

**CIUDAD
Y
CAMBIO
MICROCLIMÁTICO**

PG/FAU/UnB
Línea de investigación:
Tecnología, Ambiente y
Sustentabilidad
Alumna: Paola Maigua
Orientadora: Dra. Marta Romero
Brasilia
2020



PPG / FAU / UnB
**Línea de Pesquisa: Tecnologia, Ambiente
y Sustentabilidad**
Alumna: Diana Paola Maigua López
Orientadora: Dra. Marta A. B. Romero

TESIS
CIUDAD Y CAMBIO MICROCLIMÁTICO

Tesis presentada al Curso de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo de la Universidade de Brasilia – UNB, como parte de los requisitos necesarios para la obtención del grado de Doctor en Arquitectura y Urbanismo, en la línea de investigación de Ambiente, Tecnología y Sustentabilidad.

Brasilia - DF

Febrero 2020

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

MP211c MAIGUA, PAOLA
CIUDAD Y CAMBIO MICROCLIMÁTICO / PAOLA MAIGUA;
orientador MARTA ADRIANA BUSTOS ROMERO. -- Brasília, 2020.
322 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)
- Universidade de Brasília, 2020.

1. LOCAL CLIMATE ZONE. 2. TEMPERATURA DE SUPERFICIE. 3.
TEMPERATURA DEL AIRE. 4. CIUDAD DE QUITO. 5. GEOMETRIA
URBANA. I. BUSTOS ROMERO, MARTA ADRIANA , orient. II. Título.

En este reto de continuar preparándome y conociendo, me acompañó la persona que me impulsa todos los días, mi querida hija Dianita... mil gracias por todo mi corazón, por tu paciencia, por tu espera, por esas idas y venidas desde Quito y Brasilia. Gracias por acompañarme en mis sueños...

A mi padre José Luis por su apoyo incondicional.

Agradecimiento

En el camino por alcanzar esta meta, la Universidad de Brasilia me abrió las puertas para mi formación académica, mi enorme gratitud por esta institución, a Marta Romero por su rigurosa y excelente guía en esta investigación, a LASUS en donde obtuve las bases de mis conocimientos y conocí a mis compañeros de estudio, Abner, Daniela y Elen que esclarecieron dudas en los trabajos de investigación.

A Alessandro Rezende por su apoyo y por ser parte de estos años...

A mis hermanos Kenia y Andrés por permanecer siempre junto a mí.

Obrigada Brasil

Resumen

El cambio del microclima en las ciudades por el crecimiento acelerado de la urbanización es un fenómeno que tiene como consecuencia la presencia de ICU (Isla de Calor Urbano) por causa de las actividades antropogénicas, geometría urbana y uso de materiales de construcción (pavimento y piedra), desde esta perspectiva todas las ciudades presentan ICU, por consiguiente, la Ciudad de Quito presenta cambios en el microclima urbano. Esta investigación pretende conocer el comportamiento del clima urbano en la Ciudad de Quito – Ecuador, utilizando la herramienta SIG y la técnica Teledetección, para ello divide en tres ejes temáticos la investigación. Eje 1, **Ciudad de Quito**, analiza desde el año 1977 a 2019, el crecimiento poblacional, morfología urbana y NDVI para ello se usa el software SAGA GIS y la técnica de la teledetección. Eje 2, **Forma urbana y LCZ**, se aplica en la Ciudad de Quito la clasificación Local Climate Zone (LCZ) de Stewart y Oke (2012), esta información es validada a través de una matriz de confusión para obtener el accuracy e índice kappa, para ello se usa el software SAGA GIS y la técnica teledetección; la geometría urbana es analizada con el software QGIS a través del *plugin* UMEP, con ello se obtiene un mapa raster de factor de visión del cielo, porcentaje de

aspecto; con el *plugin thrjees* se realiza la volumetría de las edificaciones existentes, para identificar los elementos del cañón urbano y clima urbano. Eje 3, **Clima urbano**, se analiza la Temperatura de superficie (Ts), Temperatura del aire (Ta), albedo y calor antropogénico. Para conocer Ta, en la clasificación LCZ, se aplica el método estimación de densidad de Kernel a través de la geoestadística. En los prototipos más representativos se coloca sensores de temperatura, la medición se la realiza de 10h00 a 11h00 cada 15 días de acuerdo con la fecha en que pasa el satélite Landsat 8 por la ciudad, con la teledetección se realiza el cálculo de Ts, para ello es necesario aplicar seis ecuaciones: 1) radiancia espectral, 2) temperatura de brillo, 3) índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), 4) Proporción de vegetación (Pv), 5) emisividad, 6) Ts. El calor antropogénico (Qf) es calculado con el flujo de calor generado por el consumo de electricidad en las edificaciones (Qfb) + el flujo de calor de la combustión de los vehículos (Qfv) + el flujo de calor del metabolismo humano y animal (Qfm). Una vez obtenidas las tres variables LCZ, Ts y Ta se aplica la geoestadística correlación obteniendo como resultado, LCZ y Ts correlación moderada negativa, LCZ y Ta correlación moderada negativa; Ta y Ts correlación fuerte positiva.

Summary

The change of the microclimate in cities due to the accelerated growth of urbanization is a phenomenon that has as a consequence the presence of ICU (Isla de Calor Urbano) due to anthropogenic activities, urban geometry and the use of construction materials (pavement and stone), from this perspective all cities present ICU, therefore, the City of Quito presents changes in the urban microclimate. This research aims to know the behavior of the urban climate in the City of Quito - Ecuador, using the GIS tool and the Remote Sensing technique, for this it divides the research into three thematic axes. Axis 1, **Quito City**, analyzes population growth, urban morphology and NDVI from 1977 to 2019, using the SAGA GIS software and remote sensing technique. Axis 2, **Urban form and LCZ, the Local Climate Zone (LCZ)** classification of Stewart and Oke (2012) is applied in the City of Quito, this information is validated through a confusion matrix to obtain the accuracy and kappa index, For this, the SAGA GIS software and the remote sensing technique are used; urban geometry is analyzed with the QGIS software through the UMEP plugin, thus obtaining a raster map of sky vision factor, percentage of aspect; With the threjes plugin, the volume of the existing buildings is performed to

identify the elements of the urban canyon and urban climate. Axis 3, **Urban climate**, surface temperature (T_s), air temperature (T_a), albedo and anthropogenic heat are analyzed. To know T_a , in the LCZ classification, the Kernel density estimation method is applied through geostatistics. In the most representative prototypes, temperature sensors are placed, the measurement is made from 10:00 a.m. to 11:00 a.m. every 15 days according to the date the Landsat 8 satellite passes through the city, with remote sensing the calculation of T_s is performed, to It is necessary to apply six equations: 1) spectral radiance, 2) brightness temperature, 3) normalized difference vegetation index (NDVI), 4) vegetation ratio (P_v), 5) emissivity, 6) T_s . Anthropogenic heat (Q_f) is calculated with the heat flux generated by the consumption of electricity in buildings (Q_{fb}) + the heat flux from the combustion of vehicles (Q_{fv}) + the heat flux from human and animal metabolism (Q_{fm}). Once the three variables LCZ, T_s and T_a were obtained, the geostatistics correlation was applied obtaining as a result, LCZ and T_s moderate negative correlation, LCZ and T_a moderate negative correlation; T_a and T_s positive strong correlation.

Lista de figuras

Figura 1: Ejes investigación	10	Figura 29: Clasificación de la rugosidad del terreno	41
Figura 2: Mapa de LCZ de la Ciudad de Viena, Austria.....	11	Figura 30: Factores naturales y antropogénicos en el clima urbano	44
Figura 3: Ubicación de la Ciudad de Quito.....	14	Figura 31: Variaciones de la temperatura superficial y atmosférica.....	45
Figura 4: Comparación de crecimiento poblacional por años	15	Figura 32: Escala climática.....	46
Figura 5: Comparación de crecimiento urbano por años	16	Figura 33: Retención de calor de los materiales de construcción	52
Figura 6: Evolución urbana de la Ciudad de Quito por años	16	Figura 34: Calor antropogénico de Megaciudades	53
Figura 7: Evolución urbana de la Ciudad de Quito por km ²	17	Figura 35: Ejemplo de cálculo de índice de área frontal.....	54
Figura 8: Área de estudio en la Ciudad de Quito	19	Figura 36: Compact high – rise.....	55
Figura 9: Parroquias urbanas de la Ciudad de Quito.....	20	Figura 37: Compact midrise.....	56
Figura 10: Densidad poblacional de la Ciudad de Quito.....	20	Figura 38: Compact low - rise	56
Figura 11: Áreas verdes de la Ciudad de Quito.....	21	Figura 39: Open high rise	57
Figura 12: Centro Histórico de la Ciudad de Quito – Plaza Grande	22	Figura 40: Open mid- rise	57
Figura 13: Centro Histórico de Quito- Vista general	23	Figura 41: Open low- rise	58
Figura 14: Zona norte de la Ciudad de Quito.....	23	Figura 42: Lightweight low rise.....	58
Figura 15: Zona sur de la Ciudad de Quito	24	Figura 43: Large low- rise.....	59
Figura 16: Altitud del área de estudio	25	Figura 44: Sparsely build.....	59
Figura 17: Carta solar de la Ciudad de Quito.....	26	Figura 45: Heavy industry	60
Figura 18: Tendencias de temperatura en la Ciudad de Quito 1905-2005.....	27	Figura 46: Dense tree.....	60
Figura 19: Escenarios climáticos de la Ciudad de Quito 2006 -2099	28	Figura 47: Scattered tree	61
Figura 20: Población mundial	29	Figura 48: Bush, scrub	61
Figura 21: Elementos de la forma urbana	32	Figura 49: Low plants	62
Figura 22: Estructura de UCMaP	34	Figura 50: Bare rock or paved	62
Figura 23: Seis niveles de análisis en la morfología urbana - SALAT	35	Figura 51: Bare soil or sand.....	63
Figura 24: Cañón urbano.....	37	Figura 52: Water	63
Figura 25: flujos de aire en la relación H/W y L/H.....	37	Figura 53: Valoración de geometría y cobertura de superficie	64
Figura 26: Relación de percepción de los edificios y sus entornos..	38	Figura 54: Valoración de temperatura, radiación y metabolismo	64
Figura 27: Sky View Factor (SFV).....	39	Figura 55: Valoración de rugosidad de suelo.....	65
Figura 28: Comportamiento de los vientos con la rugosidad.....	40	Figura 56: Matriz de datos de LCZ.....	65
		Figura 57: Imágenes procesadas con UMEP	68
		Figura 58: Histograma de LCZ con SAGA GIS	70
		Figura 59: Información de área y cantidad de LCZ con SAGA GIS	71
		Figura 60: Densidad de hojas verdes y de hojas secas.....	74
		Figura 61: Estimador de intensidad de distribución de puntos	74
		Figura 62: Densidad de casos de mortalidad en Porto Alegre 1996.	75

Figura 63: UMEP - SKY VIEW FACTOR.....	77	Figura 97: Porcentaje de prototipos LCZ en la Ciudad de Quito....	114
Figura 64: Matriz de geometría y cobertura de superficie	78	Figura 98: Paisaje urbano de LCZ 1 de la Ciudad	118
Figura 65: Áreas de entrenamiento con Google earth.....	81	Figura 99: Local Climate Zone 1 en la Ciudad de Quito	119
Figura 66: Imagen satelital Landsat 8	83	Figura 100: LCZ 1, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	120
Figura 67: SAGA GIS, complemento LCZ.....	84	Figura 101: Mapa de Kernel - LCZ 1 en la Ciudad de Quito	121
Figura 68: Complemento <i>Local Climate Zone Classification</i>	84	Figura 102: Mapa de Kernel, LCZ 1- en los Barrios de la Ciudad .	122
Figura 69: Mapa LCZ de las Ciudades de Londres y Madrid	84	Figura 103: LCZ-1 más representativa en la Ciudad	123
Figura 70: Matriz de confusión a través de SAGA GIS	85	Figura 104: Materiales de cobertura de superficie LCZ-1	123
Figura 71: Matriz de confusión del mapa LCZ de Sendai, Japón	86	Figura 105: LCZ 1 en 3D.....	124
Figura 72: Aplicación de Estimación de Densidad de Kernel.....	87	Figura 106: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-1.....	125
Figura 73: Mapa de densidad de Kernel.....	87	Figura 107: <i>Sky View Factor</i> , con UMEP de LCZ-1	125
Figura 74: LCZ 6 más representativa.....	88	Figura 108: DSM de las edificaciones en LCZ-1	126
Figura 75: Volumetría elaborada con Qgis	88	Figura 109: <i>Wall aspect</i> –LCZ-1	126
Figura 76: Complemento UMEP em Qgis	90	Figura 110: Paisaje urbano de LCZ 2 de la Ciudad de Quito	128
Figura 77: <i>Sky View Factor Calculator</i>	90	Figura 111: Local Climate Zone 2 en la Ciudad de Quito	129
Figura 78: DSM, <i>land cover</i> , <i>Sky View Factor</i> y altura de pared....	90	Figura 112: LCZ 2, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	130
Figura 79: Altura y visión de la pared.....	91	Figura 113: Mapa de Kernel - LCZ 2 en la Ciudad de Quito	131
Figura 80: Ejemplo de mapa de temperatura de superficie	93	Figura 114: Mapa de Kernel - LCZ 2 en los Barrios de la Ciudad .	132
Figura 81: Equipo de medición (estación meteorológica).....	93	Figura 115: LCZ-2 más representativa en la Ciudad de Quito	133
Figura 82: Ubicación de estación meteorológica	94	Figura 116: Materiales de cobertura de superficie LCZ 2	133
Figura 83: Esquema de correlación aplicado con SAGA GIS	96	Figura 117: LCZ 2 en 3D.....	134
Figura 84: NDVI -1977 de la Ciudad de Quito	98	Figura 118: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-2.....	135
Figura 85: NDVI -2019 de la Ciudad de Quito	99	Figura 119: <i>Sky View Factor</i> , con UMEP de LCZ-2	135
Figura 86: Áreas de entrenamiento diseñadas en <i>Google earth</i>	101	Figura 120: DSM de las edificaciones en LCZ-2	136
Figura 87: Radio de influencia para determinar el tamaño de LCZ	103	Figura 121: <i>Wall aspect</i> de LCZ-2 de la Ciudad de Quito.....	136
Figura 88: Imagen satelital para la clasificación supervisada	104	Figura 122: Barrio Solanda - LCZ 3 de la Ciudad de Quito	138
Figura 89: Imagen satelital Landsat 8 en software SAGA GIS.....	105	Figura 123: Barrio La Pisulí - LCZ 3 de la Ciudad de Quito.....	138
Figura 90: Ejecución de plugin Local Climate Zone Classification	105	Figura 124: Local Climate Zone 3 en la Ciudad de Quito	139
Figura 91: Mapa Local Climate Zone Ciudad de Quito (r=400m.)	106	Figura 125: LCZ 3, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	140
Figura 92: Porcentajes de LCZ con radio 400m.....	107	Figura 126: Mapa de Kernel - LCZ 3 en la Ciudad de Quito	141
Figura 93: Porcentaje de LCZ con radio 200 m.	108	Figura 127: Mapa de Kernel - LCZ 3 en los Barrios de la Ciudad .	142
Figura 94: Mapa Local Climate Zone Ciudad de Quito (r=200m.)	109	Figura 128: LCZ-3 más representativa en la Ciudad de Quito	143
Figura 95: Porcentaje de LCZ con radio de 200m. corregida	112	Figura 129: Materiales de cobertura de superficie LCZ 3	143
Figura 96: Mapa <i>Local Climate Zone</i> de la Ciudad de Quito	113	Figura 130: LCZ 3 en 3D.....	144

Figura 131: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-3.....	145	Figura 165: Materiales de cobertura de superficie LCZ 6.....	173
Figura 132: <i>Sky View Factor</i> , con UMEP de LCZ-3 de Quito.....	145	Figura 166: LCZ 6 en 3D.....	174
Figura 133: DSM de las edificaciones en LCZ-3.....	146	Figura 167: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-6.....	175
Figura 134: <i>Wall aspect</i> –LCZ-3 de la Ciudad de Quito.....	146	Figura 168: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-6 de Quito	175
Figura 135: Paisaje urbano de LCZ 4 de la Ciudad de Quito.....	148	Figura 169: DSM de las edificaciones en LCZ-6	176
Figura 136: Local Climate Zone 4 en la Ciudad de Quito	149	Figura 170: <i>Wall aspect</i> –LCZ-6 de la Ciudad de Quito	176
Figura 137: LCZ 4, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	150	Figura 171: Paisaje urbano de LCZ 7 de la Ciudad de Quito	178
Figura 138: Mapa de Kernel - LCZ 4 en la Ciudad de Quito.....	151	Figura 172: Local Climate Zone 7 en la Ciudad de Quito	179
Figura 139: Mapa de Kernel - LCZ 4 en los Barrios de la Ciudad	152	Figura 173: LCZ 7, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	180
Figura 140: LCZ-4 más representativa en la Ciudad de Quito.....	153	Figura 174: Mapa de Kernel - LCZ 7 en la Ciudad de Quito	181
Figura 141: Materiales de cobertura de superficie LCZ 4.....	153	Figura 175: Mapa de Kernel - LCZ 7 en los Barrios de la Ciudad	182
Figura 142: LCZ 4 en 3D.....	154	Figura 176: LCZ-7 en la Ciudad de Quito	183
Figura 143: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-4.....	155	Figura 177: Materiales de cobertura de superficie LCZ 7	183
Figura 144: <i>Sky View Factor</i> , con UMEP de LCZ-1 de Quito.....	155	Figura 178: LCZ 7 en 3D.....	184
Figura 145: DSM de las edificaciones en LCZ-4.....	156	Figura 179: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-7.....	185
Figura 146: <i>Wall height</i> –LCZ-4 de la Ciudad de Quito.....	156	Figura 180: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-7 de Quito	185
Figura 147: Barrio La Granja - LCZ 5 en la Ciudad de Quito	158	Figura 181: DSM de las edificaciones en LCZ-7	186
Figura 148: Local Climate Zone 5 en la Ciudad de Quito	159	Figura 182: <i>Wall aspect</i> –LCZ-7 de la Ciudad de Quito	186
Figura 149: LCZ 5, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	160	Figura 183: Paisaje urbano de LCZ 8 de la Ciudad de Quito	188
Figura 150: Mapa de Kernel - LCZ 5 en la Ciudad de Quito.....	161	Figura 184: Local Climate Zone 8 en la Ciudad de Quito	189
Figura 151: Mapa de Kernel - LCZ 5 en la Ciudad de Quito.....	162	Figura 185: LCZ 8, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	190
Figura 152: LCZ-5 más representativa en la Ciudad de Quito.....	163	Figura 186: Mapa de Kernel - LCZ 8 en la Ciudad de Quito	191
Figura 153: Materiales de cobertura de superficie LCZ 5.....	163	Figura 187: Mapa de Kernel - LCZ 8 en la Ciudad de Quito	192
Figura 154: LCZ 5 en 3D.....	164	Figura 188: LCZ-8 más representativa en la Ciudad de Quito	193
Figura 155: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-5.....	165	Figura 189: Materiales de cobertura de superficie LCZ 8	193
Figura 156: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-5 de Quito.....	165	Figura 190: LCZ 8 en 3D.....	194
Figura 157: DSM de las edificaciones en LCZ-5.....	166	Figura 191: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-8.....	195
Figura 158: <i>Wall height</i> –LCZ-5 de la Ciudad de Quito.....	166	Figura 192: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-8 de Quito	195
Figura 159: LCZ 6 en la Ciudad de Quito.....	168	Figura 193: DSM de las edificaciones en LCZ-8	196
Figura 160: Local Climate Zone 6 en la Ciudad de Quito	169	Figura 194: <i>Wall aspect</i> –LCZ-8 de la Ciudad de Quito	196
Figura 161: LCZ 6, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	170	Figura 195: Paisaje urbano de LCZ 9 de la Ciudad de Quito	198
Figura 162: Mapa de Kernel - LCZ 6 en la Ciudad de Quito.....	171	Figura 196: Local Climate Zone 9 en la Ciudad de Quito.....	199
Figura 163: Mapa de Kernel - LCZ 6 en la Ciudad de Quito.....	172	Figura 197: LCZ 9, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	200
Figura 164: LCZ-6 más representativa en la Ciudad de Quito.....	173	Figura 198: Mapa de Kernel - LCZ 9 en la Ciudad de Quito	201

