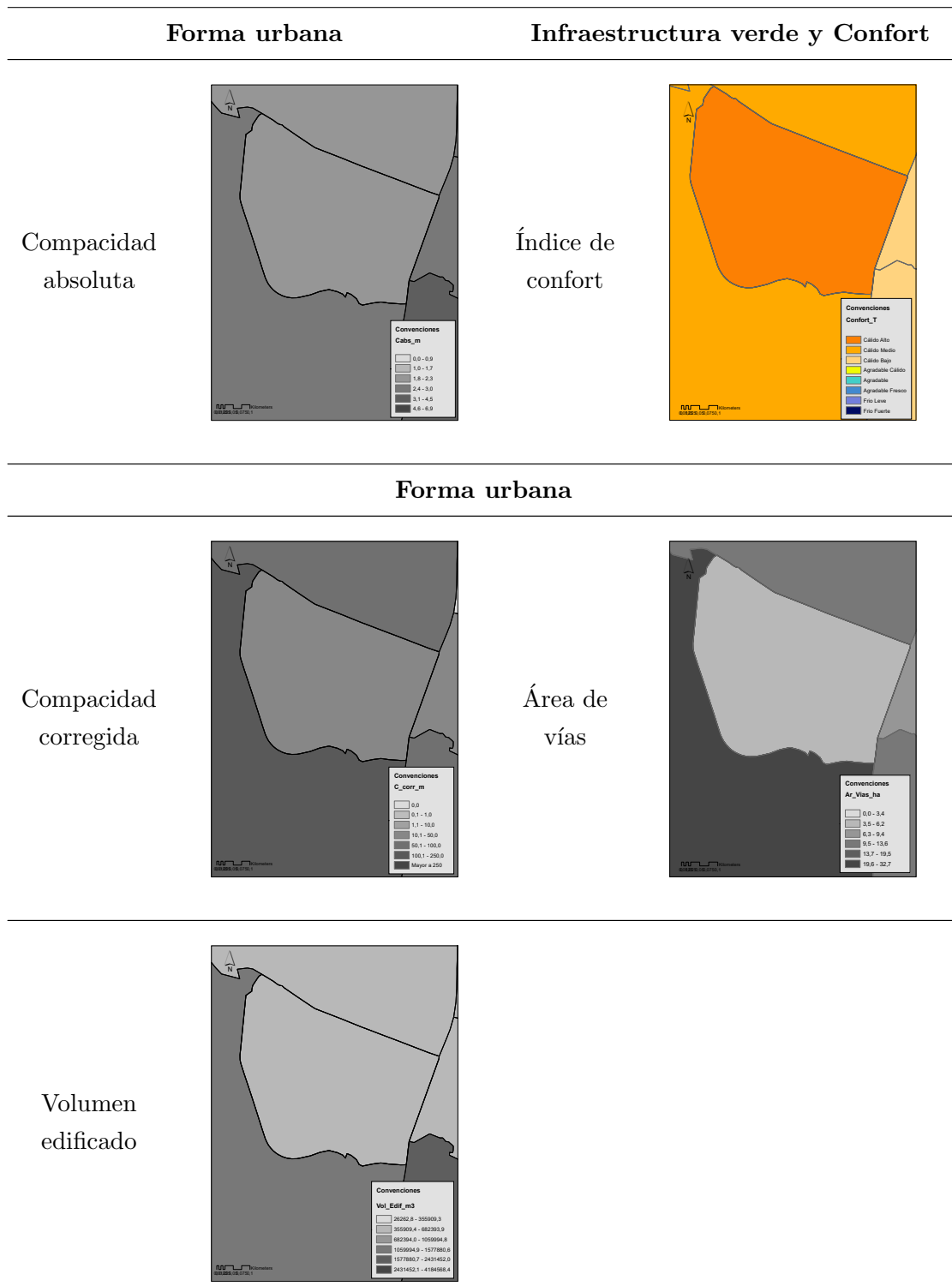


Tabla D.1: Indicadores calculados para el barrio Astorga.

D.2 BARRIO LOS ALPES

Componentes de morfología urbana

El trazado morfológico del barrio los Alpes en la comuna de Belén, consta de unidades de forma principalmente barriales, las cuales cubren aproximadamente un 33% de la superficie barrial con 9,3 [ha], concentradas principalmente en las zonas más céntricas del barrio, las cuales fueron las que se urbanizaron para finales de los años 70.

Las morfologías propias del polígono residencial, se introducen al barrio, posterior al año 1999, momento para el cual la subutilización del suelo en la ciudad ya había empezado a llevar a procesos de redensificación urbana, a través de proyectos multifamiliares, implantados principalmente en el costado suroccidental del barrio, en límites con el Caño Villa Café, los cuales cubren hoy 4,3% de la superficie. Entre otros edificios implantados sobre el margen que limita con el barrio Belén y La Palma, en zonas urbanizadas inicialmente como trazado barrial hacia 1979.

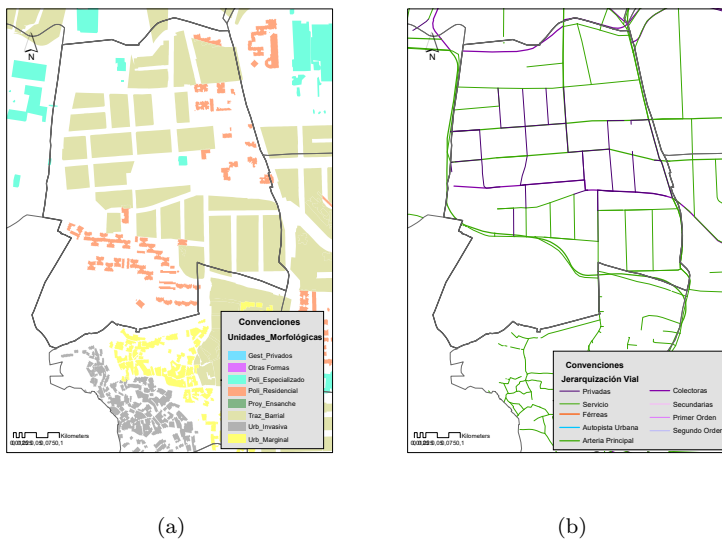


Figura D.4: Barrio Los Alpes.

(a) Unidades morfológicas. (b) Vías urbanas.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al polígono especializado se dice que cubre menos del 1% de la superficie barrial, con apenas 0,1 [ha], localizadas en el costado superior derecho del barrio, donde está la subestación eléctrica de Belén y otras sobre la calle 30.

En relación a los ejes viales del barrio Los Alpes, se puede decir que 2.120 metros lineales corresponden a arterias principales, ubicadas en la zona centro del barrio, en los alrededores del parque central de Belén, como la carrera 30, la 30a y la carrera 84. Otras arterias de gran flujo vehicular es la carrera 83, la cual delinea el margen derecho e inferior de este barrio en límites tanto con el barrio Belén y como con La Palma.

Las vías colectoras, se extienden por lo menos durante unos 760 metros que conectan por una parte la carrera 88 con el barrio Las Mercedes y las violetas con los Alpes. Y con la calle 28 a Los Alpes con La Palma. Las vías de servicio cubren 3.538 metros, garantizando la conexión con la mayoría de viviendas y edificios del sector, a parte de 2.428 metros de trazado para las vías privadas de las unidades habitacionales existentes.

Los Alpes, es un barrio donde el 33% de la superficie fue urbanizada bajo un trazado de propiedades y formas netamente barriales, las cuales conforman la base fundamental del desarrollo urbano de esta zona. Un trazado en el cual se implantaron edificaciones entre 1 y 5 niveles mayoritariamente, con una extensión de 7,2 [ha] de la superficie barrial, frente a 0,4 [ha] correspondientes a los edificios entre 6 y 14 pisos. Los cuales se concentran principalmente al interior del polígono residencial, que como ya se dijo previamente es en inmediaciones del caño Villa Café. Entre otras pocas estructuras ubicadas dentro del trazado barrial existente, estos especialmente sobre la carrera 85 y 86 del barrio.