Figura 199: Mapa de Kernel - LCZ 9 en los Barrios de la Ciudad	202	Figura 232: Mapa de Kernel - LCZ B en la Ciudad de Quito.....	230
Figura 200: LCZ-9 más representativa en la Ciudad de Quito.....	203	Figura 233: Mapa de Kernel - LCZ B en los Barrios de la Ciudad	231
Figura 201: Materiales de cobertura de superficie LCZ 9.....	203	Figura 234: LCZ-B más representativa en la Ciudad de Quito.....	232
Figura 202: LCZ 9 en 3D.....	204	Figura 235: Materiales de cobertura de superficie LCZ B.....	232
Figura 203: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-9.....	205	Figura 236: LCZ B en 3D.....	233
Figura 204: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-9 de Quito.....	205	Figura 237: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-B.....	234
Figura 205: DSM de las edificaciones en LCZ-9.....	206	Figura 238: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-B de Quito.....	234
Figura 206: <i>Wall aspect</i> –LCZ-9 de la Ciudad de Quito.....	206	Figura 239: Paisaje urbano de LCZ C de la Ciudad de Quito.....	236
Figura 207: Paisaje urbano de LCZ 10 de la Ciudad de Quito.....	208	Figura 240: Local Climate Zone C en la Ciudad de Quito.....	237
Figura 208: Local Climate Zone 10 en la Ciudad de Quito.....	209	Figura 241: LCZ C, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	238
Figura 209: LCZ 10, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	210	Figura 242: Mapa de Kernel - LCZ C en la Ciudad de Quito.....	239
.....	210	Figura 243: Mapa de Kernel – LCZ C en los Barrios de la Ciudad	240
Figura 210: Mapa de Kernel - LCZ 10 en la Ciudad de Quito.....	211	Figura 244: LCZ-C más representativa en la Ciudad de Quito.....	241
Figura 211: Mapa de Kernel - LCZ 10 en los Barrios de la Ciudad	212	Figura 245: Materiales de cobertura de superficie LCZ C.....	241
Figura 212: LCZ-10 más representativa en la Ciudad de Quito.....	213	Figura 246: LCZ C en 3D.....	242
Figura 213: Materiales de cobertura de superficie LCZ 10.....	213	Figura 247: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-C.....	243
Figura 214: LCZ 10 en 3D.....	214	Figura 248: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-C de Quito.....	243
Figura 215: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-10.....	215	Figura 249: Paisaje urbano de LCZ D de la Ciudad de Quito.....	245
Figura 216: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-10 de Quito.....	215	Figura 250: Local Climate Zone D en la Ciudad de Quito.....	246
Figura 217: DSM de las edificaciones en LCZ-10.....	216	Figura 251: LZC D, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	247
Figura 218: <i>Wall aspect</i> –LCZ-10 de la Ciudad de Quito.....	216	Figura 252: Mapa de Kernel - LCZ D en la Ciudad de Quito.....	248
Figura 219: Paisaje urbano de LCZ A de la Ciudad de Quito.....	218	Figura 253: Mapa de Kernel - LCZ D en los Barrios de la Ciudad	249
Figura 220: Local Climate Zone A en la Ciudad de Quito.....	219	Figura 254: LCZ-D más representativa en la Ciudad de Quito.....	250
Figura 221: LCZ A, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	220	Figura 255: Materiales de cobertura de superficie LCZ D.....	250
Figura 222: Mapa de Kernel - LCZ A en la Ciudad de Quito.....	221	Figura 256: LCZ D en 3D.....	251
Figura 223: Mapa de Kernel - LCZ A en los Barrios de la Ciudad	222	Figura 257: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-D.....	252
Figura 224: LCZ-A más representativa en la Ciudad de Quito.....	223	Figura 258: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-D de Quito.....	252
Figura 225: Materiales de cobertura de superficie LCZ A.....	223	Figura 259: Paisaje urbano de LCZ E de la Ciudad de Quito.....	254
Figura 226: LCZ A en 3D.....	224	Figura 260: Local Climate Zone E en la Ciudad de Quito.....	255
Figura 227: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-A.....	225	Figura 261: LCZ E, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	256
Figura 228: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-A de Quito.....	225	Figura 262: Mapa de Kernel - LCZ E en la Ciudad de Quito.....	257
Figura 229: Paisaje urbano de LCZ B de la Ciudad de Quito.....	227	Figura 263: Mapa de Kernel - LCZ E en los Barrios de la Ciudad.	258
Figura 230: Local Climate Zone B en la Ciudad de Quito.....	228	Figura 264: LCZ-E más representativa en la Ciudad de Quito.....	259
Figura 231: LCZ B, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	229	Figura 265: Materiales de cobertura de superficie LCZ E.....	259

Figura 266: LCZ E en 3D.....	260
Figura 267: DSM de pavimento en LCZ-E.....	261
Figura 268: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-E de Quito	261
Figura 269: Paisaje urbano de LCZ F de la Ciudad de Quito	263
Figura 270: Local Climate Zone F en la Ciudad de Quito	264
Figura 271: LCZ F, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel	265
Figura 272: Mapa de Kernel - LCZ F en la Ciudad de Quito.....	266
Figura 273: Mapa de Kernel - LCZ F en los Barrios de la Ciudad	267
Figura 274: LCZ-F más representativa en la Ciudad de Quito	268
Figura 275: Materiales de cobertura de superficie LCZ F	268
Figura 276: LCZ F en 3D.....	269
Figura 277: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-F.....	270
Figura 278: <i>Sky View Factor</i> con UMEP de LCZ-F de Quito	270
Figura 279: Paisaje urbano de LCZ G de la Ciudad de Quito.....	272
Figura 280: Local Climate Zone G en la Ciudad de Quito	273
Figura 281: LCZ G, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel.....	274
Figura 282: Mapa de Kernel - LCZ G en la Ciudad de Quito.....	275
Figura 283: Mapa de Kernel - LCZ G en los Barrios de la Ciudad	276
Figura 284: LCZ-G más representativa en la Ciudad de Quito.....	277
Figura 285: Materiales de cobertura de superficie LCZ G.....	277
Figura 286: LCZ G en 3D	278
Figura 287: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-G.....	279
Figura 288: <i>Sky View Factor</i> , con UMEP de LCZ-G de Quito.....	279
Figura 289: Temperatura de Superficie (2018-09-23)	283
Figura 290: Temperatura de Superficie (2018-12-28)	283
Figura 291: Temperatura de Superficie (2019-01-19)	284
Figura 292: Temperatura de Superficie (2019-03-18)	284
Figura 293: Temperatura de Superficie (2019-05-20)	285
Figura 294: Temperatura de Superficie (2019-05-21)	285
Figura 295: Temperatura de Superficie (2019-06-22)	286
Figura 296: Temperatura de Superficie (2019-08-09)	286
Figura 297: Temperatura de Superficie (2019-08-25)	287
Figura 298: Temperatura de Superficie (2019-09-17)	287
Figura 299: Comparación de Ts con las imágenes satelitales.....	289

Figura 300: Comportamiento de Ts en LCZ.....	291
Figura 301: Ubicación de sensores de temperatura en LCZ	294
Figura 302: Mapa de temperatura superficial de la Ciudad	294
Figura 303: Comportamiento de Ta en LCZ.....	297
Figura 304: Comportamiento de Ts, Ta, RH, V (m/s) en LCZ.....	300
Figura 305: Albedo de la superficie en la Ciudad.....	305
Figura 306: Albedo de la superficie en LCZ de la Ciudad	306
Figura 307: Estimación de Calor antropogénico en la Ciudad	307
Figura 308: Estimación de Calor antropogénico en LCZ	307
Figura 309: Relación lineal entre Ts y Ta.....	309
Figura 310: Relación lineal entre LCZ y Ts	309
Figura 311: Relación lineal entre LCZ y Ta	309

Lista de tablas

Tabla 1: Crecimiento poblacional de la Ciudad de Quito	15
Tabla 2: Crecimiento urbano de la Ciudad de Quito	16
Tabla 3: Número de habitantes por parroquias urbanas.....	18
Tabla 4: Área en km ² de las parroquias urbanas	18
Tabla 5: Parámetros climáticos promedio de la Ciudad de Quito.....	26
Tabla 6: Radiación en la Ciudad de Quito, 2017	26
Tabla 7: Elementos de la forma urbana según autores.....	36
Tabla 8: Bandas espectrales Landsat 8	68
Tabla 9: Materiales de cobertura de superficie en LZC	76
Tabla 10: Análisis de morfología urbana en LCZ.....	76
Tabla 11: Cálculo del índice del área frontal	89
Tabla 12: Materiales de cobertura de superficie	91
Tabla 13: Análisis de edificaciones	91
Tabla 14: Valoración de geometría urbana y cobertura de superficie	91
Tabla 15: <i>Canopy Vegetation</i>	92
Tabla 16: Temperatura de superficie	94
Tabla 17: Temperatura del aire, 2m.	95

Tabla 18: Áreas de entrenamiento elaboradas en Google earth	100	Tabla 46: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-7	187
Tabla 19: Tamaño de las manzanas de la Ciudad de Quito.....	102	Tabla 47: Materiales que identifican a LCZ 8	193
Tabla 20: Atributos de Imagen satelital seleccionada	104	Tabla 48: Análisis de edificaciones en LCZ-8.....	194
Tabla 21: Clasificación LCZ con radio 400 m.	107	Tabla 49: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-8	197
Tabla 22: Clasificación LCZ con radio 200m.	108	Tabla 50: Materiales que identifican a LCZ 9	203
Tabla 23: Matriz de confusión, clasificación LCZ (r=200 m.).....	111	Tabla 51: Análisis de edificaciones en LCZ-9.....	204
Tabla 24: Clasificación LCZ corregida.....	112	Tabla 52: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-9	207
Tabla 25: Comparación de las clasificaciones	114	Tabla 53: Materiales que identifican a LCZ 10	213
Tabla 26: Materiales de cobertura de superficie en LCZ 1	123	Tabla 54: Análisis de edificaciones en LCZ-10.....	214
Tabla 27: Análisis de edificaciones en LCZ-1	124	Tabla 55: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-10	217
Tabla 28: Valores de propiedades geométricas y cobertura de superficie LCZ – 1	127	Tabla 56: Materiales que identifican a LCZ A	223
Tabla 29: Materiales que identifican a LCZ 2.....	133	Tabla 57: Análisis de edificaciones en LCZ-A.....	224
Tabla 30: Análisis de edificaciones en LCZ-2	134	Tabla 58: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-A	226
Tabla 31: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ – 2.....	137	Tabla 59: Materiales que identifican a LCZ B.....	232
Tabla 32: Materiales que identifican a LCZ 3.....	143	Tabla 60: Análisis de edificaciones en LCZ-B	233
Tabla 33: Análisis de edificaciones en LCZ-3	144	Tabla 61: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-B	235
Tabla 34: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ 3.....	147	Tabla 62: Materiales que identifican a LCZ C.....	241
Tabla 35: Materiales que identifican a LCZ 4.....	153	Tabla 63: Análisis de edificaciones en LCZ-C	242
Tabla 36: Análisis de edificaciones en LCZ-4	154	Tabla 64: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-C	244
Tabla 37: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-4	157	Tabla 65: Materiales que identifican a LCZ D	250
Tabla 38: Materiales que identifican a LCZ 5.....	163	Tabla 66: Análisis de edificaciones en LCZ-D.....	251
Tabla 39: Análisis de edificaciones en LCZ-5	164	Tabla 67: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-D	253
Tabla 40: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-5	167	Tabla 68: Materiales que identifican a LCZ E.....	259
Tabla 41: Materiales que identifican a LCZ 6.....	173	Tabla 69: Análisis de edificaciones en LCZ-E	260
Tabla 42: Análisis de edificaciones en LCZ-6	174	Tabla 70: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-E.....	262
Tabla 43: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-6	177		
Tabla 44: Materiales que identifican a LCZ 7.....	183		
Tabla 45: Análisis de edificaciones en LCZ-7	184		

Tabla 71: Materiales que identifican a LCZ F	268
Tabla 72: Análisis de edificaciones en LCZ-F	269
Tabla 73: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-F	271
Tabla 74: Materiales que identifican a LCZ G	277
Tabla 75: Análisis de edificaciones en LCZ-G	278
Tabla 76: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-G	280
Tabla 77: Valoración de la geometría y cobertura de superficie de LCZ en la Ciudad de Quito	281
Tabla 78: Imágenes Landsat seleccionadas para la investigación..	282
Tabla 79: Resumen de resultados de LST	288
Tabla 80: Temperatura de Superficie (Ts) en Local Climate Zone de la Ciudad de Quito	290
Tabla 81: Temperatura de la superficie (Ts) en C° por intensidad en LCZ y mediana estadística	292
Tabla 82: Selección de LCZ para medición de Ta (temperatura del aire)	293
Tabla 83: Temperatura del aire (Ta) en Local Climate Zone de la Ciudad de Quito	296
Tabla 84: Temperatura del aire (Ta) en C° por intensidad en LCZ y mediana estadística.....	298
Tabla 85: Datos de humedad relativa, velocidad del viento y ángulo del viento en la Ciudad de Quito.....	299
Tabla 86: Valoración termal de LCZ en la Ciudad de Quito	308
Tabla 87: Correlación de las tres variables de la investigación.....	309
ANEXO 1 - Tabla 88: Imágenes satelitales Landsat 8 seleccionadas para la investigación.....	321

Lista de ecuaciones

Ecuación 1: Sky view factor.....	38
Ecuación 2: Balance de energía urbana.....	48

Ecuación 3: Intensidad de la isla de calor urbano.....	48
Ecuación 4: Ecuación de calor antropogénico	53
Ecuación 5: Ecuación de índice de área frontal	54
Ecuación 6: Algoritmo aplicado en la Clasificación Supervisada	70
Ecuación 7: Cálculo de TOA	71
Ecuación 8: Cálculo de Temperatura de brillo.....	72
Ecuación 9: Calculo de NDVI	72
Ecuación 10: Cálculo de proporción de vegetación.....	72
Ecuación 11: Cálculo de Emisividad	73
Ecuación 12: Cálculo de Temperatura de superficie de superficie...	73
Ecuación 13: Calculo de NDVI	73
Ecuación 14: Método de Kernel, estimación de densidad	75
Ecuación 15: DSM de superficie con edificaciones.....	77

Lista de abreviaturas

CC	Cambio Climático
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CO2	Dióxido de carbono
DEM	Modelo Digital de Elevación
DSM	Modelo Digital de Superficie
GEI	Gas Efecto Invernadero
ICU	Isla de Calor Urbano
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

LCZ	Local Climate Zone (Zonas Climáticas Locales)
NDVI	Índice de vegetación de diferencia normalizada
MDMQ	Municipio del Distrito Metropolitano de Quito
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
SFV	Sky View Factor (Factor de visión del cielo)
T_a	Temperatura del aire
T_s	Temperatura de superficie
UMEP	Predictor Ambiental a Múltiples Escalas Urbanas
WMO	Organización Meteorológica Mundial
WUDAPT	The World Urban Database and Access Portal Tools

Estructura de la tesis

Esta tesis está conformada por la introducción y seis capítulos, los cuales están estructurados en tres fases, cada fase está relacionada a los tres ejes de investigación.

Primera fase, está compuesta por la base teórica y se ha dividido en tres capítulos que corresponden a tres ejes de investigación; **capítulo I** es el eje 1 de investigación llamado *Ciudad de Quito*, en donde se revisa la evolución urbana, densidad poblacional e índice de vegetación de la ciudad; **capítulo II** es el eje 2 llamado *forma urbana*, aquí son indagados los conceptos de geometría urbana; **capítulo III** es el eje 3 llamado *clima urbano*, se realiza un acercamiento a los conceptos y teorías de climatología urbana; **capítulo IV** llamado SIG (sistemas de información geográfica) aquí se revisan los conceptos de teledetección, geoprocésamiento y geoestadística.

Segunda fase, está compuesta por el **capítulo V**, metodología de la investigación, cada eje de investigación tiene una metodología para alcanzar los objetivos propuestos, se proponen ecuaciones, métodos, uso de herramientas computacionales propias para climatología urbana y la aplicación de geoestadística en la investigación.

Tercera fase, compuesta por el **capítulo VI**, el cual es el más extenso en la investigación, está compuesto por la *aplicación de la metodología*, la cual es aplicada a 17 Zonas climáticas locales ubicadas en Ciudad de Quito, en este capítulo se desarrolla la geoestadística correlación de las variables Zonas Climáticas Locales (LCZ), Temperatura de superficie (Ts) y Temperatura del aire (Ta), consideraciones finales, dificultades encontradas, sugerencias para futuras investigaciones y bibliografía.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1	
I. Problemática	7	
II. Justificación del tema	8	
III. Objetivos.....	9	
i. Objetivo general.....	9	
a. Objetivos específicos.....	9	
IV. Procedimientos metodológicos.....	9	
F A S E I.....	13	
BASE TEÓRICA	13	
CAPITULO I.....	14	
1. Ciudad de Quito.....	14	
1.1. Delimitación del área de estudio.....	17	
1.2. Descripción del lugar.....	21	
1.3. Clima de la Ciudad de Quito	24	
1.4. Escenarios climáticos en la Ciudad de Quito.....	27	
1.5. Consideraciones finales del capítulo.....	28	
CAPITULO II	29	
2. Forma urbana.....	29	
2.1. Geometría urbana.....	37	
2.2. Consideraciones finales del capítulo.....	41	
3. Clima urbano – microclima urbano	43	
3.1. Escalas climáticas	46	
3.2. Isla de calor urbano – ICU	47	
3.3. Materiales de construcción.....	51	
3.4. Calor antropogénico de la ciudad.....	52	
3.5. <i>Local Climate Zone (LCZ)</i>	54	
3.6. Consideraciones finales del capítulo	66	
4. Sistema de información geográfica - QGIS.....	67	
4.1. Complemento UMEP	67	
4.2. Imagen satelital Landsat 8.....	68	
4.3. Teledetección aplicada para la clasificación de <i>Local Climate Zone</i>	69	
4.4. Clasificación supervisada	69	
4.5. Teledetección para temperatura de superficie	71	
4.6. Geoestadística - Densidad de Kernel.....	74	
4.7. UMEP (Urban Multi-scale Environmental Predictor)..	76	
4.8. Consideraciones finales del capítulo	78	
F A S E II.....	79	
METODOLOGÍA.....	79	
CAPITULO V.....	80	
5. Procedimientos metodológicos.....	80	
5.1. Procedimiento metodológico de eje 1, Ciudad de Quito	80	
5.2. Procedimiento metodológico de eje 2, forma urbana y	LCZ	80
5.2.1. Análisis cuantitativo por reconocimiento de patrones..	81	
5.2.2. Áreas de entrenamiento	81	
5.2.3. Definición del tamaño de los prototipos LCZ	82	

5.2.4. Selección de imagen satelital.....	82	6.1.5. Selección de imagen satelital	104
5.2.5. Clasificación supervisada - LCZ	83	6.1.6. Clasificación supervisada para la obtención del mapa LCZ de la Ciudad de Quito	104
5.2.6. Validación de la clasificación LCZ	85	6.1.7. Validación de la clasificación supervisada de <i>Local Climate Zone</i> en la Ciudad de Quito.....	110
5.2.7. LCZ representativos.....	86	6.1.8. Corrección de la clasificación LCZ	112
5.2.8. Volumetría LCZ	88	6.1.9. Aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.....	116
5.2.9. Factor de visión del cielo -SFV	89	6.1.10. Factor de visión del cielo (<i>Sky View Factor</i>)	116
5.2.10. Aspect ratio.....	90	6.1.11. Cálculo de <i>frontal area index building</i>	116
5.2.11. Recolección de datos geometría urbana.....	91	6.1.12. Cálculo de <i>frontal area index vegetation</i>	117
5.3. Procedimiento metodológico de eje 3, clima urbano - microclima	92	6.1.13. <i>Wall aspect</i>	117
5.3.1. Teledetección para temperatura de superficie	92	6.2. LCZ 1 – Compacto de gran altura (<i>Compact high rise</i>) en la Ciudad de Quito.....	118
5.3.2. Medición de la temperatura del aire	93	6.3. LCZ 2 – Compacto de media altura (<i>Compact mid – rise</i>) en la Ciudad de Quito.....	128
5.3.3. Recolección de datos de temperatura de la superficie .	94	6.4. LCZ 3 – Compacto de baja altura (<i>Compact low – rise</i>) en la Ciudad de Quito.....	138
5.3.4. Recolección de datos de temperatura del aire.....	95	6.5. LCZ 4 – Abierto de gran altura (<i>Open high – rise</i>) en la Ciudad de Quito.....	148
5.4. Correlación de datos y resultados	95	6.6. LCZ 5 – Abierto media altura (<i>Open mid - rise</i>) en la Ciudad de Quito.....	158
5.5. Consideraciones finales del capítulo.....	96	6.7. LCZ 6 – Abierto de baja altura (<i>Open low - rise</i>) en la Ciudad de Quito.....	168
F A S E III.....	97	6.8. LCZ 7 – Abierto de baja altura (<i>Lightweight low – rise</i>) en la Ciudad de Quito.....	178
CAPÍTULO VI.....	98		
6. Aplicación de la metodología en la investigación	98		
6.1. Análisis de morfología urbana.....	98		
6.1.1. NDVI aplicado a evolución urbana de la Ciudad de Quito	98		
6.1.2. Teledetección - Clasificación supervisada	99		
6.1.3. Diseño de áreas de entrenamiento	100		
6.1.4. Definición del tamaño de los prototipos LCZ	102		

6.9.	LCZ 8 – Alargado de baja altura (<i>Large low – rise</i>) en la Ciudad de Quito.....	188	6.24.	Síntesis de los resultados de valoración termal de LCZ en la Ciudad de Quito.....	308
6.10.	LCZ 9 – Construcciones dispersas (<i>sparsely built</i>) en la Ciudad de Quito.....	198	7.	Correlación de LCZ, Ts y Ta.....	308
6.11.	LCZ 10 – Industria pesada (<i>Heavy industry</i>) en la Ciudad de Quito.....	208	8.	Consideraciones finales.....	310
6.12.	LCZ A – arborización densa (<i>dense trees</i>) en la Ciudad de Quito.....	218	9.	Sugerencias.....	313
6.13.	LCZ B – árboles dispersos (<i>scattered trees</i>) en la Ciudad de Quito.....	227	10.	Referencias Bibliográficas.....	313
6.14.	LCZ C – Vegetación de media altura (<i>Bush, scrub</i>) en la Ciudad de Quito.....	236			
6.15.	LCZ D – Vegetación baja (<i>Low plants</i>) en la Ciudad de Quito.....	245			
6.16.	LCZ E – Suelo descubierto, rocas o pavimento (<i>Bare, rock or paved</i>) en la Ciudad de Quito.....	254			
6.17.	LCZ F – Suelo descubierto o arena (<i>Bare soil or sand</i>) en la Ciudad de Quito.....	263			
6.18.	LCZ G – Agua (<i>water</i>) en la Ciudad de Quito.....	272			
6.19.	Síntesis de los resultados de Geometría urbana de LCZ en la Ciudad de Quito.....	281			
6.20.	Análisis de temperatura de la superficie.....	282			
6.21.	Análisis de temperatura del aire.....	293			
6.22.	Análisis de albedo de superficie (albedo de onda corta) en la Ciudad de Quito.....	305			
6.23.	Análisis de calor antropogénico en la Ciudad de Quito	306			

INTRODUCCIÓN

El proceso de urbanización y crecimiento poblacional desde la época de la industria ha tenido un crecimiento acelerado, este hito importante trajo consigo la expansión urbana de muchas ciudades en el mundo y con ello la disminución del índice de vegetación en el paisaje natural y el incremento del índice de construcción que ha ido cubriendo la superficie de las ciudades con materiales impermeables (pavimento, concreto, asfalto etc.) convirtiendo grandes extensiones en áreas impermeables que impiden el drenaje natural de las aguas lluvias, la filtración de agua a los acuíferos, además, provocan la disminución del albedo, lo que ocasiona una gran absorción de la radiación solar y por consiguiente el calentamiento de las superficies en las ciudades.