Las edificaciones mayores a 15 pisos cubren un área inferior a las 0,1 [ha], en donde el edificio más alto en esta zona de la ciudad es de 25 pisos, ubicado en el costado derecho que limita con el barrio Belén.

Los espacios públicos y de encuentro al interior del barrio los Alpes, se traducen en 1,5 [ha] de cobertura del área barrial, los cuales se dividen por una parte en 1,2 [ha] de parques recreativos entre los que se tienen el parque Quimbaya, el parque de Los Alpes y la zona de la cancha de Altavista. Además de 0,2 [ha] de zonas verdes recreacionales distribuidas en pequeños fragmentos a lo largo de todo el barrio, en inmediaciones del trazado barrial.

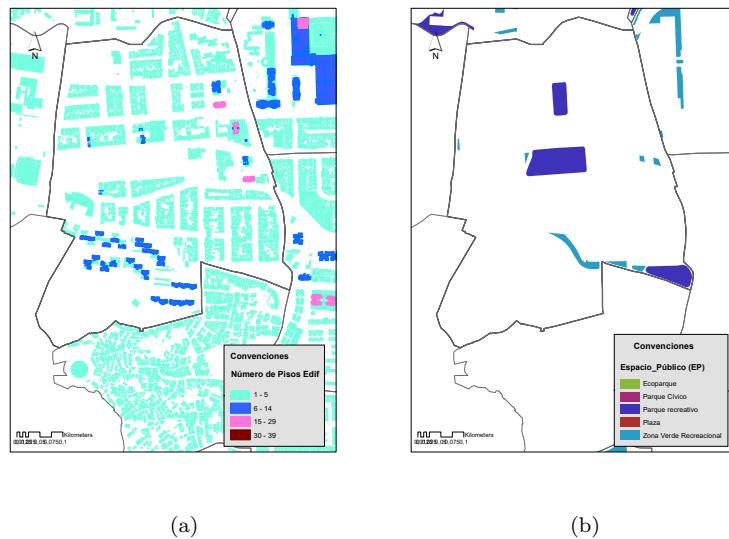


Figura D.5: Barrio Los Alpes. (a) Pisos edificados. (b) Espacio público.

Fuente: elaboración propia.

Componentes de infraestructura verde

Las redes hídricas cuyo cauce circula en inmediaciones de este barrio, son por una parte la Quebrada La Picacha, con 398 metros lineales de extensión, así como la quebrada Santa Rita con 517,7 metros y el caño Villa Café con 181 metros. Donde La Picacha es un cuerpo hídrico principal que desemboca directamente al río Medellín, el cual circula por el límite superior, que actúa como barrera frente al barrio las mercedes. quebrada que hasta hace muy poco estaba terminando de ser canalizada, a fin de tener la suficiente capacidad hidrica ante cualquier evento climático.

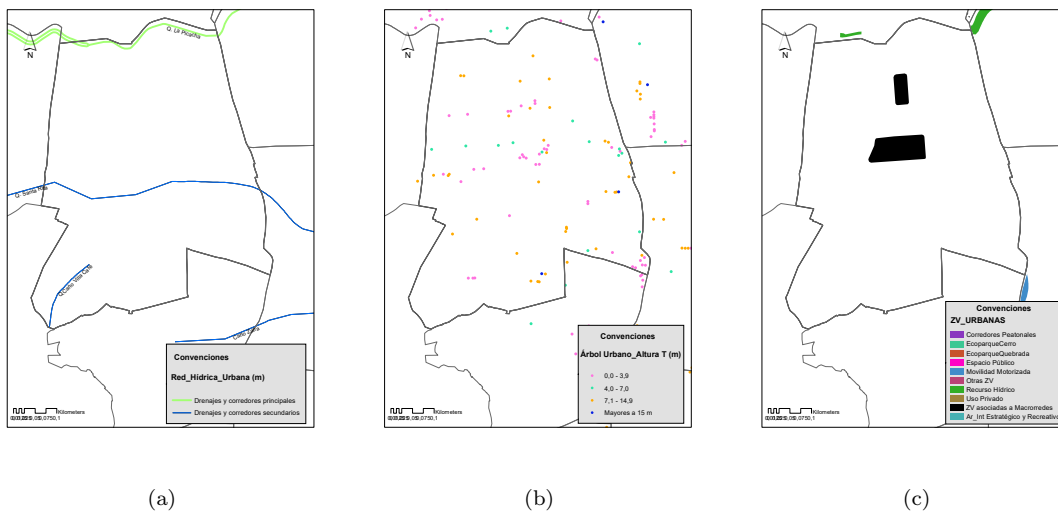


Figura D.6: Barrio Los Alpes. (a) Red hídrica. (b) Árboles urbanos. (c) Tipologías de zonas verdes.

Fuente: elaboración propia.

En consideración de los árboles urbanos reportados para el barrio Los Alpes se puede decir que son 85 individuos en total, de los cuales 38 tienen alturas inferiores a los 4 metros, que se concentran principalmente en los parques existentes al interior del barrio. 12 individuos por su parte representan alturas entre los 4 y 7 metros de altura, ubicados principalmente hacia la parte superior de la quebrada Santa Rita en la zona más céntrica del barrio.

Aquellos con alturas entre los 7,1 y 14,9 metros de altura se localizan a lo largo de todo el margen barrial, siendo 33 individuos que se localizan generalmente en las zonas de espacios públicos, dentro del polígono tanto barrial como residencial y especializado.

Mientras que los únicos árboles con alturas entre 15 y más metros son solo 2 individuos localizados uno en inmediaciones de donde se ubica la quebrada Santa Rita en el borde derecho

del barrio y el otro hacia el costado inferior, cerca de los polígonos residenciales existentes.

En ese sentido en este barrio la mayoría de individuos arbóreos registrados por el SAU, corresponden teóricamente a arbustos, dada la definición planteada en el manual de silvicultura urbana de Medellín. Seguimiento de árboles de porte mediano, que dadas las fuentes de datos corresponden a especies como la Majagua, Palma Corozo, Palma Payaneza, Carbonero, Tulipán Africano, entre otros.

Las zonas verdes urbanas en el caso del barrio los Alpes, corresponden a las zonas verdes existentes al interior del parque Quimbaya y del parque de Los Alpes, zonas que entre tanto pertenecen a la categoría de macrorredes urbanas, las cuales como ya se ha mencionado son pieza fundamental para la avifauna urbana

En ese orden este barrio ubicado en un costado de la ciudad, caracterizado por que algunas comunidades indígenas se asentaron allí con el fin de desarrollar sus actividades comerciales y ganaderas, destacada además por su gran riqueza hídrica y vegetal, hoy cuenta con solo 0,9 [ha] de zonas verdes que complementan el trazado edificado barrial. En una comuna donde la mayoría del componente vegetal se asocia a las vías de movilidad vehicular.

Indicadores Calculados

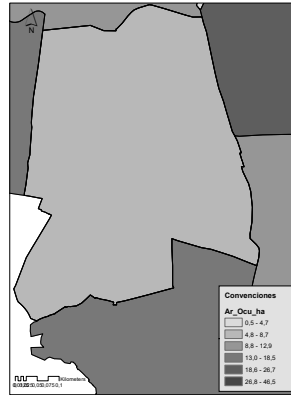
Los indicadores de morfología urbana calculados para el barrio Los Alpes arrojan que este barrio de 27,8 ha de extensión, destina 7,8 [ha] a la ocupación de edificaciones urbanas. De modo que 7 [ha] se destinan al trazado vial, 1,5 [ha] a las áreas de espacio público, además de las 0,9 [ha] que cubren las zonas verdes existentes. De esa forma es como este barrio integra el cinturón verde metropolitano, además de su ubicación en una zona de límite entre la ladera y el borde urbano, zonas estratégicas en la planificación de largo plazo implementada por la administración para controlar el crecimiento urbano, a través de franjas de protección ambiental.

Con eso y de acuerdo a la importancia que representa llevar los resultados a gráficas que permitan representar cada uno de los valores obtenidos, es que a continuación se presenta la tabla que resume el cálculo de cada uno de estos indicadores de forma urbana e infraestructura verde:

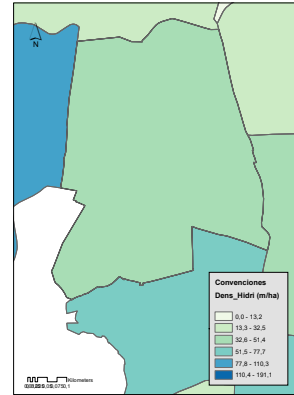
Forma urbana

Infraestructura verde y Confort

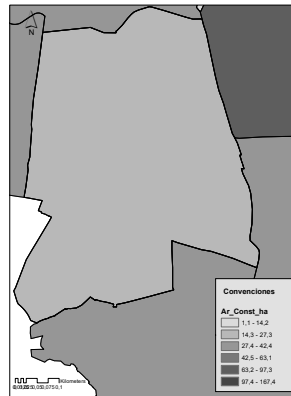
Área de ocupación



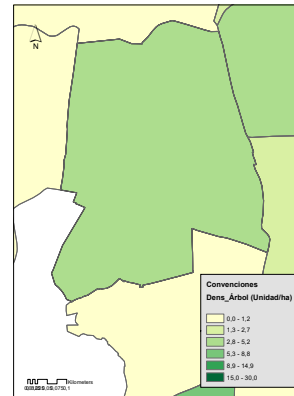
Densidad hídrica



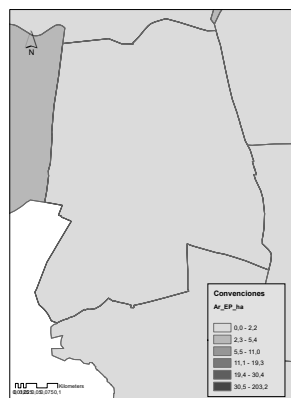
Área construida



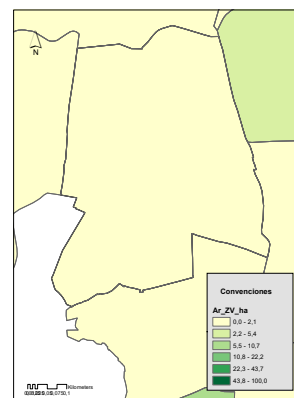
Densidad de árbol



Área espacio público



Área zonas verdes



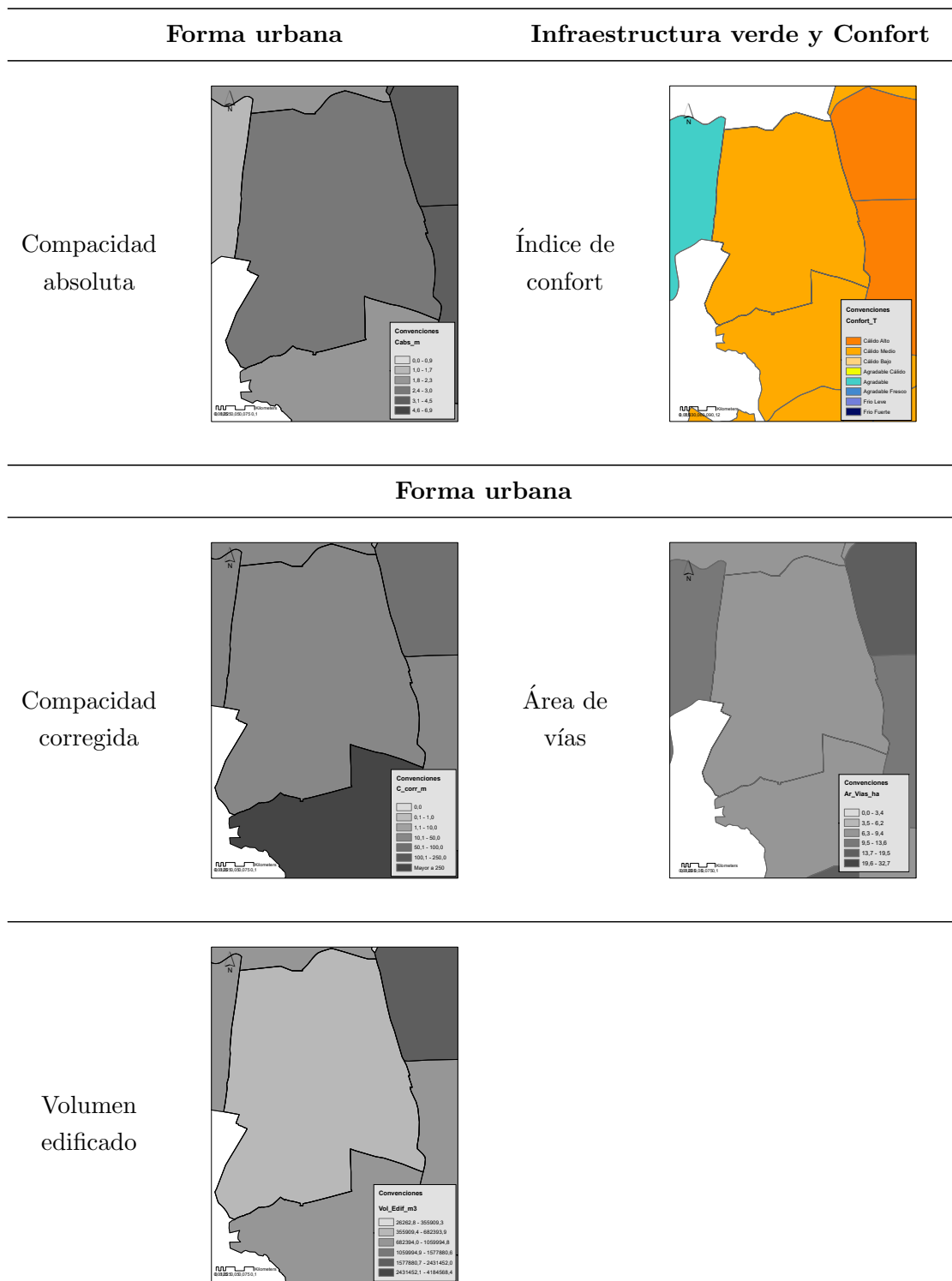


Tabla D.2: Indicadores calculados para el barrio Los Alpes.

Anexo E

CÁLCULO DE COMPACIDAD ABSOLUTA Y CORREGIDA

E.1 COMPACIDAD ABSOLUTA

La compacidad urbana es un indicador que como ya se mencionó se fundamenta en los principios sostenibilidad, a partir de los cuales se mide en que medida la expansión de la ciudad se ha dado de forma desordenada. teóricamente se puede decir que una ciudad mas compacta no es sinónimo de ser mejor, pues depende de factores como la densidad de la construcciones y de la misma población. en ese sentido un exceso si conllevará a problemas de comunicaciones urbanas, infraestructura y capacidad ambiental, entre otros.

El cálculo de los indicadores de compacidad se realiza en base a una malla de 200 x 200 metros, dado que como la formula plantea la relación del volumen por unidad de superficie, y considerando la irregularidad morfológica de los barrios, la idea es llevar todo a términos de una misma forma, el cuadrado. En este caso un área de 40.000 m² que además se sustenta con la experiencia de otros estudios que señalan su efectividad cuando se hace en base a la cuadrícula. ademas se elige una malla de 200 x 200 metros dada la referencia que ya ha tomado el área metropolitana en base a esta unidad de análisis para el calculo de otros indicadores de importancia urbana.