Por otra parte, el proceso de urbanización a escala de ciudad requiere de servicios básicos como: agua potable, alcantarillado, drenaje pluvial, alumbrado público, internet, recolección de residuos, transporte, vivienda, etc., estos servicios demandan electricidad y combustibles para funcionar; siendo el uso del transporte en la ciudad el que emite

mayormente CO₂ (dióxido de carbono) por el uso de combustible derivado de recursos fósiles y la cantidad de viajes interurbanos.

Además, las edificaciones con uso destinado a vivienda, servicios, comercio, salud, educación, recreación, etc., para hacerlas habitables y confortables de acuerdo con el clima y entorno donde se encuentran, requiere de iluminación, aire acondicionado, calefactores, electrodomésticos, etc., los mismos que necesitan de energía eléctrica y/o gas para su funcionamiento.

En este contexto, el gran consumo de energía eléctrica y combustible, por parte de los vehículos y edificaciones genera calor y si, a esto se suma el calor generado por el metabolismo humano y animal obtenemos un gran flujo de calor que se concentra en las ciudades llamado calor antropogénico el cual aporta al cambio del microclima urbano.

El fenómeno de la urbanización acelerada y sus consecuencias en el medio ambiente se replica en varias partes del mundo, lo cual es actualmente una preocupación para la organización de Las Naciones Unidas quien, a través de ONU Hábitat, indica,

Los efectos de la urbanización y el cambio climático están convergiendo de modo peligroso. Las ciudades son las principales contribuyentes al cambio climático, aunque representan menos del 2% de la superficie de la tierra, las ciudades consumen el 78% de la energía mundial, y producen más del 60 % del total de dióxido de carbono, así como un monto significativo de las emisiones de los gases del efecto invernadero; principalmente a través de la generación de energía, vehículos, industria y uso de la biomasa. (ONU HABITAT 2011)

Las ciudades y el cambio climático están estrechamente relacionados debido al crecimiento acelerado de la población, la urbanización de las ciudades y la huella de contaminación que deja este fenómeno; sin embargo, este impacto ambiental puede ser decreciente, si la urbanización incluye a la naturaleza, es decir, si predomina más, el verde (arborización, vegetación) y el azul (lagos, canales naturales y fuentes) de manera que la naturaleza, sea parte de donde siempre fue.

El crecimiento urbano en cada ciudad crea una morfología singular con diversas formas urbanas influenciada por la topografía, relieve y clima, sin embargo, en el de la ciudad con morfología dispersa el número de viajes interurbanos se incrementa y por ende el consumo de combustible.

Entonces mientras más dispersa es una ciudad, se requiere de mayores recursos para su funcionamiento, lo que produce mayores emisiones de gases CO₂, entre otros, los mismos que conforman el Gas Efecto Invernadero (GEI) y si fuese a la inversa, si la ciudad fuese compacta con uso de suelo mixtos, disminuirían el número de viajes, se usaría menos recursos y si a esto le añadimos el uso de energías renovables y optimización de los recursos naturales (agua) su impacto en el medio ambiente sería menor.

En la actualidad las ciudades que han tenido un gran cambio en la inclusión de la naturaleza en la planificación urbana son llamadas ciudades sustentables o ciudades con urbanismo sustentable, según *ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT* (2009, p. 10) en su libro *The European Green City Index*¹ al realizar un estudio en el año 2009 sobre treinta ciudades europeas para conocer cuál es la Ciudad más sustentable, como resultado obtuvieron que la Ciudad de *Copenhagen* era la más sustentable, porque el transporte ocupa energía eléctrica, los edificios han implementado el sistema de eficiencia energética, tienen cinturones verdes, azules, el sistema de drenaje pluvial es

¹ Índice de Ciudad Verde Europea (Traducción nuestra)

reciclado, las personas a 350 metros, caminando encuentran servicios de comercio, educación y transporte; además, de la recuperación de ríos y canales naturales, lo que ha permitido la integración de la naturaleza a la ciudad; recordando que la vegetación en la ciudad es un regulador de la temperatura; es por ello, que *Copenhagen* se ha convertido en un ejemplo para el mundo.

Ahora bien, las ciudades que carecen de lo mencionado en el ejemplo anterior, son las que padecen con mayor intensidad los efectos de la isla de calor urbano (ICU), siendo este fenómeno un factor común en muchas ciudades del mundo.

La ICU evidencia el impacto del hábitat construido sobre el medio físico y su efecto produce el aumento de temperatura en el aire. La mayoría de las emisiones GEI (gas efecto invernadero) que contribuyen al cambio climático global, provienen de zonas urbanas. Desde este contexto varios estudios científicos relacionados con la climatología urbana han sido realizados por investigadores como Helmut E. Landsberg (1981), Timothy R. Oke (1982, 2012) y Sue Grimmond (2007)

quienes son parte de *International Association for Urban Climate*² y la base teórica de esta investigación.

Según LANDSBERG (1981, p. 9), el rápido aumento en el tamaño de las áreas metropolitanas después de la Segunda Guerra Mundial y la creciente industrialización, con cambios alarmantes en los aerosoles, el deterioro de la visibilidad y muchas otras alteraciones atmosféricas condujeron a una multiplicidad de estudios de clima urbano, además, indica que la distinción entre los entornos urbanos y rurales circundantes radica en su estructura superficial completamente diferente. En términos cualitativos, el paisaje natural o agrícola se caracteriza por la vegetación y un suelo productivo, generalmente permeable. El área urbana, en contraste, tiene una cobertura de superficie altamente compacta e impermeable. En estos dos escenarios el almacenamiento del calor es diferente.

Por otra parte, Stewart y Oke (2012, p.1881), indican cinco causas del efecto isla de calor urbano. Cada una representa una modificación del balance de energía en la superficie y la radiación; 1) Mayor absorción de la radiación solar debido a la

² Asociación internacional para el Clima Urbano, (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE, 2004)

reflexión múltiple y la captura de radiación mediante la construcción de paredes y superficies verticales en la ciudad, 2) Mayor retención de la radiación infrarroja en los cañones de la calle debido a la visión restringida del hemisferio del cielo, 3) Mayor captación y demora en la liberación de calor por parte de edificios y superficies pavimentadas en la ciudad, 4) La mayor parte de la radiación solar absorbida en la superficie se convierte en formas de calor sensibles en lugar de latentes y 5) Mayor liberación de calor sensible y latente de la quema de combustibles para el transporte urbano, la industrial y el uso de calefacción y aire acondicionado en edificaciones.

Stewart y Oke (2012), proponen un sistema de clasificación llamado “*Local Climate Zone*”³ (LCZ) para investigaciones de estudios de islas de calor urbano y estandariza el intercambio mundial de observaciones de temperatura urbana. Pretenden analizar la temperatura de la ciudad a través de diez tipos de formas de construcción y siete tipos de coberturas de suelos, estos prototipos son llamados *Local Climate Zone* (LCZ),

³ Local Climate Zone, Zonas climáticas locales. (Traducción nuestra)

⁴ Urbanización y cambio ambiental global: efectos locales del calentamiento urbano.

⁵ Surface and atmospheric changes associated with the construction and functioning of cities are profound. (Texto original)

los cuales son patrones de morfología urbana que tienen relación con el comportamiento climático urbano, la finalidad de LCZ es llegar a una comprensión profunda de la interacción entre la forma física y el contexto climático.

En el artículo “*Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming*”⁴ en donde indica “Los cambios superficiales y atmosféricos asociados con la construcción y el funcionamiento de las ciudades son profundos”⁵, además, dice “Para cualquier barrio en cualquier ciudad el balance relativo de control depende de la naturaleza del entorno urbano, la actividad humana y las condiciones meteorológicas”⁶. (GRIMMOND, 2007, p. 83).

Los tres autores mencionados son citados en WUDAPT (*The World Urban Database and Access Portal Tools*)⁷, “...esta iniciativa tiene como objetivo llenar los vacíos de datos los cuales son necesarios para resolver los desafíos globales de las ciudades y como guía para facilitar acciones basadas en el clima..”(REN et al., 2015, p.3), esta iniciativa sugiere el uso de

⁶ For any neighborhood in any city, the relative balance of controls depends on the nature of the urban environment, human activity, and meteorological conditions. (Texto original)

⁷ Base de datos mundiales urbanos y las herramientas de acceso al portal. (Traducción nuestra)

la teledetección, SIG y el manejo del *plugin* UMEP⁸, (*Urban Multi-scale Environmental Predictor*⁹) el cual “es una colaboración entre *University of Gothenburg*, *University of Reading* y la *University of Helsinki* el cual consiste en un preprocesador, procesador y postprocesador” (FREDRIK LINDBERG, TING SUN, SUE GRIMMOND, 2018), este *plugin* fue elaborado en el *URBAN MICROMETEOROLOGY AT UNIVERSITY OF READING*, quien dirige este laboratorio es la profesora Sue Grimmond, destacada investigadora de clima urbano. (READING, 2020)

El uso de nuevas técnicas y herramientas computacionales en la investigación del clima urbano es fundamental para el manejo de grandes bases de datos de elementos climatológicos y urbanísticos, es por ello que la implementación de la teledetección y los SIG son indispensables en esta investigación.

Con estos antecedentes esta investigación pretende conocer el comportamiento del clima urbano en la Ciudad de Quito – Ecuador a través de la clasificación *Local Climate Zone*

⁸ Es un complemento compatible con QGIS, diseñado para trabajar temas de clima urbano y geometría urbana. (UMEP, 2016, p. 1)

(LCZ) de Stewart y Oke (2012), la temperatura de la superficie a través de la teledetección y la temperatura del aire con la medición in situ, los resultados son correlacionados con la técnica de geoestadística para conocer si tienen relación alguna entre sí.

Para el análisis de cada una de las variables se usa la herramienta computacional QGIS (Quantum GIS), el cual es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre que permite manejar formatos ráster y vectoriales.

A través de QGIS se usa el *plugin* UMEP sugerido por la iniciativa WUDAPT, siendo una herramienta de servicio climático, diseñada para investigadores y proveedores de servicios (por ejemplo, arquitectos, climatólogos y planificadores urbanos). Esta herramienta se puede utilizar para una variedad de aplicaciones relacionadas con el confort térmico, el consumo de energía urbana, la mitigación del cambio climático entre otros análisis.

En cada eje de investigación propuestos se obtiene mapas de base ráster de factor de visión, cañón urbano, área de

⁹ UMEP, Predictor Ambiental a Múltiples Escalas Urbanas (Traducción nuestra).

construcción, área impermeable, área permeable, altura de los elementos (construcción y árboles), rugosidad del terreno de la Ciudad de Quito. Con la técnica de la teledetección se aplica ecuaciones sugeridas por USGS¹⁰(*U.S. Geological Survey*) para el cálculo de la temperatura de superficie (Ts), previo al resultado se debe realizar el cálculo de la radiancia espectral, temperatura de brillo, índice de vegetación, el índice de construcción, proporción de vegetación, emisividad. Los datos de la Temperatura del aire (Ta) son recolectados in situ con sensores de temperatura ubicados a 2 metros sobre la superficie, con la información obtenida de las tres variables LCZ, Ts y Ta se realiza la correlación de datos aplicando técnicas geoestadísticas.

¹⁰Servicio Geológico de los Estados Unidos² o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey), es una agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos. Los científicos de la USGS estudian el terreno,

los recursos naturales, y los peligros naturales que los amenazan. La agencia se divide en 4 disciplinas científicas mayores: biología, geografía, geología e hidrología.

I. Problemática

El cambio del microclima en las ciudades, se presenta por causa del crecimiento acelerado de la urbanización; este fenómeno tiene como consecuencia la presencia de la ICU (Isla de Calor urbano) y como efecto el incremento de la temperatura del aire, temperatura de superficie, disminución del albedo, absorción del calor.

La medición de ICU, a través de las diferentes investigaciones realizadas, plantea varias metodologías; 1) la intensidad de la Isla de Calor Urbano, “...que se presenta como una diferencia de temperatura entre el aire dentro del UCL y el medido en un área rural fuera del asentamiento (ΔT_{u-r}).” (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE, 2004, p.15, traducción nuestra)¹¹; 2) Transectos espaciales en donde a través de secciones o mapa se isoterma, “Esto maximiza el potencial para la diferenciación del micro clima y clima local ” (OKE, 1987, p.12, traducción nuestra)¹²; 3) Balance de energía urbana, “La formación del UHI ahora puede entenderse desde el punto de vista del equilibrio

energético de un área urbana.” (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE, 2004, p.16, traducción nuestra)¹³. Las técnicas aplicadas en diferentes investigaciones para medir ICU han entregado resultados diversos dependiendo de la técnica usada.

Stewart y Oke (2012, 1885), proponen medir las islas de calor urbano a través de *Local Climate Zone* (LCZ) con la finalidad de estandarizar indicadores y parámetros a nivel mundial, hasta la actualidad con esta técnica han medido y clasificado 18 ciudades en todo el mundo a través de la iniciativa WUDAPT, más sin embargo los parámetros propuestos serán los mismos para todas las ciudades del mundo?, esta es una interrogante en la aplicación de la técnica *Local Climate Zone* (LCZ) o cada ciudad requiere de una metodología específica de acuerdo a su contexto, esta es una de las disputas en la aplicación de metodologías para medir las islas de calor urbano.

Con todos los antecedentes expuestos, según, el Municipio de Quito (2018) indica que existe un crecimiento urbano rápido desde 1971 a 1983, en este periodo creció 60,88

¹¹ “... presented as a temperature difference between the air within the UCL and that measured in a rural area outside the settlement (ΔT_{u-r}).”

¹² “This maximises the potential for the differentiation of micro- and local climate...”

¹³ “The formation of the UHI can now be understood from the viewpoint of the energy balance of an urban area.”

km², el crecimiento va en aumento. La urbanización en la ciudad, ha traído consigo el incremento de suelo impermeable, construcciones y la disminución de la vegetación, por lo tanto la ciudad de Quito, presenta un cambio en el microclima y por ende está presente ICU (Isla de Calor Urbano).

II. Justificación del tema

El informe mundial sobre asentamientos humanos (2011, p. IX) señala que “con el aumento de la urbanización, entender los impactos del cambio climático sobre el medio urbano será un aspecto cada vez más importante. Las pruebas están dando a conocer que el cambio climático presenta desafíos únicos para las áreas urbanas y su creciente población.”

La necesidad de los estudios del clima urbano en las ciudades está adquiriendo cada vez más importancia para producir una planificación urbana eficiente en el uso del suelo, transporte y construcción con la finalidad de brindar calidad de vida a los habitantes y ser amigable con la naturaleza.

En la actualidad las ciudades que han logrado en su planificación urbana integrar a la naturaleza hoy en día brindan a sus habitantes calidad de vida, recordemos que la mayor contaminación que produce una ciudad es a través del transporte, es por ello que las ciudades que han adoptado servicios con bajas emisiones CO₂, vegetación en la ciudad, incremento de áreas permeables como césped, arborización, recuperación de canales naturales de agua, captación de agua lluvia son las que están preparándose para hacer frente al CC (Cambio Climático), debido a que la integración de la naturaleza en la ciudad disminuye la intensificación del clima urbano y brinda confort térmico.

La Ciudad de Quito es escogida como lugar de estudio debido a su ubicación geográfica, Latitud: 0°13'47''S, Longitud: 78°31'29''O y tiene una altitud comprendida entre 2.480 a 3.375 m.s.n.m.,

Los niveles de radiación UV están muy influenciados por la altura sobre el nivel del mar debido a la disminución de la capa de aire que queda por encima. Así, La radiación ultravioleta aumenta con la altitud del lugar aproximadamente un 10% por kilómetro de elevación. A igualdad de condiciones meteorológicas, los lugares elevados

reciben mucha más radiación que a nivel del mar. (ANDALUCÍA, 2014).

Por lo tanto la Ciudad de Quito recibe 30% más de radiación solar, es por ello el interés de realizar esta investigación en este lugar.

III. Objetivos

i. Objetivo general

Conocer la relación entre la morfología urbana (LCZ), la temperatura de superficie (Ts) y la temperatura del aire (Ta) de la Ciudad de Quito – Ecuador, con el propósito de ser un aporte en el estudio de clima urbano de la ciudad y para ser una guía en la planificación urbana y elaboración de políticas públicas urbanas de la Ciudad de Quito.

a. Objetivos específicos

- Conocer el crecimiento urbano desde el año 1977 al 2019, la disminución del índice de vegetación urbana.

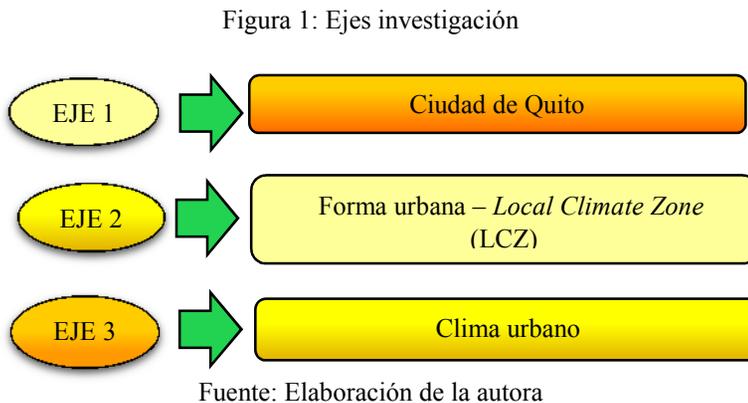
- Clasificar en *Local Climate Zone (LCZ)* la Ciudad de Quito utilizando la herramienta computacional SAGA GIS¹⁴ y la técnica Teledetección.
- Calcular en cada una de las LCZ de la Ciudad de Quito a través de Qgis con su complemento UMEP, Factor de visión al cielo, cañón urbano, porcentaje de área de construcción, porcentaje de superficie impermeable, porcentaje de superficie permeable, altura de la rugosidad de elementos, clasificación de la rugosidad del suelo, temperatura superficial, radiancia espectral, temperatura de brillo, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Proporción de vegetación (Pv), emisividad, admitancia de la superficie y calor antropogénico con la técnica de la teledetección.
- Medir la temperatura del aire en las muestras seleccionadas de cada LCZ de la Ciudad de Quito.

IV. Procedimientos metodológicos

Esta investigación abarca varios subtemas relacionados con Ciudad y microclima urbano, siendo divididos en tres ejes

¹⁴ SAGA GIS, es la abreviación de System for Automated Geoscientific Analyses and Geographic Information System.

temáticos de investigación (Ver figura 1) y en cada uno de ellos se desarrolla un análisis con la herramienta SIG y la técnica de teledetección.



El eje 1 – Ciudad de Quito, se analiza el crecimiento urbano de la Ciudad de Quito en los últimos 33 años, crecimiento poblacional, morfología urbana, NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) con la herramienta SAGA GIS y la técnica de la teledetección.

En el eje 2 - Forma urbana y Local Climate Zone, La Ciudad de Quito se clasifica en *Local Climate Zone* (LCZ) y a cada prototipo se realiza una valoración geométrica y de cobertura de superficie, para ello se obtiene porcentaje de área de construcción, porcentaje de superficie impermeable, porcentaje de superficie permeable, altura de la rugosidad de elementos, clasificación de la rugosidad del suelo, estos parámetros son geoprocesados con la herramienta computacional QGIS a través del complemento UMEP (*Urban Multi-scale Environmental Predictor*) con el *plugin* UMEP, para ello se utiliza un DEM (Modelo Digital de Elevación) y DSM (Modelo Digital de Superficie) del área de estudio y como resultado se obtiene un mapa basa ráster.