Es así como en base al mapa de pisos edificados en Medellín, se halla el volumen de cada estructura, luego esos resultados se unen a la malla de 200x200 metros donde se halla el

indicador tanto de compacidad absoluta como de corregida para cada una de las celdas. Así posteriormente se interceptan los resultados con los barrios y se verifica el valor obtenido ya a escala barrial.

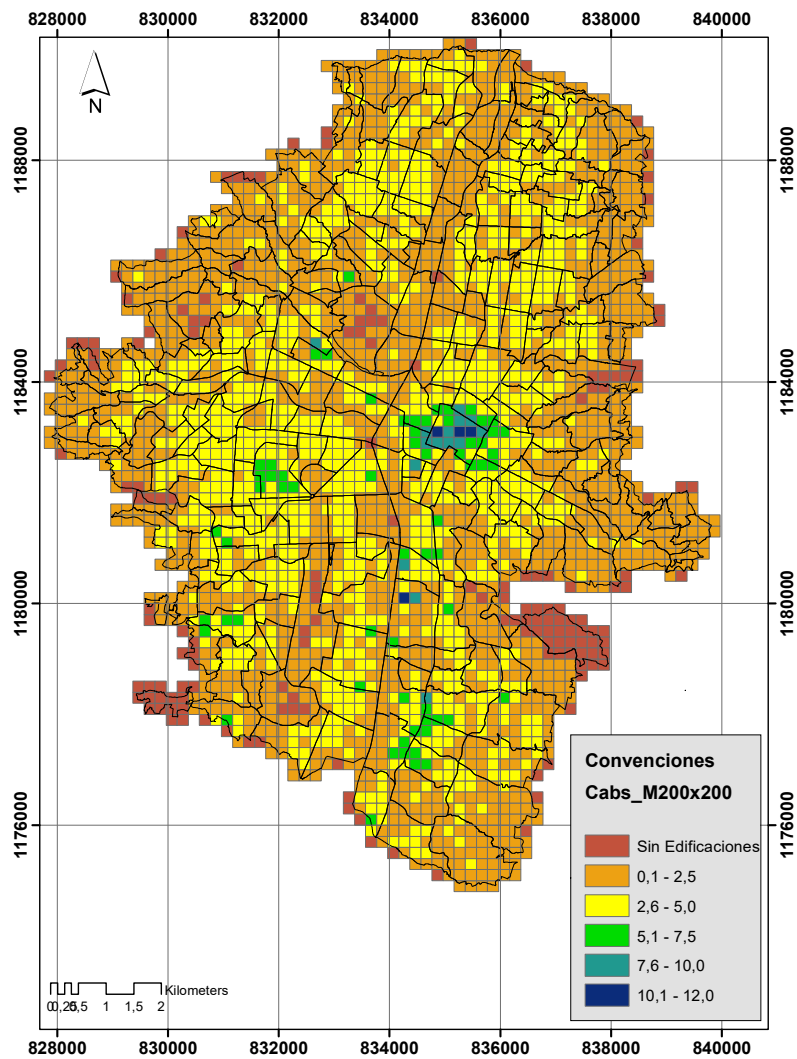


Figura E.1: Cálculo de compacidad absoluta.

Fuente: elaboración propia.

E.2 COMPACIDAD CORREGIDA

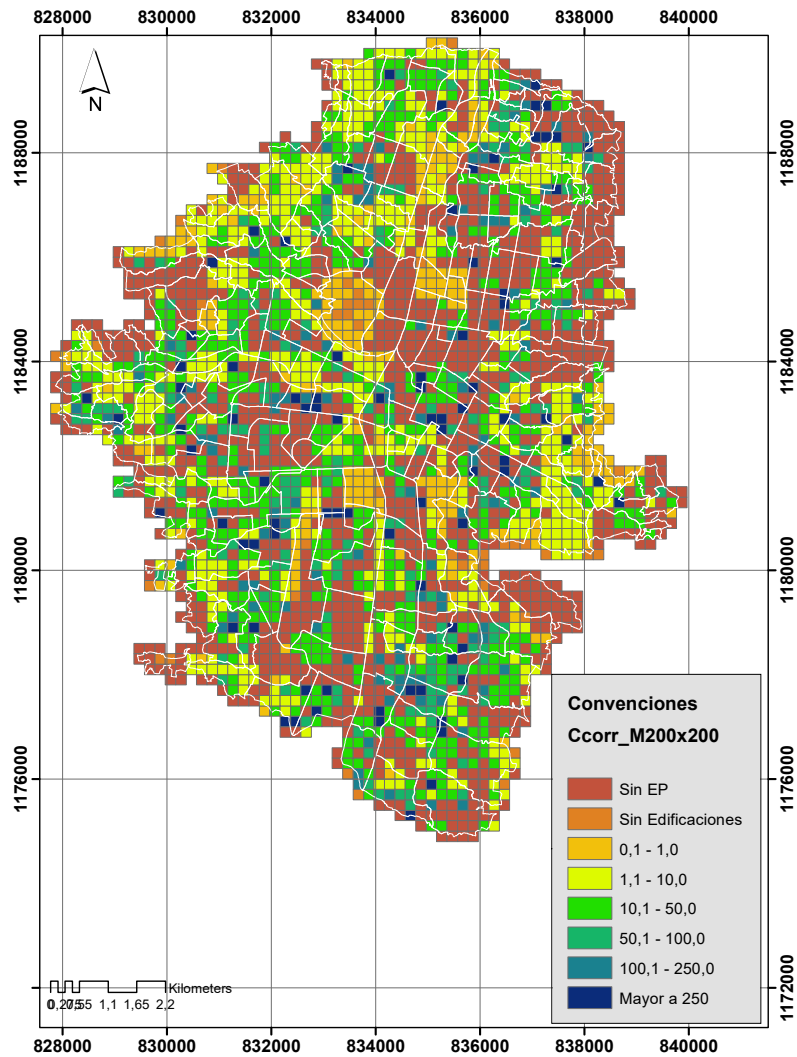


Figura E.2: Cálculo de compactidad corregida.

Fuente: elaboración propia.

Anexo F

CARTOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

En este apartado se expone la cartografía que sirvió como base para el análisis e interpretación espacial la cual al igual que toda la que se generó, proviene de fuentes oficiales como la alcaldía o el Área Metropolitana del Valle del Aburrá, entre otras investigaciones que se realizaron en momentos previos a este.