Un ejemplo (Ver figura 2) de lo que se pretende alcanzar es el mapa LCZ de la Ciudad de Viena, Austria, aquí predomina la tipología LCZ 2 (*Compact mid-rise*)¹⁵ y LCZ 6 (*Open low-rise*)¹⁶ y en las afueras de la ciudad la presencia de LCZ B (*Scattered trees*)¹⁷ y LCZ D (*Low plants and crops*)¹⁸. El mapa

¹⁵ Compacto de media altura.

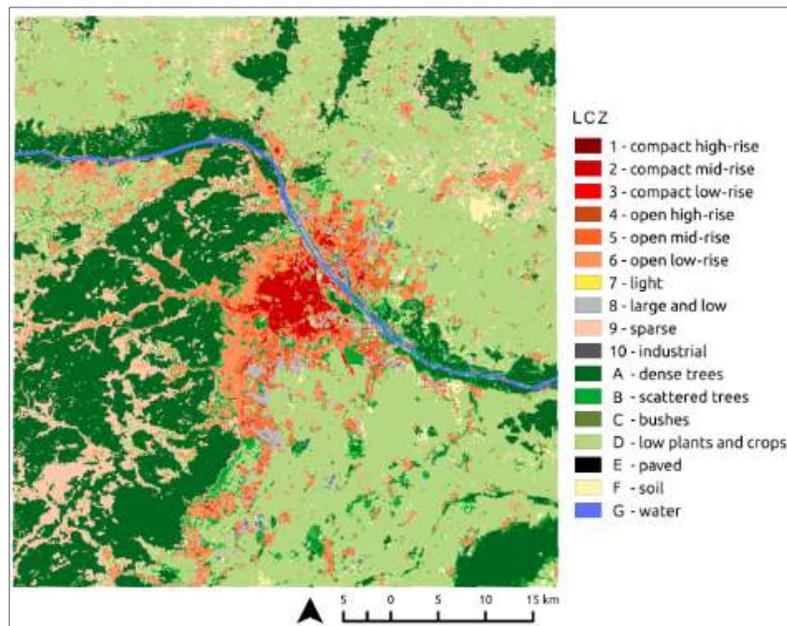
¹⁶ Compacto de baja altura.

¹⁷ Árboles dispersos.

¹⁸ Plantas bajas y cultivos.

LCZ es de fácil comprensión para conocer el microclima de la ciudad.

Figura 2: Mapa de LCZ de la Ciudad de Viena, Austria



Fuente: (HAMMERBERG, BROUSSE, MARTILLI, MAHDAVI, 2018, p.3)

La clasificación *Local Climate Zone* (LCZ) tiene 10 prototipos de morfología urbana y 7 de cobertura de cobertura de superficie, para la clasificación LCZ de la Ciudad de Quito, se utiliza la herramienta computacional SAGA GIS, con el método de la

teledetección a través de la clasificación supervisada; se obtendrá un mapa colorido de 17 tipologías.

Eje 3 - Clima urbano, se revisa conceptos de tiempo, clima, clima urbano, microclima, escalas atmosféricas de Oke,

Para la obtención de la temperatura de la superficie se requiere de imágenes satelitales Landsat 8, las mismas que serán descargadas a través del portal USGS (*U.S. Geological Survey*), <https://earthexplorer.usgs.gov/>, las imágenes Landsat 8 deberán tener nubosidad menos al 10%, las imágenes satelitales escogidas serán geoprocesadas con teledetección, para obtener la temperatura de la superficie se aplica 6 formulas, temperatura superficial, radiancia espectral, temperatura de brillo, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Proporción de vegetación (Pv), emisividad y Ts; además se realiza el cálculo de albedo de superficie, calor antropogénico y rugosidad del suelo; esta información es identificada en los prototipos más representativos de la clasificación LCZ y son geoprocesados a través del método de teledetección y geoestadística.

Con una estación meteorológica se mide la temperatura del aire en los prototipos LCZ más representativos, los días en

que pasa el satélite de Landsat 8 por la Ciudad de Quito, según el Instituto Espacial del Ecuador el satélite pasa cada 15 días, en el horario de 10h00 a 11h00, siendo esta información aplicada en la recolecta de datos.

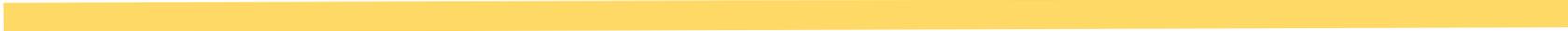
En las 17 *Local Climate Zone* (LCZ) más representativas se realiza las mediciones simultaneas de temperatura del aire. Con el software QGIS a través del *plugin thrjees*¹⁹ se realiza la volumetría de las edificaciones existentes de esta manera se conseguirá identificar los elementos del cañón urbano, W/H/L en donde W se refiere a la dimensión entre edificios, H es la altura de los edificios y L es la profundidad. El mapa en 3D permite una mejor visualización de los elementos físicos que influyen en el clima urbano.

¹⁹ Crea visualizaciones en 3D con geodatos. (ANITA GRASER AKA UNDERDARK, 2014)

FASE I



BASE TEÓRICA



CAPITULO I

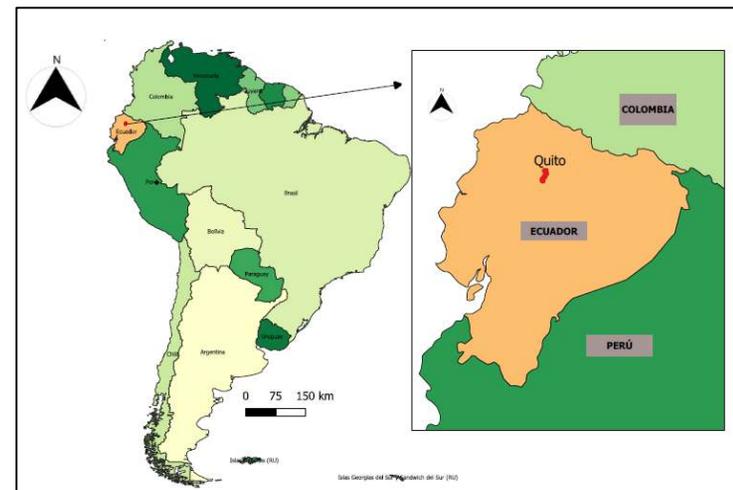
El concepto de clima urbano fue trascendental para comprender la armonía entre el espacio y la naturaleza, es desde ese aprendizaje que se aborda el tema Ciudad y Microclima, con la finalidad de conocer la relación de la forma urbana y el microclima de la Ciudad de Quito - Ecuador, para ello se indaga en la base teórica de urbanistas, sociólogos, geógrafos, etc., congresos de urbanismo, seminarios, eventos académicos, libros, revistas, artículos, páginas web de temas relacionados, periódicos, videos, conferencias, planes de acción climática, mapas de clima urbano, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales como ONU (Organización de Naciones Unidas), WMO (*World Meteorological Organization*²⁰) y los Planes de desarrollo territorial de la Ciudad de Quito. Después de ello se define tres ejes de investigación:

- 1) Ciudad de Quito-Ecuador
- 2) Forma urbana – *Local Climate Zone (LCZ)*
- 3) Clima urbano

1. Ciudad de Quito

La Ciudad de Quito es la capital de la República del Ecuador, está ubicada en la región de los Andes, Sudamérica (Ver figura 3), sus coordenadas son: 0°13'07"S 78°30'35"O, se encuentra a 2.850 m.s.n.m., es parte del Distrito Metropolitano de Quito el cual tiene 4.183 Km² de superficie y está conformado por 32 parroquias urbanas y 33 parroquias rurales.

Figura 3: Ubicación de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora en base a (TAPIQUÉN, [s.d.])

²⁰ Organización Meteorológica Mundial.

Esta investigación abarca las parroquias urbanas de la Ciudad de Quito; según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) en el último censo realizado en el año 2010, la población total del Cantón Quito es de 2'239.191 habitantes, el área urbana tiene 1'619.146 habitantes; en los Censos realizados por el INEC (Ver tabla 1), la Ciudad de Quito en el periodo de 1950 a 1962 (12 años) y el periodo 1962 a 1974 (12 años) el porcentaje de crecimiento poblacional es de 69% después de estos años la tasa de crecimiento ha tenido tendencia decreciente (Ver figura 4), siendo la más baja en el periodo 2001 a 2010 (9 años) con el 16%

Figura 4: Comparación de crecimiento poblacional por años



Fuente: Elaborado por la autora en base a (INEC, 1962)(INEC, 1974)(INEC, 1982)(INEC, 1990)(INEC, 2001)(INEC, 2010)

Tabla 1: Crecimiento poblacional de la Ciudad de Quito

Año	Habitantes	%
1950	209.932	
1962	354.746	69
1974	599.828	69
1982	866.472	44
1990	1.100.847	27
2001	1.399.378	27
2010	1.619.146	16
2019 (Proyección)	1.852.957	14

Fuente: Elaborado por la autora en base a (INEC, 1962)(INEC, 1974)(INEC, 1982)(INEC, 1990)(INEC, 2001)(INEC, 2010)

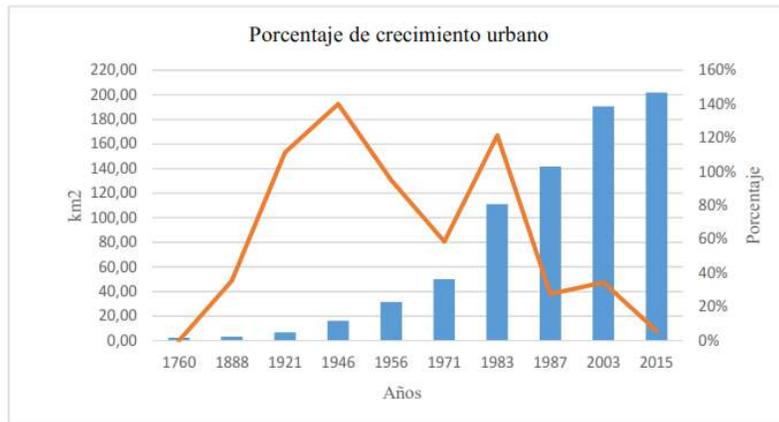
El crecimiento urbano, según el Municipio de Quito (Ver tabla 2) presentó un gran crecimiento en el periodo de 1971 a 1983 (12 años), ya que se incrementa 60,88 km² y el porcentaje de crecimiento es de 122%, a partir de ese periodo la tendencia es decreciente (Ver figura 5); además, el crecimiento urbano desde el año 1760 hasta el año 1983 (Ver figura 6 y 7) tiene tendencia hacia el norte de la Ciudad de Quito, a partir de 1983 hasta el año 2015, la tendencia de crecimiento es hacia el sur de la ciudad, este fenómeno está relacionado con la explotación del petróleo en el país y la migración campo a la ciudad.

Tabla 2: Crecimiento urbano de la Ciudad de Quito

Año	Área (km ²)	Acumulativo (km ²)	% Crecimiento
1760	2,34	2,34	0%
1888	0,83	3,17	36%
1921	3,53	6,71	111%
1946	9,39	16,10	140%
1956	15,29	31,39	95%
1971	18,70	50,09	59%
1983	60,88	110,97	122%
1987	30,70	141,67	28%
2003	48,84	190,51	34%
2015	11,14	201,65	6%

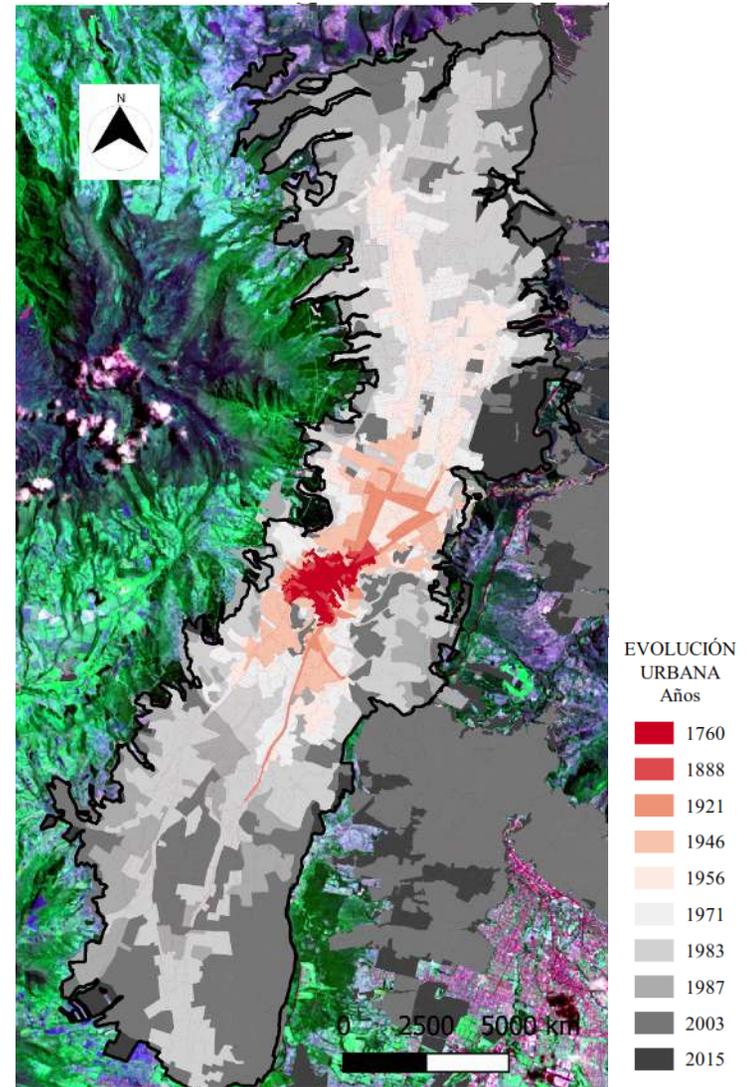
Fuente: Elaborado por la autora en base a (MUNICIPIO DE QUITO, 2018)

Figura 5: Comparación de crecimiento urbano por años



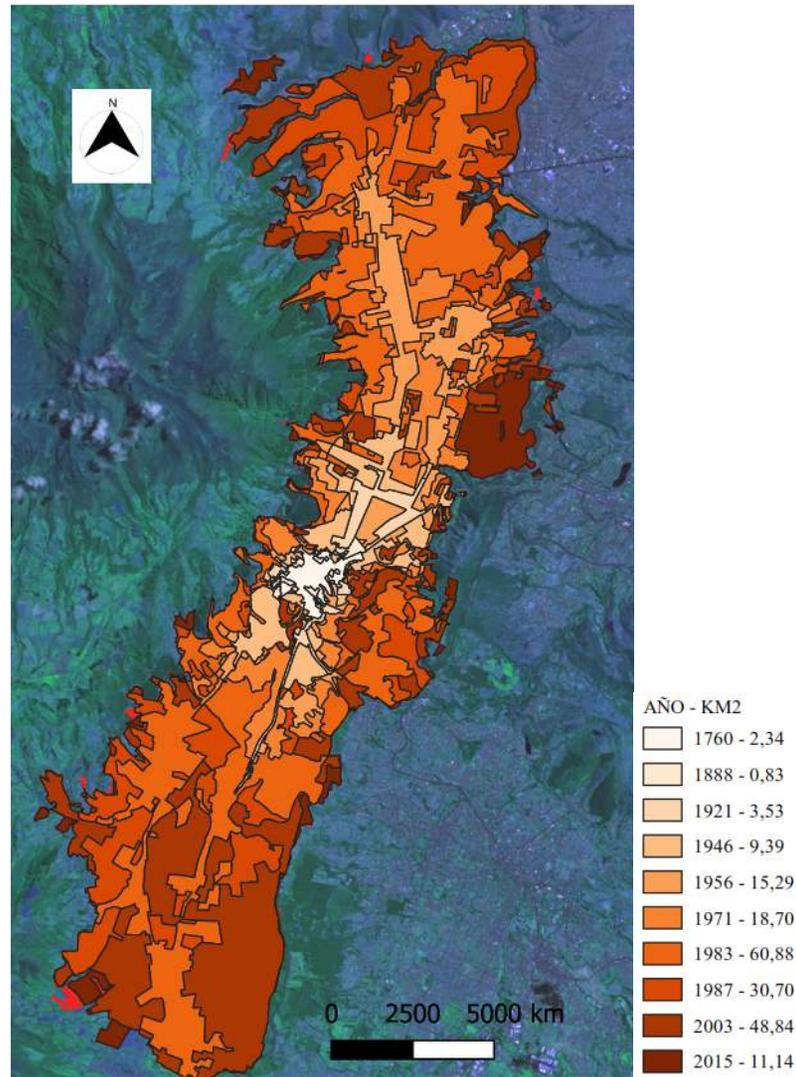
Fuente: Elaborado por la autora en base a (MUNICIPIO DE QUITO, 2018)

Figura 6: Evolución urbana de la Ciudad de Quito por años



Fuente: Elaborado por la autora en base a (MUNICIPIO DE QUITO, 2018)

Figura 7: Evolución urbana de la Ciudad de Quito por km²



Fuente: Elaborado por la autora en base a (MUNICIPIO DE QUITO, 2018)

1.1. Delimitación del área de estudio

Para esta investigación se escoge el área urbana de la Ciudad de Quito porque allí se encuentra la mayor concentración de bienes y servicios de la ciudad, además, son quienes emiten mayores concentraciones de CO₂ entre otros y generan calor antropogénico.

Según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) indica que para la Ciudad de Quito en el año 2019 (Ver tabla 3) serán aproximadamente 1'852.957,51 habitantes con una tasa de crecimiento anual de 1,51%.

El área de estudio tiene una forma alargada de 33,78 km de extensión de norte a sur y de este a oeste la dimensión menor es de 3,30 km. (Ver figura 8), es una área urbana, está conformada por 32 parroquias urbanas y tiene una extensión de 202,24 km. (Ver figura 9) las cuales son el objeto de estudio de esta investigación.

En el área de estudio las parroquias con mayor superficie (km²) son Turubamba, Iñaquito y El Condado, las parroquias con menor área son las parroquias La Libertad, Chimbacalle y Cotocollao (Ver tabla 4).

Las parroquias más densamente pobladas son: Solanda, Chimbacalle y San Bartolo y las parroquias con menor densidad poblacional son Ñaquito, Turubamba y Mariscal Sucre (Ver figura 10). En el área de estudio las áreas verdes tienen 19,60 km², siendo el 9,69% (Ver figura 11).

Tabla 3: Número de habitantes por parroquias urbanas

No.	PARROQUIA	HABITANTES	PROYECCIÓN
1	El Condado	85.845,00	98.241,38
2	Carcelén	54.938,00	62.871,28
3	Comité del Pueblo	46.646,00	53.381,88
4	Ponciano	53.892,00	61.674,23
5	Cotocollao	31.263,00	35.777,51
6	Cochapamba	57.679,00	66.008,09
7	Concepción	31.892,00	36.497,34
8	Kennedy	70.041,00	80.155,22
9	San Isidro del Inca	42.071,00	48.146,23
10	Jipijapa	34.677,00	39.684,51
11	Ñaquito	44.149,00	50.524,30
12	Rumipamba	31.300,00	35.819,85
13	Belisario Quevedo	45.370,00	51.921,62
14	Mariscal Sucre	12.976,00	14.849,79
15	San Juan	54.027,00	61.828,73
16	Itchimbia	31.616,00	36.181,48
17	Puengasí	62.628,00	71.671,75
18	Centro Histórico	40.870,00	46.771,80
19	La Libertad	28.376,00	32.473,61
20	Chilibulo	48.729,00	55.765,67

21	San Bartolo	63.771,00	72.979,80
22	La Magdalena	30.288,00	34.661,71
23	Chimbacalle	40.557,00	46.413,60
24	La Ferroviaria	64.480,00	73.791,18
25	La Argelia	57.657,00	65.982,91
26	Solanda	78.279,00	89.582,82
27	La Mena	43.860,00	50.193,57
28	Chillogallo	57.253,00	65.520,57
29	La Ecuatoriana	62.313,00	71.311,26
30	Quitumbe	79.057,00	90.473,16
31	Turubamba	56.169,00	64.280,04
32	Guamaní	76.477,00	87.520,60
Total		1.619.146,00	1.852.957,51

Fuente: (MUNICIPIO DE QUITO, 2018)

Tabla 4: Área en km² de las parroquias urbanas

PARROQUIA	km ²
Guamaní	11,54
Turubamba	14,24
La Ecuatoriana	6,41
Quitumbe	11,75
Chillogallo	5,61
La Mena	3,95
San Bartolo	3,89
Solanda	4,45
La Argelia	7,03
La Ferroviaria	5,94
Chilibulo	4,35
La Magdalena	2,91
Chimbacalle	2,41

Puengasí	8,88
La Libertad	1,88
Centro Histórico	3,73
San Juan	3,87
Belisario Quevedo	5,71
Mariscal Sucre	2,78
Iñaquito	13,57
Rumipamba	5,30
Kennedy	6,67
Concepción	5,20
Cochapamba	5,56
Cotocollao	2,76
Ponceano	6,64
Comité del Pueblo	4,84
San Isidro del Inca	5,24
Carcelén	9,24
El Condado	15,68
Jipijapa	4,96
Itchimbia	5,21
Total	202,24

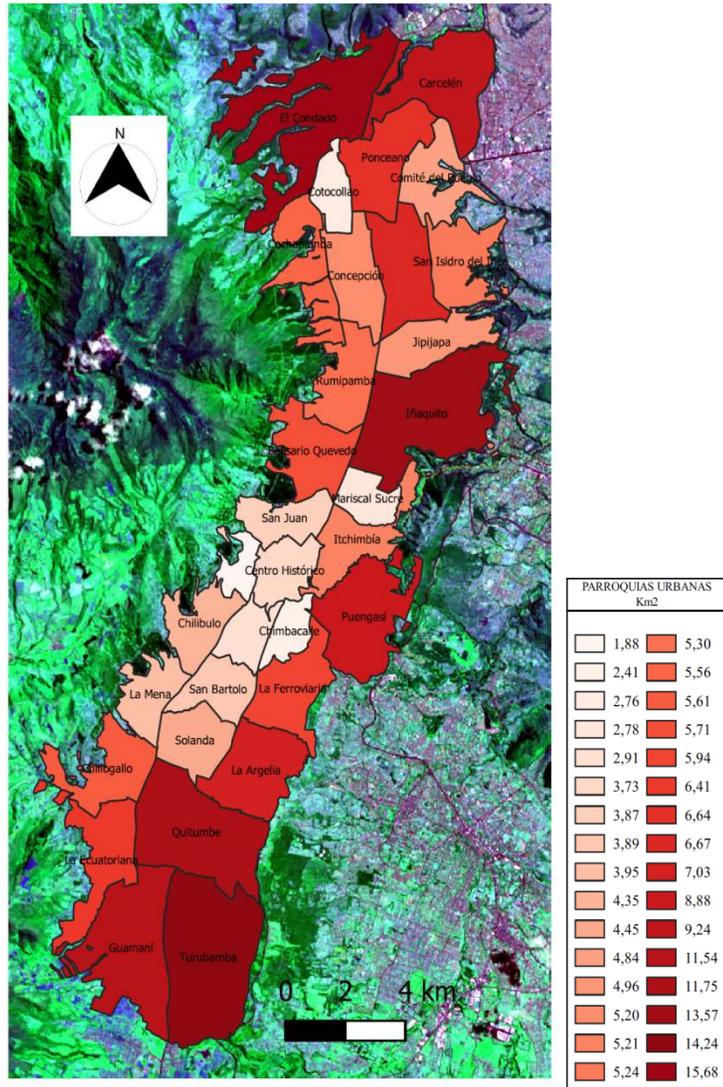
Fuente: (MUNICIPIO DE QUITO, 2018)

Figura 8: Área de estudio en la Ciudad de Quito



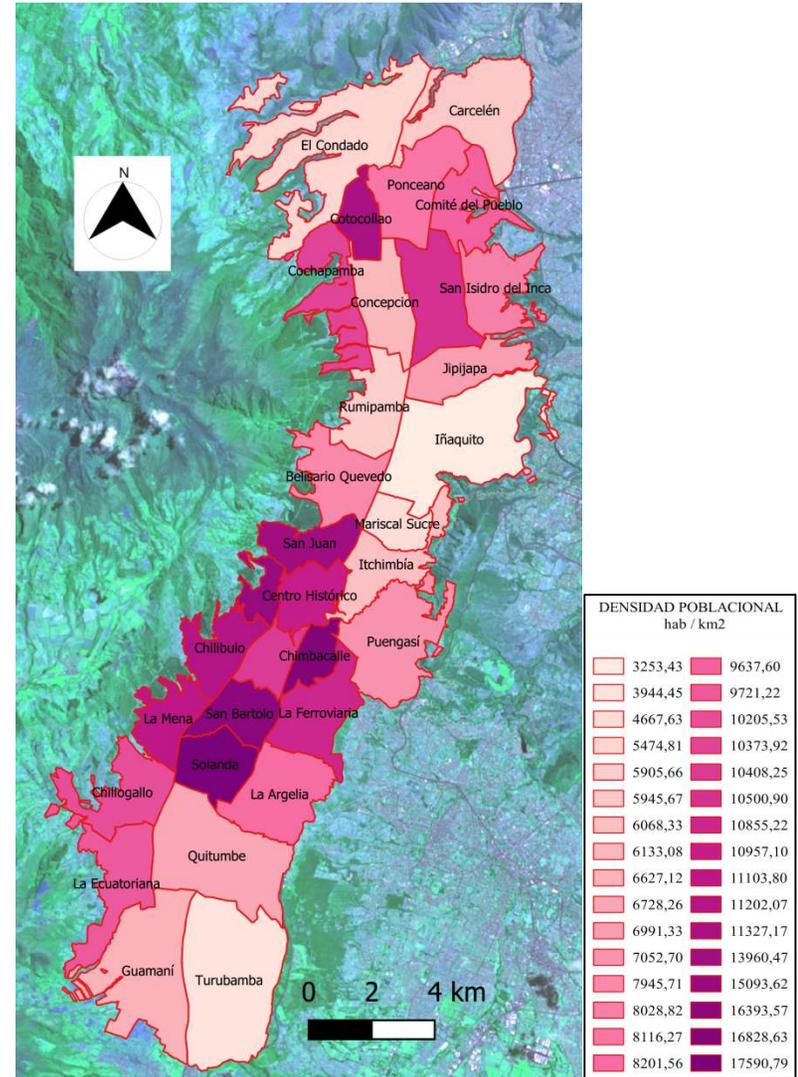
Fuente: Elaborado por la autora en base a información del Municipio de Quito y USGS

Figura 9: Parroquias urbanas de la Ciudad de Quito



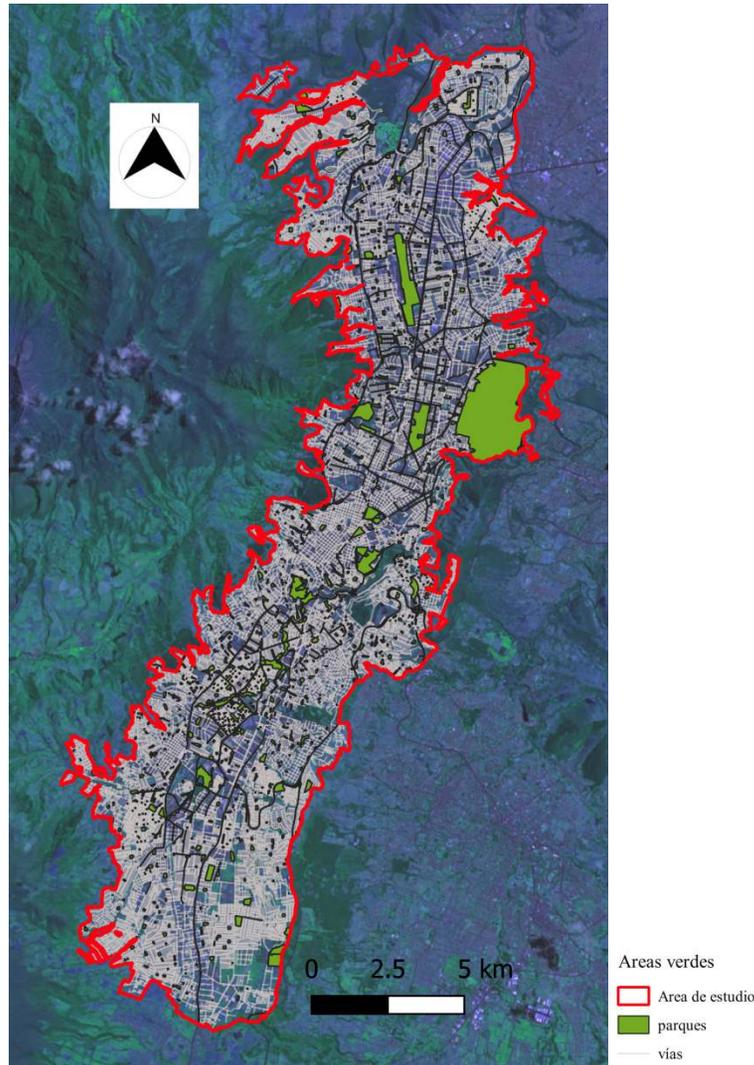
Fuente: Elaborado por la autora en base a información del Municipio de Quito y USGS

Figura 10: Densidad poblacional de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora en base a información del Municipio de Quito y USGS

Figura 11: Áreas verdes de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora en base a información del Municipio de Quito y USGS

1.2. Descripción del lugar

La Ciudad de Quito, está ubicada sobre la hoya de Guayllabamba, en las laderas occidentales del volcán Pichincha, en la parte oriental de los Andes.

Quito es el centro político de la República del Ecuador, alberga los principales organismos gubernamentales, culturales, financieros, administrativos y comerciales del país, la mayoría de las empresas transnacionales que trabajan en Ecuador tienen su matriz en la urbe.

Fue fundada por el español Sebastián de Benalcázar el 6 de diciembre de 1534, su trazado urbano fue en forma de damero, prototipo típico español, en donde se concentran los tres poderes, estado, iglesia y cabildo, en el centro se encuentran la plaza mayor, llamada en la ciudad como Plaza Grande. El trazo urbano del Centro Histórico de Quito se integró a la topografía del lugar, hasta la actualidad se conservan los diseños de arquitectura colonial en las edificaciones, el uso de materiales como el adobe, tapial y teja de barro, las calles angostas y de piedra.

La Ciudad de Quito, tiene tres zonas marcadas simbólicamente, zona centro, norte y sur de Quito.

La zona centro (Ver figura 12) constituye el primer trazado urbano el cual está conformado por el Centro Histórico de la Ciudad de Quito y su entorno inmediato, sus características arquitectónicas son conservadas en su gran mayoría.

El Centro Histórico es de gran importancia en la ciudad, es la sede administrativa del país y de la ciudad. Es la zona de la ciudad que cuenta con la mayor cantidad de espacios culturales y es el atractivo turístico más importante de Quito; tiene 3,75km² y cuenta con 4.286 inmuebles inventariados como patrimoniales, de los cuales sesenta y cuatro están catalogadas como monumentales, equivalentes al 42% de la arquitectura religiosa y 58% de la arquitectura civil.

Aquí se encuentra la sede de la Presidencia de la República, edificios gubernamentales, museos, templos, conventos, casas que datan desde el siglo XVI (Ver figura 12).

La religiosidad popular es una de las manifestaciones culturales que se mantienen más fuertemente vivas en el entorno del Centro Histórico de Quito; este fenómeno se refuerza por la presencia de su conjunto de templos y conventos monumentales, así como la del Palacio Arzobispal de la iglesia católica. Estas

edificaciones religiosas y sus actividades generan a lo largo de todo el año la afluencia de visitantes.

Figura 12: Centro Histórico de la Ciudad de Quito – Plaza Grande



Fuente: Elaboración de la autora

La Ciudad de Quito conserva arquitectura desde el siglo XVI y en ella se encuentran algunos de los ejemplos más notables de las edificaciones del periodo colonial de América y porque se han conservado ejemplos de edificaciones (Ver figura 13).

Según INNOVAR (2009, p. 49), en la zona centro se encuentran las centralidades urbanas, Centro Histórico, La Mariscal y La Carolina, hasta el Aeropuerto, este sector se traslapa con centralidades de jerarquía inferior.

Figura 13: Centro Histórico de Quito- Vista general



Fuente: (CONSTRUCTOR, 2018)

La zona norte (Ver figura 15), se caracteriza por la arquitectura moderna y contemporánea con las que fueron construidas sus edificaciones, en este sector se encuentran la

mayoría de los centros comerciales, oficinas, hoteles, universidades; las edificaciones en altura es otra de las características predominantes.

Según INNOVAR (2009, p. 49) se encuentra la centralidades urbanas, Kennedy Concepción, San Carlos, Cotocollao, Pisulí - Roldós, Atucucho, Carapungo, Calderón, Carcelén Alto, Comité del Pueblo y Carcelén Bajo.

Figura 14: Zona norte de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaboración de la autora

El barrio La Carolina, tiene como núcleo el parque La Carolina, inicialmente constituido como un territorio predominantemente residencial, en los últimos años se ha convertido en el núcleo empresarial de la ciudad a lo largo de la Av. República del Salvador. Este territorio cuenta con importantes íconos de la ciudad, como el Estadio Olímpico Atahualpa y el Parque Metropolitano Guanguiltagua.

La zona sur (Ver figura 16) se caracteriza por la diversidad de elementos de geometría urbana existentes, predomina la altura de 3 a 6 pisos y el uso predominante es residencial.

Figura 15: Zona sur de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaboración de la autora

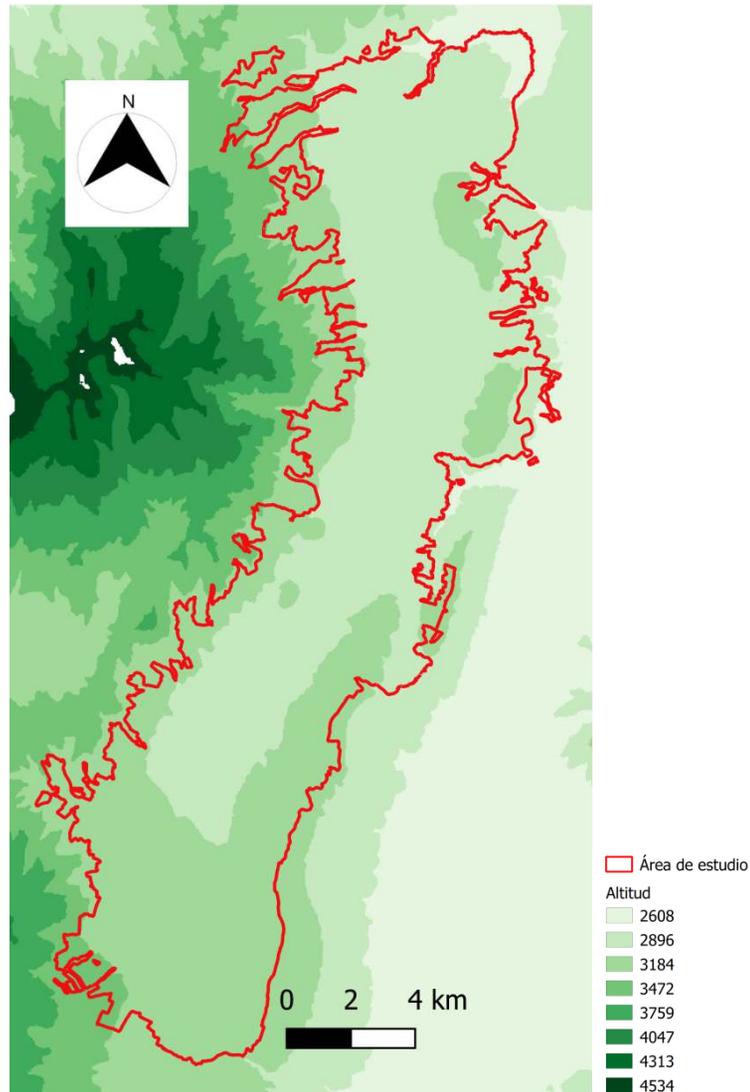
En la zona sur de la ciudad se encuentran las centralidades urbanas, Solanda, Argelia Norte, Argelia Sur, Quitumbe, La Ecuatoriana, Chillogallo, La Mena, Guamaní y Turubamba.

1.3. Clima de la Ciudad de Quito

La Ciudad de Quito según el INAMHI desde el año 2006 al 2016 ha incrementado 0,1 grado más, los patrones climáticos que experimenta la ciudad han transformado tanto la presencia de las lluvias a lo largo del año como su intensidad, según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), en la Ciudad de Quito actualmente existe presencia de largos períodos secos, seguidos de otros con precipitaciones intensas, siendo un comportamiento climático diferente al que estaban acostumbrados los habitantes de la Ciudad de Quito.

La Ciudad de Quito (área de estudio), tiene una altitud de 2.480 a 3.375 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), su latitud es de 0°13'47''S; longitud 78°31'29''O (Ver figura 17); se encuentra situada en la parte baja del volcán Pichincha, en la cordillera occidental de los Andes meridionales del Ecuador.

Figura 16: Altitud del área de estudio



Fuente: Elaborado por la autora en base a USGS

Según (IMP, 2007b, p.40), la temperatura media es de 14,8 °C, desde este concepto se describe el clima; la humedad relativa media es del 75% y las precipitaciones medias anuales varían entre 1000 mm y 2000 mm, siendo los meses más lluviosos de octubre a mayo y un clima más seco de junio a septiembre. La dirección del viento predominante es desde el norte, entre los meses de abril a septiembre la dirección del viento es desde el sudoeste (Ver tabla 5).

El clima de la Ciudad de Quito se clasifica en función a la temperatura en clima templado, sin embargo, al tener un relieve irregular en el área de estudio que va desde 2.480 a 3.375 m.s.n.m. encontramos clima frío de montaña alta; en función a las precipitaciones como clima húmedo y en función a la altitud se clasifica en clima mesotérmico.

Según la clasificación Köppen (2019), la Ciudad de Quito es Cfb, en donde “C corresponde a Climas templados, temperaturas medias entre 18 y -3 grados en el mes más frío, f corresponde a precipitación regular todos los meses, sin estación seca y b corresponde a verano cálido, temperatura media del mes más cálido inferior a 22 grados” (UNIVERSIDAD DE MURCIA, 2000a).

Tabla 5: Parámetros climáticos promedio de la Ciudad de Quito

Month	Mean Daily Minimum	Mean Daily Maximum	Mean Total (mm)	Mean Number of
Jan	9.8	21.2	82.5	13.0
Feb	10.1	21.0	111.0	14.0
Mar	10.1	20.8	146.6	19.0
Apr	10.2	20.9	171.2	20.0
May	10.1	21.0	105.5	17.0
Jun	9.8	21.1	39.5	10.0
Jul	9.4	21.5	21.5	7.0
Aug	9.6	22.2	27.7	7.0
Sep	9.4	22.3	68.9	12.0
Oct	9.5	21.8	114.9	18.0
Nov	9.6	21.3	108.5	16.0
Dec	9.7	21.3	100.4	15.0

Fuente: (OMM, 2018)

La Ciudad de Quito en el año 2017 registró altos índices de radiación solar de hasta 1757 w/m² (Ver tabla 6).

Tabla 6: Radiación en la Ciudad de Quito, 2017

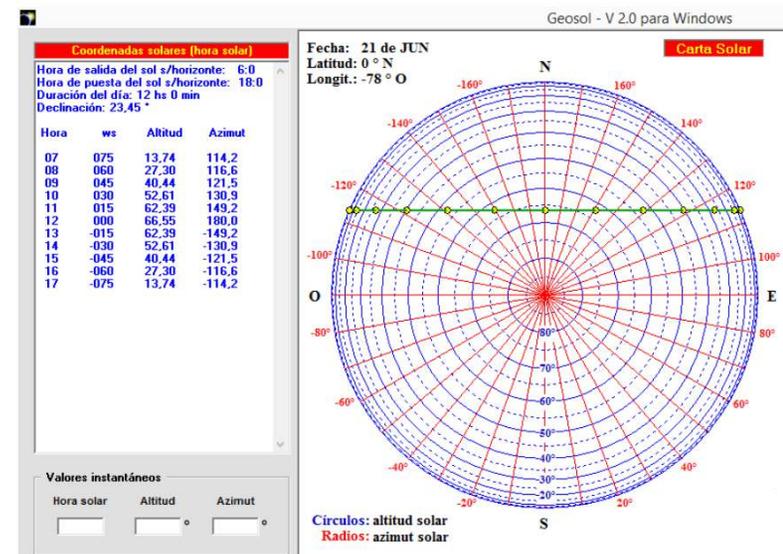
Fecha /	Radiación	Temperatura	Viento	Viento
03/01/2017	1521	22.3	199	2.5
08/03/2017	1545	19.5	20	1.8
06/04/2017	1550	21.4	61	2
22/08/2017	1757	20.6	243	1.3
30/08/2017	1614	19	107	2
16/10/2017	1558	23.6	178	1.9
28/11/2017	1523	21.5	101	1.3
29/12/2017	1577	19.2	100	2.7

Fuente: (INAMHI, 2015)

La carta solar estereográfica, de la Ciudad de Quito (Ver figura 18) fue elaborada en el programa Geosol con la fecha 21 de junio 2019 día del solsticio de verano; indica la irradiación horaria en MJ/m² (Megajoules por metro cuadrado) siendo a las 12h00 la más alta con 3,58 MJ/m² y el total 26,19 MJ/m².

Hora de salida del sol 06h00 y hora de puesta del sol 18h00, la duración del día es de 12h00, la declinación del sol es de 23,45°.