F.1 CRECIMIENTO HISTÓRICO DE MEDELLÍN

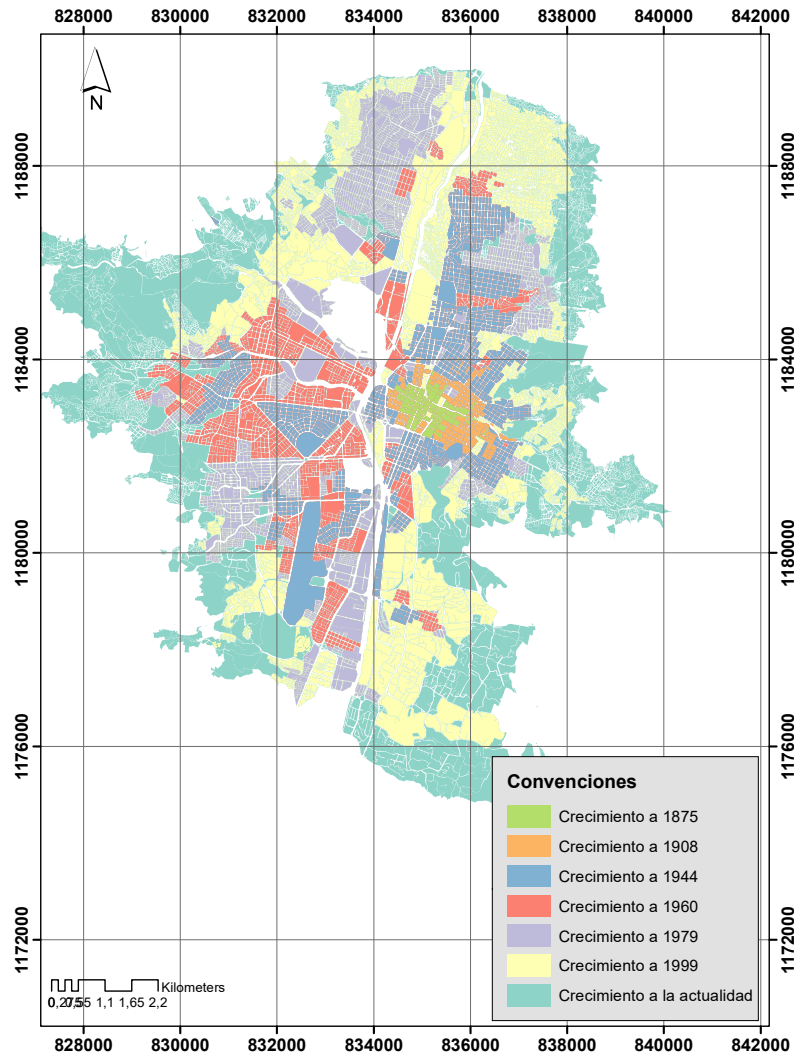


Figura F.1: Mapa de crecimiento histórico de Medellín.

Fuente: elaboración propia con datos de(Salazar Hernández, 2012).

F.2 ESPACIO PÚBLICO EN MEDELLÍN

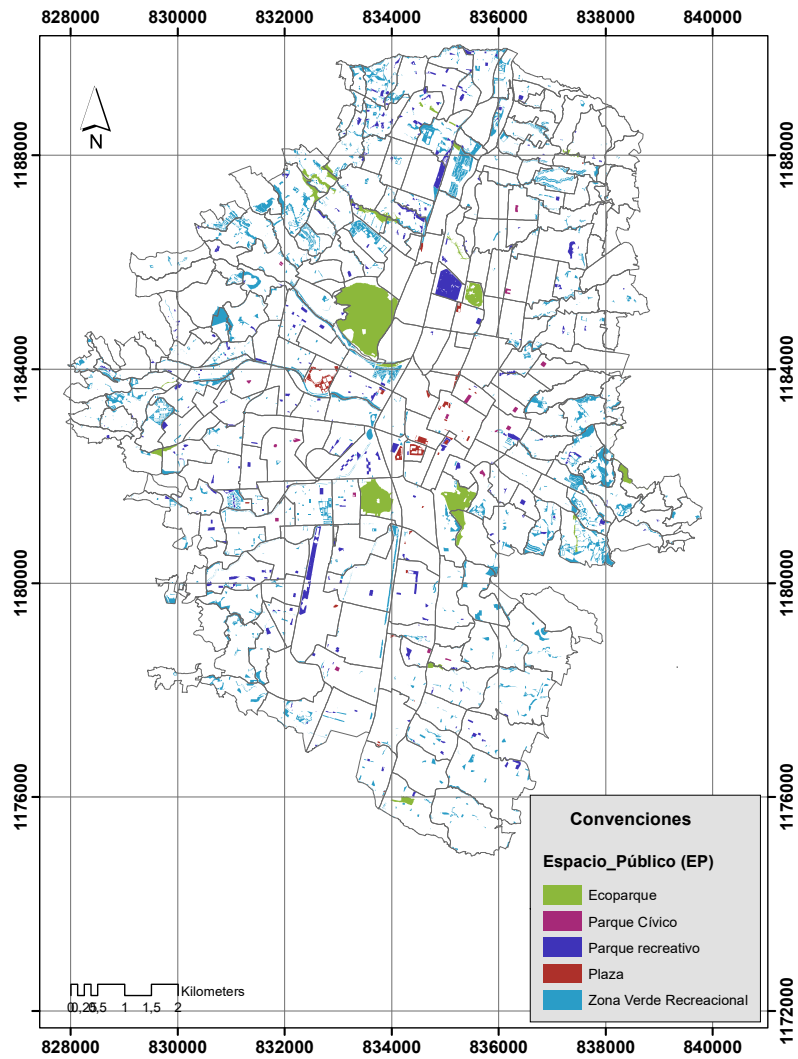


Figura F.2: Mapa de espacio público en Medellín.

Fuente: elaboración propia con datos de (Alcaldía de Medellín, 2019).

F.3 TRAMO QUEBRADAS MEDELLÍN

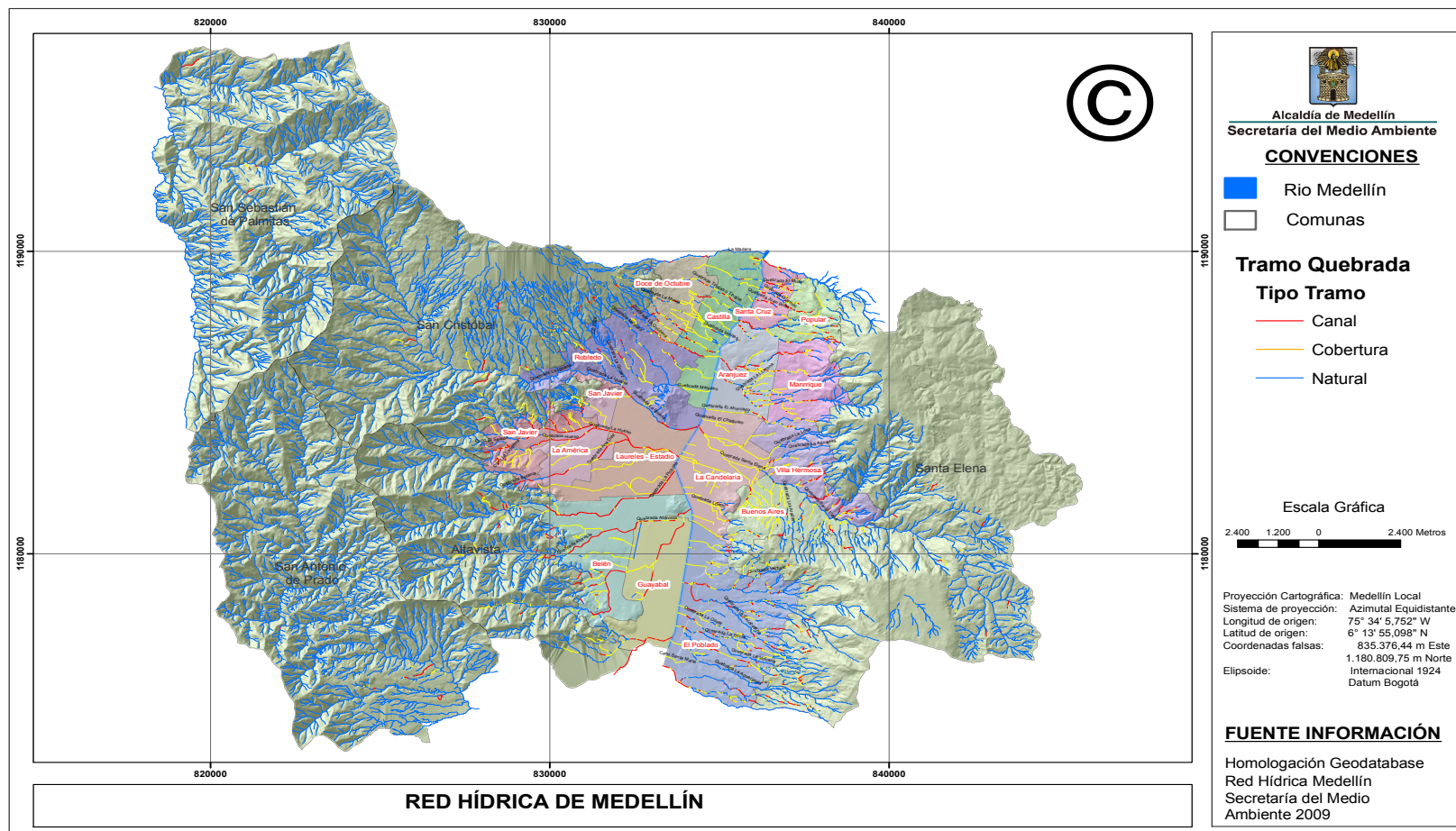


Figura F.3: Mapa de tramos de las quebradas en Medellín. Tomado de (Alcaldía de Medellín, 2009).