Figura 17: Carta solar de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborada por la autora en base a Geosol

1.4. Escenarios climáticos en la Ciudad de Quito.

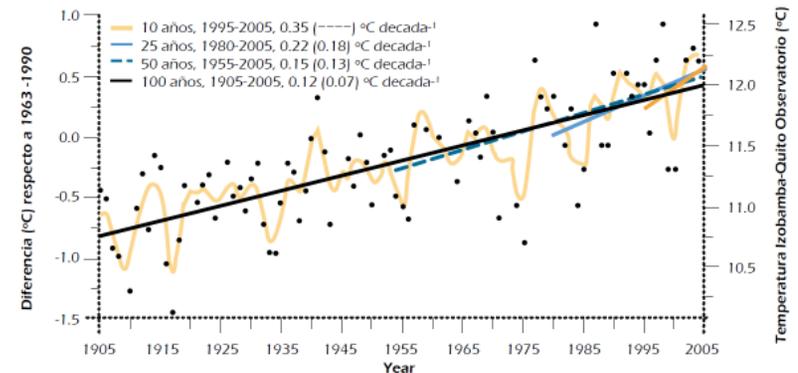
Desde el concepto OMM (Organización Meteorológica Mundial), en el que indica, “El clima se describe como las condiciones climáticas promedio para un lugar en particular y durante un largo periodo de tiempo²¹”(OMM, 2020), a su vez indica,

La Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha recomendado a los gobiernos que adopten un enfoque de dos niveles para actualizar las bases de referencia de 30 años que los científicos y servicios meteorológicos utilizan para vigilar el tiempo y el clima y compararlo con las condiciones registradas en el pasado. Las normales climatológicas se actualizan, hoy en día, una vez cada 30 años, con lo cual el período de las normales climatológicas oficiales actuales sigue siendo 1961-1990. (OMM, 2020).

Desde ese concepto el Municipio de Quito ha elaborado un diagrama del comportamiento del clima de la Ciudad de Quito desde el año 1905 al año 2005 (Ver figura 18), en donde se observa que desde el año 1995 al año 2005 no se ha incrementado la temperatura; desde el año 1980 al año 2005 se incrementa 0.18° cada década; desde el año 1955 al año 2005 se

incrementa 0.13° cada década y desde el año 1905 al año 2005 se incrementa en 0.07° cada década.

Figura 18: Tendencias de temperatura en la Ciudad de Quito 1905-2005



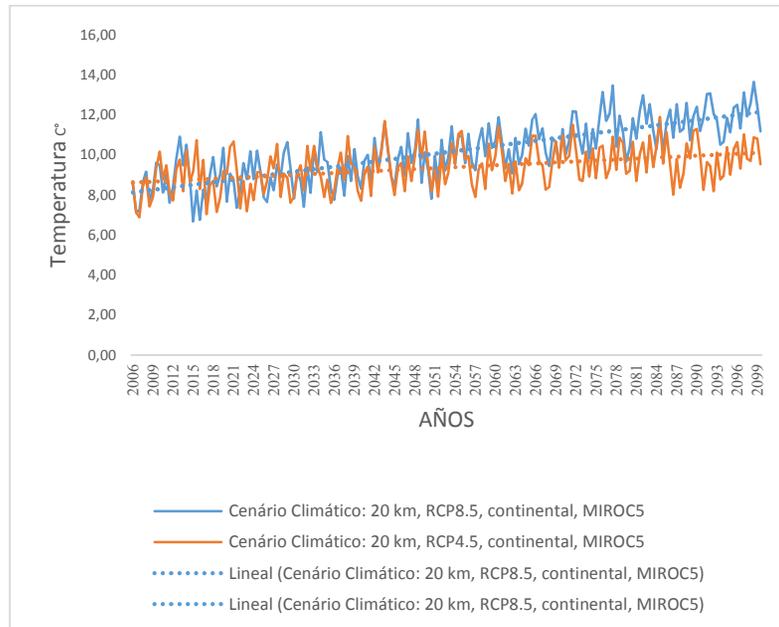
Fuente: (ZAMBRANO et al., 2011, p. 518)

La tendencia en el aumento de la temperatura es eminente en el periodo comprendido en el año 1905 y año 2005; sin embargo es necesario conocer como seria a futuro los escenarios climáticos, para ello en colaboración con el Dr. João Gobo, Profesor de PPGG/UNIR de la Universidade Federal de Rondônia, Brasil, se elabora dos escenarios climáticos de la Ciudad de Quito (Ver figura 19) desde el año 2006 al año 2099, los datos son generados

²¹ Climate describes the average weather conditions for a particular location and over a long period of time.

por CPTEC/INPE y están disponibles en la Plataforma PROJETA (CHOU et al., 2014a), (CHOU et al., 2014b), (LYRA et al., 2017). Los escenarios climáticos indican que en lapso de 100 años la temperatura del aire en la Ciudad de Quito incrementará en 5°.

Figura 19: Escenarios climáticos de la Ciudad de Quito 2006 -2099



Fuente: Elaborado por João Gobo

1.5. Consideraciones finales del capítulo

La evolución urbana de la Ciudad de Quito tiene relación con el crecimiento poblacional; además, indica como las personas marcan la tendencia de crecimiento en la zona norte, centro y sur de Quito.

La ubicación geográfica y el crecimiento de la urbanización en la ciudad influyen el clima urbano; además de recibir en mayor porcentaje la radiación solar. Los escenarios climáticos indican que a futuro continuará incrementando la temperatura del aire en la Ciudad de Quito.

CAPITULO II

2. Forma urbana

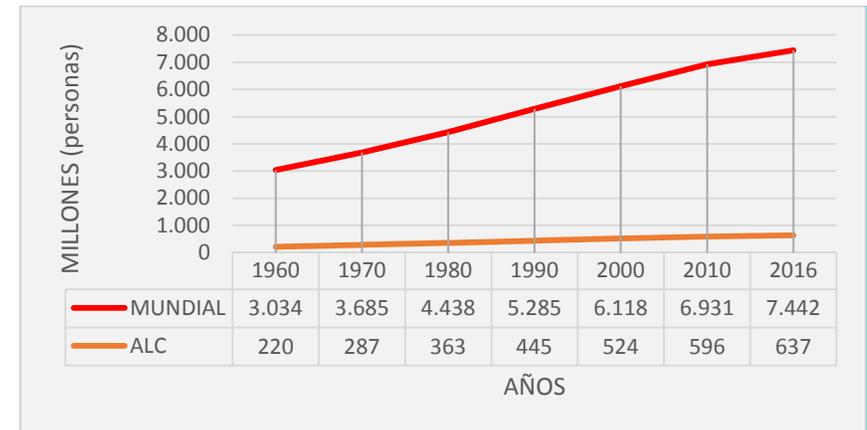
En este eje temático se revisa los conceptos y teorías subyacentes a la forma urbana para comprender como influye en el cambio del microclima urbano, conocer las causas que lo produce y las consecuencias que tiene en la ciudad.

La humanidad se enfrenta a una amenaza muy peligrosa. Los efectos de la urbanización y del cambio climático, alimentados por dos poderosas fuerzas humanas que han sido desencadenadas por el desarrollo y la manipulación del medio ambiente en la era industrial, están convergiendo en peligrosas direcciones. Los resultados de esta convergencia amenazan causar impactos negativos sin precedentes en la calidad de vida y en la estabilidad económica y social. (UN-HABITAT, 2011, p.13).

La migración de la población rural hacia las ciudades está ejerciendo una gran presión sobre la infraestructura urbana. El crecimiento poblacional en las ciudades a nivel mundial y de

América Latina y el Caribe (ALC) cada año es mayor como lo demuestra el Banco Mundial²² (Ver gráfico 20).

Figura 20: Población mundial



Fuente: Elaborado por la autora en base a (BANCO MUNDIAL, 2019)

La urbanización acelerada está teniendo un impacto negativo sobre el ámbito económico, social y ambiental, la ONU procura tener un equilibrio con los tres ámbitos, debido a la presión que está desarrollando las ciudades sobre la naturaleza y la calidad de vida de la población.

²²El Banco Mundial, es una organización internacional especializada en finanzas que depende de la ONU. Se define como una fuente de asistencia financiera y técnica para los llamados países en desarrollo. Fue creado en

1944 como parte del Acuerdo de Bretton Woods. Tiene su sede en la ciudad de Washington D.C., Estados Unidos.

Además, de un rápido crecimiento, la densificación de las ciudades está repercutiendo en la carencia de áreas verdes en las ciudades; la OMS²³ (Organización Mundial de la Salud), indica que se requiere 9,2 m² de área verde por habitante, para tener un espacio de esparcimiento, fomentar el ejercicio, la interacción social y para disminuir la polución de las ciudades, etc., con esto se mejora la calidad de vida de los habitantes.

En la actualidad la forma de vida de sus habitantes está estrechamente relacionadas con los modos de producción de la ciudad lo que determina la estructura de la misma. El afán de incrementar viviendas en las ciudades hace que los espacios de encuentro públicos (parques, plazas y áreas verdes) se han cada vez menos y con poca armonía con la naturaleza.

“...no es un reflejo de la sociedad, sino su expresión”. “Además, los procesos sociales conforman el espacio al actuar sobre el entorno construido, heredado de las estructuras socioespaciales previas.” “el tiempo y el espacio se crean necesariamente mediante prácticas y procesos materiales que sirven para reproducir la vida social.” (CASTELLS, 2005, p. 444)

Los espacios de encuentro con armonía con la naturaleza nos sirven para interactuar y a la vez son los controladores del clima urbano en la ciudad.

Desde sus inicios y a lo largo del tiempo, las ciudades han interactuado con la naturaleza, muchas de ellas fueron construidas respetando e integrándolas a los ecosistemas. El agua que fue un factor fundamental en la ubicación y trazado geométrico de las ciudades guardaban su trayecto natural, la vegetación endémica era parte de la ciudad, el clima (sol, lluvia, viento, etc.) y el aire no tenía polución debido a que no existía emisiones CO₂ en grandes cantidades.

Sin embargo, en la actualidad esa armonía se ha quebrantado por el desequilibrio entre el hombre y la naturaleza, haciendo de las ciudades lugares insustentables y cambiando el microclima urbano.

Es decir, el ciclo naturaleza – hombre – naturaleza se ha convertido insustentable, repercutiendo en las ciudades y dentro de ellas a los más vulnerables; todos los recursos naturales no renovables derivados del petróleo (gas, gasolina, diésel, etanol,

²³ OMS (Organización Mundial de las Naciones Unidas), conformada en 1948, por la Organización de las Naciones Unidas, son la autoridad directiva y coordinadora en asuntos de sanidad internacional en el sistema de la ONU.

etc.) al consumir generan CO2 y polución lo cual incrementa la intensidad de las islas de calor.

En los países en desarrollo, las poblaciones más afectadas se encuentran en las zonas urbanas pobres en donde la vegetación y espacios de recreación con áreas verdes es casi nula, en donde los habitantes tienden a construir sus viviendas de manera precaria, en donde los techos son metálicos y más expuestos a la radiación solar, las personas que habitan allí soportan los impactos de las islas de calor de una manera más drástica, en el día las viviendas atrapan grandes cantidades de temperatura y en la noche el frío es más sentido, a diferencia de los lugares en donde poseen más servicios y en donde tienen espacios recreativos con áreas verdes, allí en esos lugares en donde las viviendas son de concreto y grandes vitrales también soportan las consecuencias que trae las islas de calor, pero allí para enfriar los ambientes el aire acondicionado es usado, incrementando aún más las islas de calor.

La forma urbana o morfología urbana en este estudio se aborda desde el sistema de la planificación urbana, entendiendo

como SISTEMA al conjunto de elementos que interrelacionados entre sí conforman una unidad, la CIUDAD o “lo urbano” se puede interpretar como un sistema espacial complejo y dinámico donde los elementos del sistema ciudad lo constituyen las actividades humanas que se desarrollan en localizaciones específicas o espacios adaptados y las interrelaciones que se desarrollan en la ciudad.

BAUMULLER (2015, p. 296) indica: “para tener en cuenta la situación climática local de una ciudad, es necesario analizar en detalle la compleja correlación y los efectos de los diversos parámetros climáticos.²⁴”, para ello es necesario conocer la ciudad, como está conformada en el tiempo y el espacio, es desde ese contexto que analizar la forma urbana y los elementos que la conforman la ciudad es imprescindible para el estudio de clima urbano.

Las ciudades a través del tiempo han evolucionado, en su morfología, usos, en la arquitectura de sus edificios, en el diseño de las vías, espacios públicos, recordemos que el espacio es una producción social, es así que quienes la habitan igual han

²⁴ To take into account the local climatic situation of a city, it is necessary to analyze in detail the complex correlation and the effects of the various climatic parameters.

evolucionado en sus comportamientos, cabe decir que la economía, lo social y lo ambiental siempre han estado presentes en la estructuración de las ciudades.

Las ciudades han evolucionado, desde la época preindustrial, industrial y posindustrial, se observa los comportamientos sociales en ellas y cómo impacta; desde esa retrospectiva la forma de una ciudad está constituida por patrones espaciales y sociales que permite conocer las redes, espacios construidos y vacíos, geometrías, topologías, jerarquías e interacción social que contiene cada ciudad.

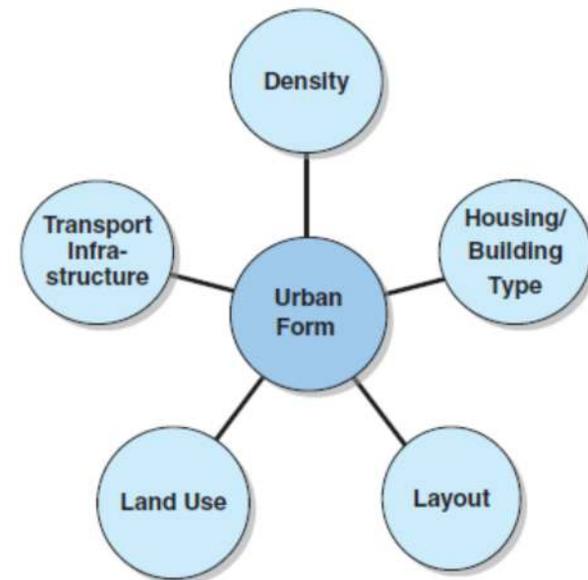
Para Salat (2011, p. 28) “El estudio analítico de la forma avanza en nuestra comprensión del sistema urbano y su desarrollo a través del tiempo y el espacio.”

La forma urbana para,(DEMPSEY, BROWN, RAMAN, PORTA, JENKS, JONES, BRAMLEY, 2010, p.21) stá conformada por cinco elementos (Ver figura 21): densidad, construcciones, transporte, uso de suelo y planificación.

La densidad, se refiere a la medida de distribución de población de un país, zona, región, etc., es la relación entre el número de habitantes y el área donde viven; indica el número de

personas en cada unidad de superficie y suele expresarse en habitantes por km².

Figura 21: Elementos de la forma urbana



Fuente: (DEMPSEY et al., 2010, p.22)

Las construcciones, a través de sus características como el tipo de material usado, la altura, la distribución espacial y paisaje urbano.

El transporte hace referencia a la infraestructura de soporte que está relacionada con la accesibilidad a los diferentes espacios.

A través del uso de suelo podemos conocer como está siendo intervenido un territorio, como están interactuando con su entorno y si es beneficioso para quienes lo habitan y el quinto elemento que corresponde al trazado urbano, describe la disposición espacial y la configuración de los elementos urbanos como: calles, edificios, parques, etc., estos cinco elementos se relacionan entre sí de esta manera se obtiene una mejor comprensión de la forma de la ciudad.

Según (CHAO REN, EDWARD YAN-YUNG NGA, 2010, p.14), indica que la estructura del mapa de clima urbano es un sistema y lo llama UCMa²⁵ (Ver figura 22) consta de una serie de capas de entrada básicas y dos componentes principales; las capas de entrada básicas contienen mapas analíticos de elementos climáticos y meteorológicos, datos geográficos del

terreno, información de vegetación y parámetros de planificación y los componentes principales son: el UC-AnMap que visualiza y espacializa diversas evaluaciones climáticas y la evaluación de diferentes *Climatopes*²⁶ y el UC-ReMap²⁷ que incluye instrucciones de planificación desde el punto de vista climático urbano.

El UC-AnMap proporciona una plataforma para la información y evaluación climáticas, también se denomina 'Mapa de función climática sintética', que resume y evalúa el entendimiento 'científico' basado en los parámetros climáticos de entrada y los datos de la tierra en condiciones anuales o específicas de temporada y son el resultado del análisis de las condiciones climáticas y las variaciones, se basa en la recopilación y recopilación cuidadosas de datos meteorológicos (temperatura a largo plazo, precipitación, viento, nubes y datos de radiación solar), planificación, uso del suelo, topografía e información sobre la vegetación, de acuerdo con sus relaciones y efectos en el balance energético en el nivel peatonal para

²⁵ UCMa, mapa de clima urbano.

²⁶ Climatopes, son áreas con características microclimáticas similares. Se diferencian especialmente en la curva de temperatura diaria, la rugosidad vertical (perturbaciones del campo del viento), la posición topográfica y la exposición y, sobre todo, en el tipo de uso real de la tierra. Otro criterio para los climatopes particulares es la cantidad de emisiones

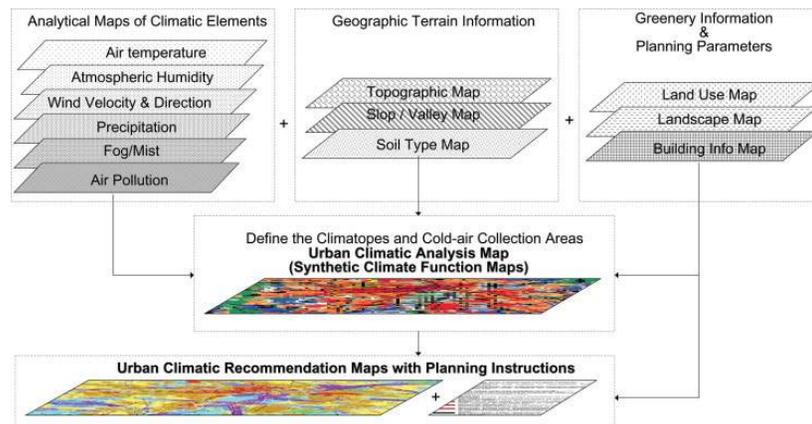
(LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, AMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2004).

²⁷ UC-ReMap, mapa de recomendación de clima urbano, es una base de evaluación integrada, orientada a la planificación y a la acción que podría operarse a nivel de ciudad o distrito.

presentar variaciones climáticas locales en la escala meso y microclimática.

Sobre la base del análisis obtenido de UC-AnMap, se agrupan climatopes similares en zonas para presentar la sensibilidad de ciertas áreas terrestres afectadas por los cambios de uso del suelo.

Figura 22: Estructura de UCMaP



Fuente: Chao Ren et al. (2010, p. 4)

Estas zonas están representadas por diferentes colores y símbolos, que muestran diferentes sugerencias para el plan de acción, como el lugar que requiere mejoras o lugar que debe conservarse, desde el punto de vista del clima urbano.

El conocimiento climático y los resultados de la evaluación se presentan correctamente en el lenguaje de planificación urbana. El UC-ReMap no solo presenta la evaluación de las características climáticas actuales espacialmente, sino que también identifica problemas y áreas sensibles al clima que necesitan atención estratégica y un mayor desarrollo. Por lo tanto, en este es una herramienta para la planificación urbana con el objetivo de mitigar situaciones negativas y de protección de las situaciones positivas. Dado que las diferentes ciudades tienen diversos sistemas de planificación urbana y problemas climáticos urbanos, la implementación de UC-ReMap son las recomendaciones de planificación urbana.

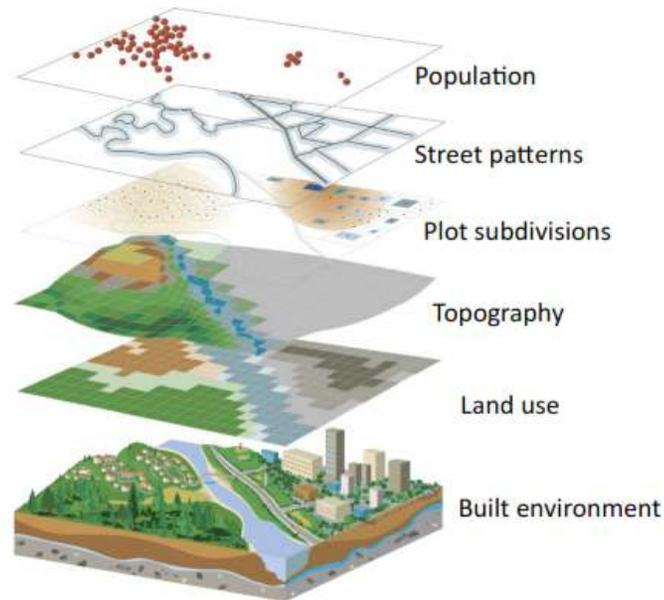
Para Salat (2011, p. 33), la forma urbana tiene seis niveles (Ver figura 23).

En el **nivel 1**, están las personas y actividades, el sistema urbano es social, es la razón por la cual las actividades humanas están en el primer nivel, además, indica que la ciudad es a la vez una entidad social y espacial de intercambios y actividades.

En el **nivel 2**, red de calles y malla viaria de la ciudad, constituye las vías, calles y todos los soportes que la conforman. La infraestructura vial se compone de un conjunto de elementos, cada uno cumple una función específica que tiene como

propósito asegurar la movilidad urbana y en ella se realizan desplazamientos estos desplazamientos son realizados en diferentes medios o sistemas de transporte: vehículo privado, transporte público, bicicleta y caminado.

Figura 23: Seis niveles de análisis en la morfología urbana - SALAT



Fuente: Cities and forms, Salat 2011, pag.33

En el **nivel 3**, subdivisión de parcelas, las parcelas y amanzanado están relacionadas entre sí, muchas veces primero es la forma de la manzana definida y después se realiza la división de parcelas o en otros casos el conjunto de parcelas define la forma de la manzana, son de diversas formas, proporciones y tamaños.