Anexo G

CONGLOMERADOS URBANOS CALCULADOS

En este apartado se observa el mapa resultante del análisis de conglomerados urbanos, el cual en base a las formas edificadas y naturales de la ciudad, agrupa barrios que se relacionan mas respecto a los demás . Para definir así, que barrios realmente se asemejan y que barrios se diferencian totalmente en relación a su morfología urbana. Llegando a un mapa de conglomerados, compuesto por 19 grupos o clústeres, que de acuerdo al color indica los barrios que integran cada grupo. Donde de acuerdo a la altura de cada ramillete de barrios se establece el grado de relacionamiento.

Bibliografía

- Agencia d'Ecologia Urbana de Barcelona. (2010). *Plan de indicadores de sostenibilidad urbana de vitoria-gasteiz*.
- Alcaldía de Medellín. (2009). *Red hídrica de medellín*. Retrieved from https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Medio%20Ambiente/Secciones/Mapas/Documentos/2009/Red_Hidrica.pdf
- Alcaldía de Medellín. (2015). *Manual de silvicultura urbana para medellín* (Segunda Edición ed.). Extrategia Ecoprint SAS.
- Alcaldía de Medellín. (2019, 05). *Geomedellín*. Retrieved 2019, from <https://geomedellin-m-medellin.opendata.arcgis.com>
- Aleksandrova, K. I. (2016). *Green, grey or green grey? decoding infrastructure integration and implementation for residential street retrofits*. (Unpublished master's thesis). Lincoln University.
- Amirtham, L. R., Horrison, E., & Rajkumar, S. (2015). Impact of urban morphology on microclimatic conditions and outdoor thermal comfort. In *9 international conference on urban climate jointly with 12 symposium on the urban environment*.
- Arcila Aristizábal, M. (2016). *El pensamiento urbano de ricardo olano. 1900-1940* (Unpublished master's thesis). Universidad Nacional de Colombia.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2010). *Atlas metropolitano área metropolitana del valle de aburrá*. Litografía Dinámica.
- Aristizábal Uribe, A. C. (2013). Paisaje de borde una propuesta para recuperar las quebradas de medellín. *Revista Universitas Científica*. Retrieved from <https://revistas.upb.edu.co/index.php/universitas/article/view/1970/1812>
- Asimakopoulos, D., Assimakopoulos, V., Chrisomallidou, N., Klitsikas, N., Mangold, D., Michel, P., ... Tsangrassoulis, A. (2001). *Energy and climate in the urban built environment*. James X James.
- Auer, A. (1978). Correlation of land use and cover with meteorological anomalies. *American meteorological society*. Retrieved from [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1978\)](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1978))

017<0636:COLUAC>2.0.CO;2

- Bai, X., Surveyer, A., Elmqvist, T., Gatzweiler W, F., Guneralp, B., Parnell, S., . . . Webb, R. (2016). Defining and advancing a systems approach for sustainable cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.010>
- Barros, C., Tamayo, C., Restrepo, D., Granados, H., Tobón, J., Morales, L., . . . Echavarría, R. (2010). *Plan de desarrollo comuna 14 - el poblado* (Tech. Rep.). Alcaldía de Medellín.
- Batty, M. (2012). Cities as complex systems: Scaling, interaction, networks, dynamics and urban morphologies. *GIS and Urban Design*.
- Benassi, A. H. (2015). *Ciudad botánica: Oasis del desierto urbano*.
- Brunetti, M., & Prodi, F. (2015). The climate system. In *Epj web of conferences*. Retrieved from <https://doi.org/10.1051/epjconf/20159802001>
- Bustamante, C., Jans, M., & Higuera, E. (2014). El comportamiento del viento en la morfología urbana y su incidencia en el uso estacional del espacio público, punta arenas, Chile. *Revista AUS*.
- Cabras, E. (2014). *Efectos de la morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona* (Unpublished master's thesis). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Cai, Z., Han, G., & Chen, M. (2018). Do water bodies play an important role in the relationship between urban form and land surface temperature? *Sustainable Cities and Society*, 39, 487–498. doi: 10.1016/j.scs.2018.02.033
- Calaza Martínez, P. (2017). *Infraestructura verde. sistema natural de salud pública*. Mundi-Prensa.
- Capel, H. (2002). *La morfología de las ciudades. tomo i: Sociedad, cultura y paisaje urbano*. Ediciones del Serbal.
- Carmelitas de Colombia. (n.d.). *Monasterio san José – la mansión*. Retrieved 2020-01-24, from <http://carmelitasdecolombia.com/index.php/monasterio-san-jose/>
- Chandler, T. J. (1965). *The climate of London*. Hutchinson of London.
- Charreire, H., Weber, C., Chaix, B., Salze, P., Casey, R., Banos, A., . . . Oppert, J.-M. (2012). Identifying built environmental patterns using cluster analysis and GIS: Relationships with walking, cycling and body mass index in French adults. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*.
- Conrado Castro, Y., Figueroa Fernández, E., & Álvarez López, A. (2015). Influencia de la forma urbana en el microclima térmico de Sagua la Grande. *Arquitectura y urbanismo*.
- Cook, E. (2002). Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. *Landscape and Urban Planning*. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00226-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00226-2)
- Cordero Ordoñez, X. (2014). *Microclima y confort térmico urbano* (Unpublished master's

thesis). Escuela técnica superior de arquitectura de Barcelona.

Correa, M., Zuluaga, C., Palacio, C., Pérez, J., & Jiménez, J. (2009). Acoplamiento de la atmósfera libre con el campo de vientos locales en una región tropical de topografía compleja. caso de estudio: Valle de aburrá, antioquia, colombia. , *76*(158), 17–27. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49612069003>

Cortolima. (2009). *Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas las panelas y la balsa* (Tech. Rep.).

Coutts, A., Beringer, J., Tapper, N., & Loughnan, M. E. (2012). Watering our cities: The capacity for water sensitive urban design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context. *Progress in physical geography*.

Crawley, M. (2013). *The r book*. Wiley.

Daniels, F., Martínez López, E., Quinchía, R., Morales, O. C., Romero, A., Marín, A. M., & Arbeláez, M. P. (2007). *Estado del arte sobre los estudios de la calidad del aire en el valle de aburrá* (Tech. Rep.). Universidad de Antioquia.

d'Ecologia Urbana de Barcelona, A. (2009). *Plan de movilidad y espacio público* (Tech. Rep.). Concello de Lugo.

Departamento Administrativo de Planeación. (2007). *Resolución no 442 de 2007: Por la cual se legaliza y se regulariza urbanísticamente el sector la candelaria ubicado en el polígono 22 – mi – 11* (Tech. Rep.). Alcaldía de Medellín.

Departamento Administrativo de Planeación, & Alcaldía de Medellín. (2014). *El plan de ordenamiento territorial de Medellín 2014: Un modelo territorial para la intervención estratégica* (Tech. Rep.). Alcaldía de Medellín.

de Planeación, D. A. (2014). *Plan de desarrollo local. comuna 16 belén* (Tech. Rep.). Alcaldía de Medellín.

Derkzen, M. L., Van Teeffelen, A. J., & Verburg, P. H. (2016). Green infrastructure for urban climate adaptation: How do residents' views on climate impacts and green infrastructure shape adaptation preferences? *Elsevier*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.027>

de Solà-Morales i Rubió, M. (1997). *Las formas de crecimiento urbano*. UPC. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=0E1h6qsjPfAC>

Dimoudi, A., & Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*.