El **nivel 4**, topografía y relieve. El terreno en el que sitúa un asentamiento, o sobre el cual se expande, puede afectar no solamente en su extensión, sino también la dirección del crecimiento. La topografía define la forma de las ciudades y trazado urbano, los elementos que la conforman son: ríos, montañas, cascadas, tipo de suelos, volcanes, mares, fallas geológicas, etc.

El **nivel 5**, uso de suelo²⁸ y distribución de actividades. Según (THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007) en el concepto de uso de suelo toma como referencia a FAO 1997 e indica,

La cobertura de la tierra y uso de la tierra a menudo se confunden. La cobertura terrestre es la cobertura física y biológica observada de la

²⁸ El uso de suelo es una manifestación de las actividades predominantes en cada zona y puede ser comercial, residencial, industrial, comercial, de servicios, institucional, etc.

tierra terrestre, como vegetación o características hechas por el hombre. En contraste, el uso de la tierra es el total de arreglos, actividades e insumos que las personas realizan en un determinado tipo de cobertura de la tierra.²⁹ (Traducción nuestra)

Las actividades llevan a un determinado uso los mismos que pueden ser realizados en espacios abiertos o cerrados, construidos (espacios físicos) o espacios abstractos (espacios simbólicos), la necesidad de desarrollar una determinada acción lleva a la creación del uso que se asigna a un espacio.

El **nivel 6**, las tres dimensiones, se refiere al entorno construido como las edificaciones, la forma y disposición de los edificios en la trama urbana o tejido que responden a los usos o actividades que ellos albergan y al medio ambiente (clima, vegetación, agua, materiales, etc.)

Para Salat, lo más importante son las interacciones de los niveles y elementos, para un análisis más simplificado distingue entre estructuras espaciales y los flujos que la atraviesan.

²⁹ "land cover" and "land use" are often confused. Land cover is "the observed physical and biological cover of the earth's land, as vegetation or man-made

El resumen de los elementos de forma urbana indica que el clima es parte de la forma urbana, este será tratado a parte en el literal clima urbano.

Dempsey (2010), Chao Ren (2010) y Salat (2011) (Ver tabla 7), indican los elementos que deben ser tomados en cuenta al momento de realizar un análisis y mapa de la forma urbana, Chao Ren y Salat concuerdan que el clima urbano es un elemento importante en el análisis y diseño de la forma urbana.

Tabla 7: Elementos de la forma urbana según autores

DEMPSEY et al., 2010 (5 elementos)	Chao Ren et al. 2010	Serge Salat, 2011 (6 niveles)
Densidad		Nivel 1, personas y actividades.
Construcciones	Mapa de construcciones	Nivel 2, red de calles y malla viaria de la ciudad.
Transporte		Nivel 3, subdivisión de parcelas.

features." In contrast, land use is "the total of arrangements, activities, and inputs that people undertake in a certain land cover type"

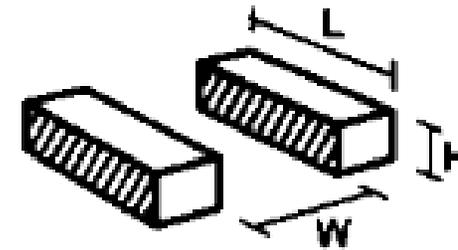
Uso de suelo	Mapa de topografía Mapa de las riveras Mapa de tipo de uso de suelo	Nivel 4, topografía y relieve.
Traza urbana	Mapa del paisaje	Nivel 5, uso de suelo y distribución de actividades.
	Temperatura Humedad Velocidad de los vientos Precipitaciones Neblina Polución	Nivel 6, las tres dimensiones (clima, vegetación, agua, materiales, etc.)

Fuente: Elaboración propia

2.1. Geometría urbana

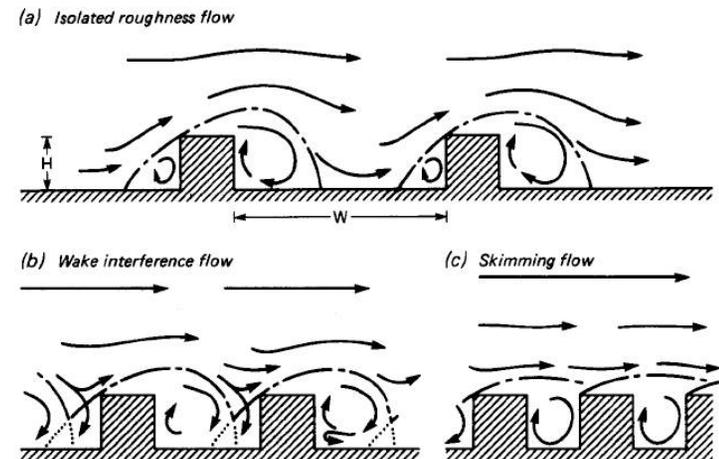
Cañón urbano, OKE, (1980, p.9) es la altura media de los edificios (H), el ancho de la vía (W) y longitud de los edificios (L) (Ver figura 24); **aspect ratio**, según STEWART; OKE, (2012, p.1886) es la relación entre H/W , esta relación es importante para conocer el comportamiento del flujo del aire en el cañón urbano, sombras, etc. (Ver figura 25); además, la relación L/H en donde L es la longitud de los edificios y H la altura, permite conocer la **permeabilidad** de los elementos.

Figura 24: Cañón urbano



Fuente: (OKE, 1988, p.105)

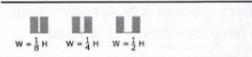
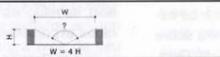
Figura 25: flujos de aire en la relación H/W y L/H



Fuente: (OKE, 1988, p.105)

(ROMERO, 2011, p.93) basada en Oke (1988, p.105) indica la relación importante que debe ser tomada en cuenta en el clima urbano, como es la inclusión de la profundidad (L) la cual define la presencia de las fronteras laterales del encuadramiento y permite la contemplación del espacio como un todo e indica la relación de percepción de los edificios y sus entornos inmediatos, en donde se clasifica en espacios claustrofóbicos de alta densidad, recogimiento de media densidad y expansivos de densidad baja (Ver figura 26).

Figura 26: Relación de percepción de los edificios y sus entornos

ESPAÇOS CLAUSTROFÓBICOS	ESPAÇOS DE RECOLHIMENTO	ESPAÇOS EXPANSIVOS
		
Densidade Alta	Densidade Média	Densidade Baixa
Com as proporções W=1/8H, W=1/4H e W=1/2H.	Com proporções W=H, W=2H e W=3H.	Com proporções W ≥ 4H.
Espaços estreitos, onde as proporções verticais prevalecem, não permitem visuais amplas. Neles verificam-se estímulos visuais fortes.	Espaços harmônicos, apartamentos para abrigar atividades sociais de convívio. Contornos marcados, definição forte.	Espaços excessivamente abertos, sem contornos definidos. As distâncias grandes enfraquecem os estímulos visuais. Apropriado para destacar pontos focais, tais como obeliscos, fontes, estátuas. Para criar senso de lugar, espaços com essas proporções, como o Passeio de Graça em Barcelona por exemplo, utilizam fileiras de árvores para dar definição ao espaço.
Absorvem calor muito acima do nível do solo.	A absorção de calor se dá próxima ao nível do solo.	A maior parte da radiação é refletida.
Existe um amortecimento do ciclo térmico e normalmente a temperatura permanece estável (calor ou frio) durante o dia e só é alterada por um fator extremo.	Existe uma menor possibilidade de inversão térmica, ou seja, a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à da parte exterior.	A possibilidade de inversão térmica é mínima e a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à exterior.
Os fluxos de ar entre os edifícios são independentes.	Os fluxos de ar entre os edifícios interagem entre si.	O fluxo de ar tende a passar sobre os edifícios.

Fuente: Romero 2011, p.93

Además, indica que en la geometría urbana se debe considerar tres características de la conformación urbana: con gran permeabilidad, con media permeabilidad pudiendo tener barreras contra el viento y con baja permeabilidad con una gran posibilidad de tener efectos de barrera y canalización.

Factor de visión del cielo (*Sky view factor -SVF*), según Oke (1987, p. 353) “... representa la relación de un punto en el espacio entre el cielo visible y un hemisferio centrado sobre una ubicación analizada” esa ubicación es el cañón urbano, el cálculo de SFV se indica en la ecuación 1.

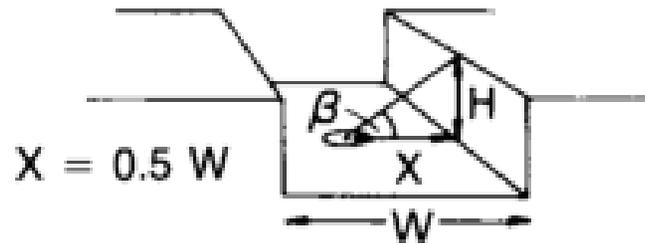
Ecuación 1: Sky view factor

$$\psi_{sky} = \cos^2 \beta$$

Fuente: (OKE, 1987, p.353)

En donde $\beta = \tan^{-1}(H / X)$; H es la altura de los árboles alrededor del perímetro y X es el radio del cañón urbano (Ver figura 27).

Figura 27: Sky View Factor (SFV)



Fuente: (OKE, 1987, p.352)

Fracción de superficie de construcción (*Building surface fraction*), STEWART; OKE, (2012, p.1886) indica que es la relación entre el área construida sobre el área total expresada en %. Son todas las construcciones, es decir, edificios, aceras, vías, todo lo que esté construido sobre la superficie.

Fracción de superficie impermeable (*Impervious surface fraction*), según STEWART; OKE, (2012, p.1886) es la

relación del área impermeable (pavimento, piedra) sobre el área total.

Por otro lado, elementos impermeables del paisaje urbano experimentan un comportamiento húmedo / seco casi dicotómico, en el que los efectos climáticos de la lluvia pueden estar presentes solo unas pocas horas antes de que la escorrentía y la evaporación sequen la superficie.³⁰ (Traducción nuestra)

Al poseer gran impermeabilidad los materiales de construcción como el asfalto, concreto, la carencia de filtración de agua conduce a una baja humedad lo cual influye en la isla de calor urbano.

Fracción de superficie permeable (*Pervious surface fraction*), según STEWART; OKE, (2012, p.1886) es la relación del área permeable (suelo descubierto, vegetación, agua) sobre el área total. Este factor es importante en el estudio de las islas de calor urbano, es lo inverso a la superficie impermeable; en las superficies permeables el agua puede permanecer un tiempo mayor antes de ser evaporadas en su totalidad, esto produce humedad en la ciudad y a la vez disminuye la absorción del calor.

³⁰ On the other hand, impervious elements of the urban landscape experience an almost dichotomous wet/dry behaviour, wherein the climatic effects of rain

may be present for only a few hours before run-off and evaporation dry the surface.

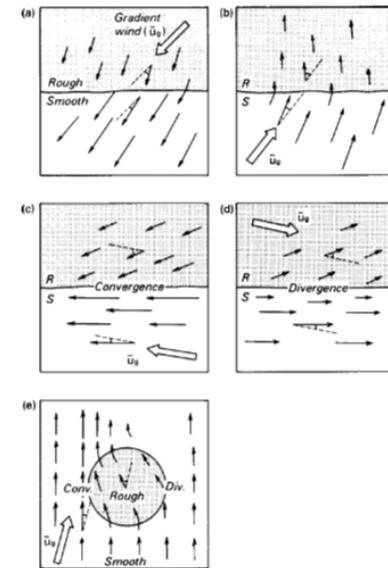
Altura de la rugosidad de los elemento (*Height of roughness elements*), STEWART; OKE, (2012, p.1886) indica que es la altura de la geometría de los edificios y vegetación (árboles, césped).

Este factor influye en la isla de calor urbano debido a que depende de la rugosidad de los elementos para que el viento continúe con la circulación natural.

Los elementos de rugosidad de la superficie causan flujos complejos a su alrededor, incluidos remolinos y turbulencias. Estos efectos tridimensionales dependen en gran medida de las características de los elementos, incluida su forma, densidad del plano, flexibilidad, etc.³¹ (OKE, 1987, p.40, Traducción nuestra)

Se observa cómo influye la rugosidad (Ver figura 28) con la circulación de los vientos, con gran rugosidad cambian su sentido de circulación y con elementos suaves el viento mantiene su dirección.

Figura 28: Comportamiento de los vientos con la rugosidad



Fuente: (OKE, 1987, p. 188)

Clase de rugosidad el terreno (*Terrain roughness class*), en la teoría de STEWART; OKE, (2012, p.1886) a cada una de las LCZ asigna una clasificación en la superficie e indica que existe 8 clasificaciones las mismas que tienen una altura de acuerdo a su rugosidad y paisaje urbano (Ver figura 29).

³¹ Surface roughness elements cause complex flows around them including eddies and vortices. These three-dimensional effects are strongly dependent

on the characteristics of the elements including their shape, plan density, flexibility, etc.

Figura 29: Clasificación de la rugosidad del terreno

Davenport class	Roughness length, z_0 (m)	Landscape description	LCZ correspondence
1. Sea	0.0002	Open water, snow-covered flat plain, featureless desert, tarmac, and concrete, with a free fetch of several kilometers.	E, F, G
2. Smooth	0.005	Featureless landscape with no obstacles and little if any vegetation (e.g., marsh, snow-covered or fallow open country).	E, F
3. Open	0.03	Level country with low vegetation and isolated obstacles separated by 50 obstacle heights (e.g., grass, tundra, airport runway).	D
4. Roughly open	0.10	Low crops or plant covers; moderately open country with occasional obstacles (e.g., isolated trees, low buildings) separated by 20 obstacle heights.	7, C, D
5. Rough	0.25	High crops, or crops of varying height; scattered obstacles separated by 8 to 15 obstacle heights, depending on porosity (e.g., buildings, tree belts).	5–10, B, C
6. Very rough	0.5	Intensely cultivated landscape with large farms and forest clumps separated by 8 obstacle heights; bushland, orchards. Urban areas with low buildings interspaced by 3 to 7 building heights; no high trees.	2, 3, 5, 6, 9, 10, B
7. Skimming	1.0	Landscape covered with large, similar-height obstacles, separated by 1 obstacle height (e.g., mature forests). Dense urban areas without significant building-height variation.	2, 4
8. Chaotic	≥ 2	Landscape with irregularly distributed large obstacles (e.g., dense urban areas with mix of low and high-rise buildings, large forest with many clearings).	1, 4, A

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1890)

2.2. Consideraciones finales del capítulo

Para los autores Dempsey (2010) analiza a la ciudad desde 5 elementos: densidad, construcciones, transporte, uso de suelo y planificación, este autor no incluye el clima en los elementos de análisis de morfología urbana, Chao Ren (2010) propone analizar construcciones, riveras, topografía, uso de suelo, paisaje, en clima analiza la temperatura, humedad, vientos, precipitación, neblina, polución, realiza un acercamiento a la climatología urbana; para Salat (2011) el análisis de la morfología urbana lo contempla desde seis niveles: Nivel 1,

personas y actividades, Nivel 2, red de calles y malla viaria de la ciudad, Nivel 3, subdivisión de parcelas, Nivel 4, topografía y relieve, Nivel 5, uso de suelo y distribución de actividades, Nivel 6, las tres dimensiones (clima, vegetación, agua, materiales, etc.) este autor incluye varios elementos de clima a ser incorporados en el análisis de morfología; sin embargo, estos tres autores no se aproximan al análisis de geometría urbana que es fundamental para comprender la influencia que tiene en el clima urbano. A diferencia de los autores Stewart & Oke (2012) en el análisis de clima urbano la geometría urbana, cobertura de suelo, valoración termal, albedo y calor antropogénico, son parámetros de análisis que profundizan la relación que tiene las construcciones con el cambio del microclima urbano, cabe indicar que el cañón urbano compuesto por H (altura), W (ancho de vía) y L (longitud de los edificios) dependiendo de la relación H/W, si es mayor a 1, atrapa más el calor generado por actividades antropogénicas y absorción de calor de los materiales de construcción que se genera en estos espacios, al contrario de una relación H/W menor a 1, el calor puede ser liberado con mayor facilidad; otro aspecto, importante es la permeabilidad, siendo la relación L/H del cañón urbano, en donde si es menor a 1 la relación, existe una mayor permeabilidad y por lo tanto los flujos de viento corren entre la

rugosidad de los edificios provocando una disminución en la temperatura del cañón urbano.

Otro parámetro importante desde la geometría urbana es el factor de visión del cielo o llamado Sky view factor siendo sus siglas SFV, en donde el valor 0 es caótico y 1 es óptimo, este factor influye en la temperatura del aire en cañón urbano, puesto que, si es un SFV en 0 porque está tiene construcciones y vegetación densa y/o abundante también es favorable para un confort térmico, pero si es un SFV 0 porque se encuentra presencia únicamente de construcciones es caótico. Entonces SFV debe ser analizado tomando en consideración a la vegetación.

Los parámetros fracción de cobertura de construcciones y fracción de cobertura permeable indica que es esos espacios la reflectancia (albedo) y absorción están presentes en estos lugares, al contrario del parámetro fracción de cobertura permeable el cual si está presente indica que existe evapotranspiración y por lo tanto contribuye al confort térmico.

La clasificación de rugosidad del terreno es un factor que influye en el enfriamiento de la ciudad, debido a que si la rugosidad pasa de 2 metros se convierte en una barrera para que ingrese el viento.

Los parámetros de geometría urbana, son los que influyen en el cambio del clima urbano o microclima de la ciudad, debido a que su presencia es la que ha modificado el medio ambiente y es el que aporta a la formación de las islas de calor urbano.

CAPITULO III

3. Clima urbano – microclima urbano

Los seres humanos y otros seres vivos experimentamos el clima a nivel local, sin embargo, debemos observar el clima a nivel global en nuestro planeta para comprender el comportamiento que tiene, es decir, como el sistema climático interactúa.

Como se mencionó anteriormente, la urbanización es uno de los factores determinantes en el calentamiento global, dentro de la misma existe una estructura urbana conformada por edificios, calles, transporte, vegetación, agua, topografía, suelos impermeables, etc., que influyen en el **microclima** y este en el clima regional.

En las ciudades se concentra una buena parte de los agentes contaminantes: las actividades industriales, los sistemas de transporte público y privado, las actividades

comerciales, grandes masas de población, etc. son elementos altamente contaminantes.

La concentración de edificios de una ciudad da lugar a una multiplicación de las superficies que reciben y almacenan energía solar, los materiales de los que está hecha la ciudad absorben lentamente el calor durante el día y lo liberan también lentamente durante la noche.

La morfología urbana, con sus calles, avenidas, etc. originan turbulencias del viento, modificaciones en su dirección, etc., las actividades humanas, especialmente aquellas que conllevan la combustión de hidrocarburos, como las calefacciones, los automóviles, etc., generan calor, partículas contaminantes que facilitan la condensación, y un pequeño efecto invernadero. Los sistemas de drenaje de aguas (alcantarillas, etc.) de las ciudades hacen que la evaporación sea menor y la ausencia de zonas verdes colabora con ello.

El clima de las ciudades es un clima a nivel local y es el resultado de muchos factores naturales³² y antropogénicos³³,

³² Los factores naturales son: latitud, topografía, cubierta vegetal y las masas de agua.

³³ Los factores antropogénicos o los producidos por el hombre tales como: polución del aire, cobertura artificial del suelo, tamaño y estructura de la

ciudad, número de habitantes y emisión de calor antropogénico (transporte, construcciones, industria, climatización, etc.).

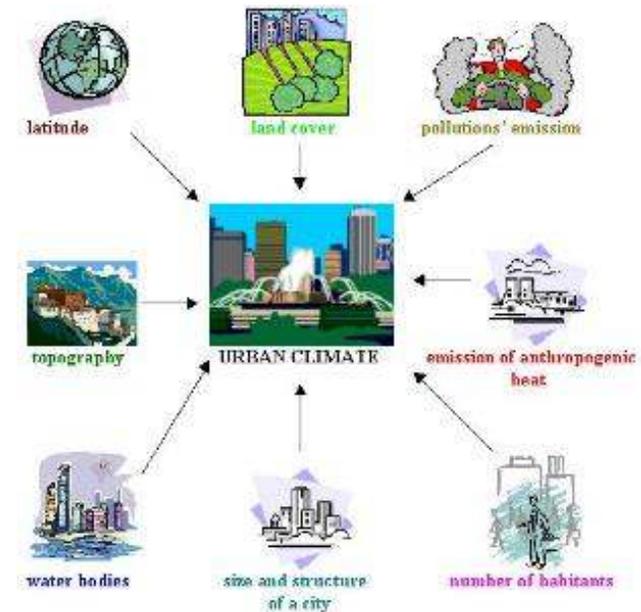
dichos factores modifican el clima local de la ciudad y contribuyen a la formación de un clima diferente; además, el uso de materiales artificiales en la superficie como el asfalto y cemento aumentan la temperatura ya que los mismos absorben la radiación e incrementan la temperatura en la superficie, estos materiales impermeables aportan con la evaporación y la misma incrementa la temperatura en la ciudad; la contaminación del aire en las ciudades por actividades industriales, comerciales, el sistema de transporte, las grandes masas de población son otros elementos altamente influyentes en el clima urbano.