Dirección General de Medio Ambiente. (2014). *Construir una infraestructura verde para Europa*. Union Europea.

Dorighello Tomás, D. (2002). Estudio del comportamiento de la humedad relativa del aire en centros urbanos. *Boletín de la A.G.E.*

Ellefsen, R. (1991). Mapping and measuring buildings in the canopy boundary layer in ten U.S. cities. *Elsevier*. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(91\)90097-M](https://doi.org/10.1016/0378-7788(91)90097-M)

- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., ... Wilkinson, C. (2013). *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities*. Springer Open.
- Firehock, K. (2015). *Strategic green infrastructure planning: A multi-scale approach*. Island Press/Center for Resource Economics.
- Forman, R. (1995). *Land mosaics*. Press syndicate of the University of Cambridge.
- Freitas, S., Panetta, J., Longo, K., Rodrigues, L., Moreira, D., Rosário, N., ... Martins, L. (2017). The brazilian developments on the regional atmospheric modeling system (brams 5.2): an integrated environmental model tuned for tropical areas. *Geoscientific Model Development*. Retrieved from [doi:10.5194/gmd-10-189-2017](https://doi.org/10.5194/gmd-10-189-2017)
- Gabler, R. E., Petersen, J. F., Trapasso, L. M., & Sack, D. (2009). *Physical geography*. Brooks/Cole.
- García Chavez, J. R., & Fuentes Freixanet, V. (1985). *Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- García Tavares, S. (2015). *Urban comfort: adaptive capacity in post-earthquake christchurch*. (Unpublished doctoral dissertation). Lincoln University.
- García Vázquez, C. (2004). *Ciudad hojaldre*. Editorial Gustavo Gili, SA.
- González, O. C. (1998). *Metodología para el calculo del confort climático en colombia* (Tech. Rep.). Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM.
- González González, M. J. (2002). La ciudad sostenible. planificación y teoría de sistemas. *Boletín de la A.G.E.*
- González Escobar, L. F. (2007a). Del higienismo al taylorismo: de los modelos a la realidad urbanística de medellín, colombia 1870-1932. *Bitacora urbano territorial*.
- González Escobar, L. F. (2007b). *Medellín, los orígenes y la transición a la modernidad: Crecimiento y modelos urbanos 1775-1932*. Universidad Nacional de Colombia.
- Gunawardena, K., Wells, M., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Elsevier*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Guo-yu, Q., Hong-yong, L., Qing-tao, Z., Wan, C., Xiao-jian, L., & Xiang-ze, L. (2013). Effects of evapotranspiration on mitigation of urban temperature by vegetation and urban agriculture. *Joournal of integrative agriculture*.
- Guzmán Ochoa, M., & Ochoa De la Torre, J. M. (2014). Confort térmico en los espacios públicos urbanos, clima cálido y frío semi-seco. *Hábitat Sustentable*. Retrieved from <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/450>
- Herrera Hurtado, M. A. (2019). *Morfología urbana y clima local: Alternativas de diseño urbano a partir de infraestructura verde*. (Unpublished master's thesis). Universidad Nacional de Colombia.
- Heuvel dop, J., Pardo Tasies, J., Quiros, S., & Espinoza, L. (1986). *Agroclimatología tropical*.

- Euned. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=DD05AfVeRs0C>
- Higuera, E. (2006). *Urbanismo bioclimático: Arquitectura y diseño + ecología*. Gustavo Gili.
- Holdridge, L. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center.
- Ignatius, M., Hien Wong, N., & Kardinal Jusuf, S. (2015). Urban microclimate analysis with consideration of local ambient temperature, external heat gain, urban ventilation, and outdoor thermal comfort in the tropics. *Elsevier*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.016>
- Jiménez Mejía, J. F. (2016). *Altura de la capa de mezcla en un área urbana, montañosa y tropical. caso de estudio: Valle de aburrá (colombia)* (Unpublished doctoral dissertation). Universidad de Antioquia.
- Kipp, & Zonen. (n.d.). *Measured parameters of meteorology*. Retrieved mayo 2/2020, from <https://www.kippzonen.com/Knowledge-Center/Theoretical-info/Solar-Radiation/Parameters-of-Meteorology>
- Kotharkar, R., & Bagade, A. (2017). Local climate zone classification for indian cities: A case study of nagpur. *Urban Climate*, 24. doi: 10.1016/j.uclim.2017.03.003
- Kurbán, A. (2017). *Verde urbano : contribución bioclimática a la sustentabilidad de ambientes áridos*. UNSJ.
- Kurbán, A., & Cúnsulo, M. (2017). Confort térmico en espacios verdes urbanos de ambientes áridos. *Hábitat Sustentable*.
- Lafaye de Micheaux, P., Drouilhet, R., & Liquet, B. (2014). *The r software: Fundamentals of programming and statistical analysis*.
- Lingno, L., Zhenghong, P., Hao, W., Hongzan, J., Yang, Y., & Jie, Z. (2018). Fast identification of urban sprawl based on k-means clustering with population density and local spatial entropy. *Sustainability*. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su10082683>
- Liu, B., Lian, Z., & Brown, R. D. (2019). Effect of landscape microclimates on thermal comfort and physiological wellbeing. *Sustainability*. Retrieved from [10.3390/su11195387](https://doi.org/10.3390/su11195387)
- Martínez Osorio, A. (2018). *Islas de calor en el área urbana del valle de aburrá* (Unpublished master's thesis). Universidad Nacional de Colombia.
- McKenna, D. (2012). *Green infrastructure implementation and efficiency: theme 6: Grey infrastructure mitigation* (Tech. Rep.). Institute for European Environmental Policy.
- Mega, V., & Pedersen, J. (1998). *Urban sustainability indicators*. European Foundation.
- Mejía Gutiérrez, Á. B. (2007). *Relación entre movilidad y espacio público: Exploraciones en el sector de el poblado, medellín* (Unpublished master's thesis). Universidad Nacional de Colombia.
- Molina Franco, D. A. (2013). *La ciudad sus árboles y los cuerpos: el proceso de modernización y la transformación del paisaje en medellín (1890-1950)* (Unpublished master's thesis). Universidad Nacional de Colombia.

- Monsalve Cuartas, A. M. (2009). Redes ecológicas en la estructura urbana de la ciudad de medellín (colombia). In *Área natural. paisaje y territorio*.
- Municipio de Medellín, & Secretaria de Servicios Administrativos. (2014). *Gaceta oficial no 4267* (Tech. Rep.). Municipio de Medellín.
- Naylor, L. A., Kippen, H., Coombes, M. A., Horton, B., MacArthur, M., & Jackson, N. (2017). *Greening the grey: a framework for integrated green grey infrastructure (iggi)* (Tech. Rep.). University of Glasgow.
- Nikolopoulou, M., & Steemers, K. (2003). Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00084-1)
- Null, S., Washburn, A., Ramakrishnan, D., Yang, P., Patiño Anaya, E., Cai, J., . . . Chan Shifflett, S. (2014). *Dawn of the smart city? perspectives from new york, ahmedabad, são paulo and beijing*. Wilson Center.
- Oke, T. (1987). *Boundary layer climates*. Routledge.
- Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G., & Watson, I. D. (1991). Simulation of surface urban heat islands under ideal conditions at night part 2: Diagnosis of causation. *Boundary layer meteorology*.
- Olgyay, V. (2008). *Arquitectura y clima manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili.
- Pacifici, M., Rama, F., & de Castro Marins, K. R. (2018). Analysis of temperature variability within outdoor urban spaces at multiple scales. *Urban Climate*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.003>
- Pakzad, P., & Osmond, P. (2015). Developing a sustainability indicator set for measuring green infrastructure performance. In *Urban planning and architecture design for sustainable development*. doi: 10.13140/RG.2.1.2343.1121
- Papparelli, A. (2003). *Diagnostico ambiental de ecosistemas humanos*. Nobuko.
- Peiravian, F., de Lapparent, M., & Derrible, S. (2015). *Exploration of the complex similarity of urban system components* (Tech. Rep.). Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Peña, V., Erazo, M., Garzón, F., & Salazar, K. (2014). Confort climático.
- Perico Agudelo, D. (2009). El espacio público de la ciudad: una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas. *Cuadernos de vivienda y urbanismo*.
- Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín. (2014). *Macroproyecto ríosur* (Tech. Rep.). Alcaldía de Medellín.
- Poveda, G. (2006, 01). El clima de antioquia..
- Pucha-Cofrep, F., Fries, A., Cánovas, F., Oñate, F., González, V., & Pucha, D. (2017). *Fundamentos de sig*. ResearchGate.
- Quiceno Toro, N., Muñoz, A. M., & Montoya, H. (2008). *La comuna 8: Memoria y territorio* (Tech. Rep.). Secretaría de Cultura Ciudadana. Proyecto Memoria y Patrimonio.

- R Core Team. (2017). R: A language and environment for statistical computing [Computer software manual]. Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.r-project.org/>
- Ranhao, S., & Chen, L. (2012). How can urban water bodies be designed for climate adaptation? *Landscape and Urban Planning*.
- Rein, M. (2013). *El confort urbano en la ciudad y su evolución en los últimos años* (Tech. Rep.). Ayuntamiento de Málaga, Observatorio de medio ambiente urbano.
- Ren, C., Cai, M., Wang, R., & Xu, Y. (2016). The fourth international conference on countermeasure to urban heat islands (4th ic2uhi), at nus, singapore. In *Local climate zone (lcz) classification using the world urban database and access portal tools (wudapt) method: A case study in wuhan and hangzhou*.
- Restrepo Betancur, L. f., Peña Serna, C., & Martínez Gonzalez, M. F. (2019). Climate change in the city of medellín- colombia, throughout fifty years (1960-2010). *DYNA*. Retrieved from <http://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.69531>
- Restrepo Mesa, M. d. P. (2006). *Plan maestro de espacios públicos verdes urbanos de la región metropolitana del valle de aburrá* (Tech. Rep.). Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Ricci, A., Kalkman, I., Blocken, B., Burlando, M., Freda, A., & Repetto, M. (2017). Local scale forcing effects on wind flows in an urban environment impact of geometrical simplifications. *Journal of wind engineering & industrial aerodynamics*.
- Roset, J., & Navés, F. (2013). *La vegetación tropical en el confort climático urbano” aplicado a santo domingo, republica dominicana en comparación con el clima mediterráneo, barcelona, españa* (Unpublished master’s thesis). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Roy, K., Kar, S., & Narayan Das, R. (2015). *Understanding the basics of qsar for applications in pharmaceutical sciences and risk assessment*. Science Direct.
- Sahabi Abed, A., Salah; Matzarakis. (2017). Seasonal regional differentiation of human thermal comfort conditions in algeria. *Advances in Meteorology*. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2017/9193871>
- Salazar Hernández, C. (2012). *El paisaje de borde urbano* (Unpublished master’s thesis). Universidad Nacional de La Plata.
- Salvador Palomo, P. J. (2003). *La planificación verde en las ciudades*. Gustavo Gili.
- San Vicente, M. G., & Lozano Valencia, P. J. (2008). Ecología del paisaje. un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. *Estudios Geográficos*. Retrieved from <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0427>
- Saumeth Rios, L. (2010). *Tricentenario: un verdadero pulmón en la ciudad*. Retrieved 2020-01-24, from <https://www.elmundo.com/portal/resultados/detalles/?idx=145947>
- Schmidt, M. (2010). Ecological design for climate mitigation in contemporary urban living. *International journal of water*.
- Schnitter, P., Patiño, J. M., Salazar, S., Cadavid, J., Duque, C. I., & Sánchez, C. (2007). *Estudio de la forma y el crecimiento urbano de la región metropolitana*. Editorial Artes y

Letras Ltda.

Secretaría de Medio Ambiente, & Alcaldía de Medellín. (2009). *Intervención integral de nuestras quebradas: Parques lineales. estrategia para la recuperación del patrimonio ambiental de las quebradas de medellín* (Tech. Rep.). Alcaldía de Medellín.

Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., & Erell, E. (2009). The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning*.

Soto Estrada, E. (2019). Estimación de la isla de calor urbana en medellín, colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*. Retrieved from [10.20937/RICA.2019.35.02.13](https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.02.13)

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. Retrieved from <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

Taleghani, M., Kleerekoper, Laura, Tenpierik, M., & Van den Dobbelsteen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the netherlands. *Building and Environment*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>

Tan, P., Steinbach, M., Karpatne, A., & Kumar, V. (2019). *Introduction to data mining* (2nd ed.). Pearson.

Tang, L., Gao, J., Ren, C., Zhang, X., Yang, X., & Kan, Z. (2019). Detecting and evaluating urban clusters with spatiotemporal big data. *sensors*. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/s19030461>

Tavares, S., & Swaffield, S. (2017). Urban comfort in a future compact city: Analysis of open space qualities in the rebuilt christchurch central city. *Landscape Review*, 17, 5–23. Retrieved from <https://journals.lincoln.ac.nz/index.php/lr/article/view/1035>

Theeuwes, N. E., Solcerová, A., & Steeneveld, G. J. (2013). Modeling the influence of open water surfaces on the summertime temperature and thermal comfort in the city. *Journal of geophysical research: Atmospheres*.

Tornero, J., Perez Cueva, A., & Gómez Lopera, F. (2006). Ciudad y confort ambiental: estado de la cuestión y aportaciones recientes. *Cadernos de Geografía*.

Tort Donada, J., & Santasusagna Riu, A. (2018). *La ciudad como ecosistema. entrevista a salvador rueda*. REVISTA BIBLIOGRÁFICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES.

Universidad Nacional de Colombia, & Empresa de Desarrollo Urbano. (2006). *Plan especial de espacio público y equipamientos para medellín* (Tech. Rep.). Alcaldia de Medellín.

Urbam, Universidad Eafit, & Leibniz Universität Hannover. (2013). *Rehabitar la montaña*. Impresos Ltda.

Uribe, M. (n.d.). *Medellín: Construcción o tumbazón*. Retrieved 2020-01-24, from <https://www.elmundo.com/noticia/MedellinConstruccion-o-tumbazon/376630>

Valdés, M. D., Paula; Foulkes. (2016). La infraestructura verde y su papel en el desarrollo regional. aplicación a los ejes recreativos y culturales de resistencia y su área metropolitana. *Espacio, cultura, sociedad*.

- Velasco Gómez, R., Chaparro Ayala, D., Botero López, J., & Rueda Plata, C. I. (2018). Xii seminario internacional de la facultad de arquitectura y artes. In *Eficiencia + experiencia. hacia una arquitectura del confort*.
- Vélez White, M. L. (2000). *La medellinidad, sus edificios* (Tech. Rep.). Universidad Nacional de Colombia.
- Wardana, I. K. (2015). *Analysis of urban surface temperature for green spaces planning in bandung city, indonesia* (Unpublished master's thesis). University of Twente.
- Xinyu, H., & Junyan, Y. (2018). Quantitative analysis of the urban factors limiting central district plane form expansion: Twenty-one case studies of asian megacities central districts. *Asian Architecture and Building Engineering*.
- Zardi, D., & Whiteman, C. D. (2012). *Diurnal mountain wind systems* (Tech. Rep.). University of Trento, University of Utah.
- Zuluaga Díaz, S. A. (2011). *Altamira: un pulmón verde*. Retrieved 2020-01-24, from https://www.elmundo.com/portal/noticias/antioquia/altamira_un_pulmon_verde.php