La suma de los factores antropogénicos (Ver figura 30) en cada una de las ciudades crea un **microclima** propio, el cual está representado por la isla de calor urbano (ICU); además estos factores contribuyen al clima local en las ciudades y producen un efecto invernadero en el calentamiento global.

En el día las ciudades acumulan energía, sin embargo, en la noche cuando esa energía debería liberarse fácilmente, no lo consigue porque la atmósfera contaminada, forma una cúpula

que impide esa pérdida propiciando con ello, la isla de calor urbano.

Figura 30: Factores naturales y antropogénicos en el clima urbano



Fuente: (ESPERE, 2011)

La vegetación es un factor que modifica el clima urbano ya que absorbe la radiación solar³⁴ y no atrapa los niveles altos de

³⁴ Radiación, es la emisión y propagación de energía electromagnética a través del espacio o de algún material.(ALMANZA, 2009, p.458)

temperatura dando un gran confort ambiental, la concentración de vegetación da lugar a espacios verdes los cuales son beneficiosos para la ciudad ya que forman microclimas urbanos.

“... a vegetação atua sobre os elementos climáticos em microclimas urbanos e contribui para o controle da radiação solar, temperatura, umidade do ar, ação dos ventos e da chuva e para amenizar a poluição do ar.” (ROMERO, 2011, p.84)

Estos beneficios de la vegetación en la ciudad son más eficientes si están distribuidos en toda la ciudad y no concentrados en un solo lugar.

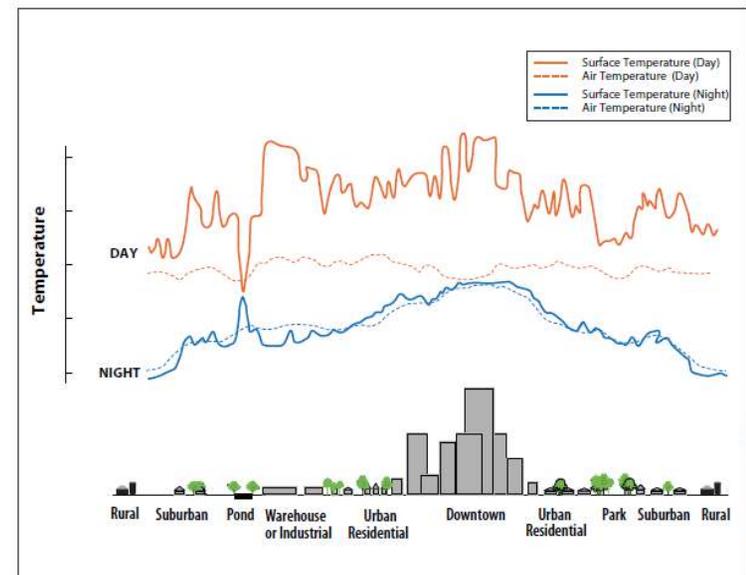
Los cuerpos de agua son un factor que contribuyen a crear un ambiente urbano atractivo y disminuye la temperatura de las ciudades, a través de su evapotranspiración, transportando el calor fuera de la ciudad y actúa como un regulador que absorbe el calor, además, limpia el aire y otros contaminantes en suspensión. Se puede observar como el agua influye en el clima, en el día baja la temperatura y en la noche enfría (Ver figura 31).

La integración de la vegetación y el agua en el diseño urbano hace espacios de confort y promueve la ocupación por parte de los habitantes de la ciudad. Además,

“... a criação de um microclima favorável a partir da inercia térmica das massas de água (lâminas,

lagos, canais) e por meio da evaporação (fontes, surtidores, cascatas, cortinas, circulação da água em canais cobertos por superfícies para aproveitar a sombra e obter ar resfriado).” (ROMERO, 2011, p.97)

Figura 31: Variaciones de la temperatura superficial y atmosférica



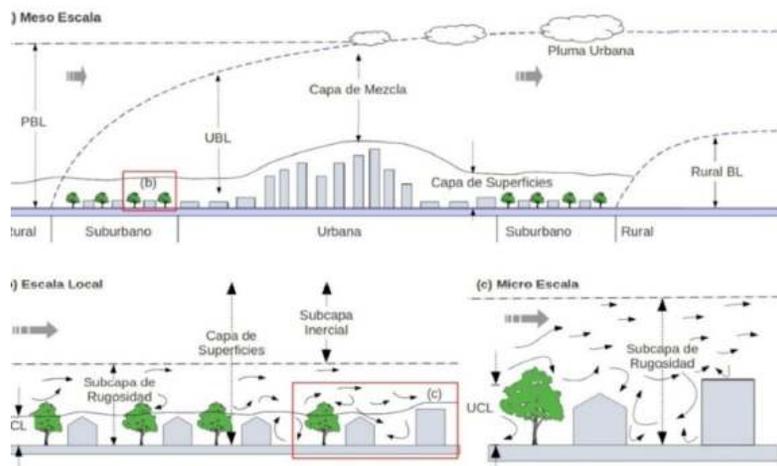
Fuente: (EPA, 2008)

La integración de la vegetación y el agua a la ciudad crea espacios con confort térmico, debido a que estos elementos son reguladores de la temperatura del aire.

3.1. Escalas climáticas

Para el estudio de clima urbano es importante las escalas climáticas, OKE (2006, p.3) indica que existen tres escalas (Ver figura 32), “PBL - capa límite planetaria, UBL - capa límite urbana, UCL - capa de dosel urbano³⁵” (Traducción nuestra).

Figura 32: Escala climática



Fuente: (OKE, 2004, p.3)

Mesoescala es PBL, “... una ciudad influye en el tiempo y el clima a la escala de toda la ciudad, normalmente a decenas de kilómetros de extensión.³⁶” (OKE, 2006, p. 4, Traducción nuestra). El límite de la mesoescala “... involucra sistemas que operan en áreas entre aproximadamente 5 y 100 km. (3 a 60 millas) y típicamente duran pocas horas o días³⁷” (ROHLI, ROBERT; VEGA, 2012, p.5, Traducción nuestra), además, indican que se encuentra presente los fenómenos de brisa de montaña, mar, cúmulos de tormentas que interactúan, denominados sistemas convectivos de Mesoescala.

Escala local es UBL, “...es la integración de una mezcla característica de efectos microclimáticos que surgen de la zona de origen en las proximidades del sitio.³⁸” (OKE, 2006, p. 4, Traducción nuestra). La escala local “... opera en áreas entre aproximadamente 0.5 y 5 km. (0.3 a 3 millas. Una tormenta

³⁵ PBL - planetary boundary layer, UBL – urban boundary layer, UCL – urban canopy layer.

³⁶ ... a city influences weather and climate at the scale of the whole city, typically tens of kilometres in extent. A single station is not able to represent this scale.

³⁷ ... which involves systems that operate over areas between about 5 and 100 km (3 to 60 mi) and typically last from a few hours to a few days.

³⁸ ...is the integration of a characteristic mix of microclimatic effects arising from the source area in the vicinity of the site.

eléctrica típica cae en esta escala espacial.³⁹” (ROHLI, ROBERT; VEGA, 2012, p.5, Traducción nuestra).

Microescala es UCL, cada superficie y objeto e inmediaciones tiene su propio microclima. Las temperaturas de la superficie y del aire pueden variar varios grados en distancias muy cortas, incluso milímetros⁴⁰; además, indica que “el flujo de aire puede verse muy perturbado incluso por objetos pequeños⁴¹” (OKE, 2006, p. 4, Traducción nuestra). En esta escala “los fenómenos que operan a lo largo de esta escala son menores a 0.5 km (0.3 millas) y típicamente duran desde unos pocos segundos a unas pocas horas.⁴²” (ROHLI, ROBERT; VEGA, 2012, p.5, Traducción nuestra).

³⁹ operates over areas between about 0.5 and 5 km (0.3 to 3mi)... A typical thunderstorm falls into this spatial scale.

⁴⁰ .. every surface and object has its own microclimate on it and in its immediate vicinity. Surface and air temperatures may vary by several degrees in very short distances, even millimetres, ...

⁴¹ ... airflow can be greatly perturbed by even small objects.

⁴² Phenomena that operate along this spatial scale are smaller than 0.5 km (0.3 mi) and typically last from a few seconds to a few hours. A tiny circulation

3.2. Isla de calor urbano – ICU

La isla de calor urbano conocida como ICU es,

... es un reflejo de la totalidad de los cambios microclimáticos provocados por las alteraciones de la superficie urbana hechas por el hombre. Incluso un solo complejo de edificios mostrará un microclima diferente en comparación a un terreno en estado natural. Las superficies pavimentadas, paredes almacenan parte del calor recibido durante el día y lo desprenderán después de la puesta del sol al medioambiente.⁴³ (LANDSBERG, 1981, p. 84, Traducción nuestra).

Para (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE (2004, p.16) la formación de ICU ahora puede entenderse desde el punto de vista del balance de energía de una área urbana e indica que el balance de energía de la superficie representa todos los intercambios de energía.

Su fórmula está compuesta por (Ver ecuación 2):

between the underside of an individual leaf falls into this category, as does a tornado funnel cloud, and everything between.

⁴³ The heat island is a reflection of the totality of microclimatic changes brought about by man-made alterations of the urban surface. Even a single building complex will show a different microclimate than an equal piece of land in its natural state. The paved surfaces and walls will store some of the heat received in daytime and give it off after sunset to its air environment.

Ecuación 2: Balance de energía urbana

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S$$

$$Q^* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow = K^* + L^*$$

Fuente: (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE, 2004, p.16)

En donde, Q^* es la radiación neta, Q_F es el calor antropogénico, Q_H es el calor turbulento sensible, Q_E es flujos de la atmosfera y ΔQ_S calor almacenado. Los flujos de radiación, onda corta (K) y onda larga (L). LANDSBERG (1981, p. 69) indica que la unidad de medida es en $W m^{-2}$.

Según, (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE (2004, p.18) la intensidad de la isla de calor urbano, es el valor máximo entre la temperatura del área urbana y la temperatura del área rural (Ver ecuación 3).

Ecuación 3: Intensidad de la isla de calor urbano

$$\Delta T_{u-r}$$

Fuente: (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE (2004, p.15)

En donde T_u es la temperatura máxima urbana y r es la temperatura máxima rural.

El aumento de la temperatura del aire y superficie en las ciudades o el llamado efecto de isla de calor urbano (ICU), depende del tamaño de la ciudad, de la densidad y forma de las edificaciones, ya que la absorción del calor es más intensa cuando existe presencia de extensas áreas de construcción.

La ocupación de suelo en una ciudad es fundamentalmente caracterizada por una elevada densidad edificada y de pavimentación asfaltada. Esos elementos, por sí solos pueden dar origen a una elevación en la temperatura de algunos grados centígrados. Ese efecto asociado a la polución, la reducción de los espacios verdes y al calor antropogénico liberado por la industria, por vehículos, equipamientos y por actividades humanas, contribuye para el establecimiento de un campo más elevado de temperaturas, denominado isla de calor. (ROMERO, 2011, p.73)

La ausencia de zonas verdes y entubamiento de ríos en las ciudades reducen las oportunidades de transformar la energía solar a través de los procesos de fotosíntesis o evaporación del agua.

Para los estudios de islas de calor urbano la técnica de la teledetección o sensoramiento remoto es aplicada a las investigaciones del comportamiento del microclima en la ciudad, estudios como el de (BUYADI; MOHD; MISNI, 2013,

p.556) en donde indica, “Existe una fuerte correlación negativa entre la temperatura de la superficie (LST⁴⁴) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI⁴⁵), lo que indica que la vegetación ayuda a reducir la temperatura de la superficie de un área.”. (CHONG, WONG, MARCEL, JUSUF, 2013, p. 76) realiza un análisis del envolvente de los edificios de oficinas y comercio de la Ciudad de Singapur en donde concluye que “Según las observaciones, se puede ver que las ganancias de conducción y las ganancias de radiación solar dependen tanto de la morfología urbana como de los materiales de construcción⁴⁶”(Traducción nuestra), además, concluye que “Aunque un SVF⁴⁷ bajo puede reducir las temperaturas diurnas a través de la protección solar, el edificio aún puede funcionar mal si tiene baja resistencia térmica.⁴⁸” (Traducción nuestra).

Según VOOGT; OKE (2002, p. 370) la isla de calor urbano ICU es la variable que mejor define este fenómeno del clima. Se pueden distinguir dos tipos: la primera, denominada isla de calor atmosférica (ICUa) que representa las diferencias

en la temperatura del aire entre las zonas urbanas y las rurales; la segunda, denominada isla de calor superficial (ICUs), es similar al anterior, pero en este caso las diferencias se establecen entre los valores térmicos de los materiales urbanos (pavimento, aceras, tejados de los edificios etc.) y los de las superficies naturales como vegetación y cultivos.

Otro efecto de los edificios altos para (TALEB; ABU-HIJLE, 2013, p. 742) son las múltiples reflexiones horizontales de la radiación recibida, que aumentan la probabilidad de que esta energía permanezca en el suelo en lo que se conoce como efecto cañón.

Los materiales que forman la ciudad absorben la radiación solar de onda corta y la emiten posteriormente con una longitud de onda más larga, frecuencia que resulta retenida por partículas en suspensión y gases de combustión.

La cápsula de gases para (LEE; LEE, 2014, p.534) solo puede ser rota por los vientos, si en la superficie hay demasiados

⁴⁴ Siglas en ingles, LST (Land Surface Temperature).

⁴⁵ Siglas en idioma ingles NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

⁴⁶According to the observations, it can be seen that the conduction gains and the solar radiation gains depend on both urban morphology and construction materials.

⁴⁷ Siglas en idioma ingles SFV (Sky View Factor), Factor de Visión del Cielo.

⁴⁸ Although a low SVF can reduce daytime temperatures through sun protection, the building can still malfunction if it has low thermal resistance.

edificios de mucha altura el aire es obstruido y la cápsula no se rompe, sin embargo, hasta lo más natural puede provocar una cápsula de calor.

Otra de las causas que provocan el efecto de isla de calor es el albedo, para (COTANA et al., 2014, p. 641) el albedo es la capacidad de reflejar en mayor o menor medida la radiación solar. Por regla general, un color más claro absorbe menos calor que un color más oscuro. Las calles hechas de asfalto alcanzan temperaturas mayores a aquellas alcanzadas por una calle hecha de concreto relativamente nuevo.

Su efecto sobre la temperatura urbana para (COSEO; LARSEN, 2014, p. 117) puede reducir el uso de la calefacción en invierno, pero aumenta la demanda de climatización en verano. El mayor uso de la climatización incrementa la demanda energética, con sus consecuentes perjuicios ambientales y económicos.

A nivel ambiental, la mayor temperatura también contribuye a las reacciones de los gases de combustión presentes en la atmósfera. En algunos casos no solo resulta afectada la temperatura de la ciudad sino también de sus alrededores, alterando el clima regional.

RADHI; SHARPLES (2013, p. 371) exponen que la capa de límite urbano viene a ser la capa de aire de la atmósfera más próxima a la superficie, cuyas características meteorológicas locales están influidas, térmica y dinámicamente, por esa superficie; esta capa límite urbano se extiende desde las losas de los edificios hasta un nivel por debajo del cual los fenómenos locales o mesoesclálicos están gobernados por la naturaleza de la superficie urbana.

A partir del modelo (OKE, 1987, p.284) se propone lo que viene a ser el palio urbano para aquellos sectores entre los edificios que presentan toda una amalgama de microclimas por las características de los alrededores más inmediatos. El cañón urbano se emplea para designar a la principal unidad del palio urbano, que incluye el suelo, normalmente de una calle, entre dos edificios adyacentes y sus muros.

El factor de visión del cielo para (WANG; AKBARI, 2016, p.122) en el ámbito urbano alcanza valores pequeños, porque las características geométricas de las calles y de los edificios urbanos, así como los numerosos obstáculos existentes hacen que los ángulos de emisión de la radiación de onda larga nocturna a la atmósfera sean más reducidos que en el campo abierto, donde existen menos obstrucciones y por lo tanto existe

mayor superficie libre de cielo a la que pueda ser devuelta, sin ningún impedimento, la irradiación. Precisamente (FEYISA; DONS; MEILBY, 2014, p.87) este factor constituye una de las principales causas que contribuyen a la formación del fenómeno de la isla de calor urbano.

3.3. Materiales de construcción

Existen tres aspectos importantes en el uso de materiales constructivos en la ciudad, la reflectividad, la emitancia térmica y la capacidad calorífica, estos influyen en el desarrollo de las islas de calor urbano, ya que determinan cómo se refleja, emite y absorbe la energía del sol.

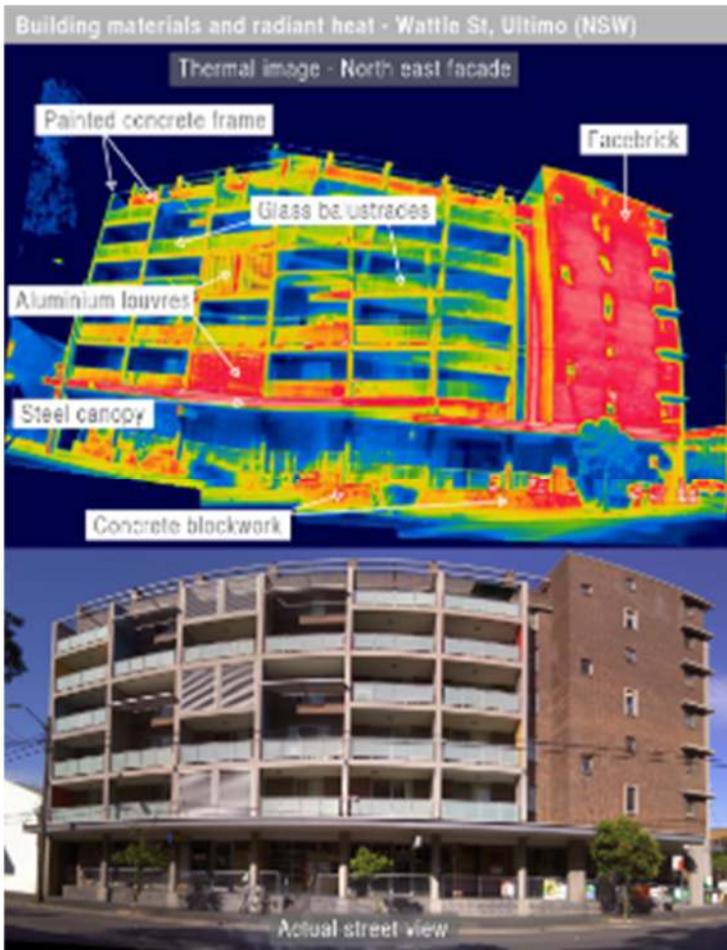
La energía solar está compuesta por rayos ultravioleta (UV), luz visible y energía infrarroja, cada uno llega a la Tierra en diferentes porcentajes: el 5% de la energía solar está en el espectro UV, incluido el tipo de rayos responsable de las quemaduras solares; el 43 % de la energía solar es luz visible, en colores que van del violeta al rojo y el restante 52 % de la energía solar es infrarroja se siente como calor. La energía en todas estas longitudes de onda contribuye a la formación de isla de calor urbano.

La reflectancia solar o albedo, es el porcentaje de energía solar reflejada por una superficie, gran parte de la energía del sol se encuentra en las longitudes de onda visibles, por lo tanto, la reflectancia solar se correlaciona con el color de un material, las superficies más oscuras tienden a tener valores de reflectancia solar más bajos que las superficies más claras, pero atrapan más calor. Las áreas urbanas suelen tener materiales de superficie, como techos y pavimentos, que tienen un albedo inferior al de los entornos rurales.

El calor absorbido aumenta la temperatura de la superficie y contribuye a la formación de la isla de calor urbano superficial y atmosférico.

Aunque la reflectancia solar es el principal determinante de la temperatura de la superficie de un material, la emitancia térmica o la emisividad también desempeña un papel. La emitancia térmica es una medida de la capacidad de una superficie para arrojar calor o emitir radiación de onda larga (infrarroja); los materiales de construcción absorben calor (Ver figura 33), los matices van desde el color azul a frío y color violeta a caliente.

Figura 33: Retención de calor de los materiales de construcción



Fuente: (THE CONVERSATION, 2010)

En igualdad de condiciones, las superficies con valores altos de emisión permanecerán más frías porque liberarán el calor más

fácilmente al contrario de aquellas que almacenan el calor, eso lo podemos observar en los materiales de construcción como el acero, piedra, concreto que tienen mayor capacidad de calor que los materiales rurales, como el suelo seco y la arena. Como resultado se observa que el centro de las ciudades puede absorber y almacenar el doble de calor en comparación con su entorno rural durante el día.

(VIANNA, 2018, p. 14) analiza 9 elementos que influyen en la isla de calor: césped, asfalto, teja oscura, copa de árbol, losa de hormigón, sombra, suelo expuesto, teja de cerámica y agua, la relación con la temperatura en la Ciudad de Brasilia, obteniendo como resultado de la investigación que a mayor porcentaje de uso de asfalto y césped es mayor la temperatura, además, cuando el suelo está expuesto la temperatura es más intensa aún; las áreas con mayor porcentaje de copa de árbol tienen una temperatura más amena.

3.4. Calor antropogénico de la ciudad

El calor antropogénico es el calor que se genera desde la ciudad “La liberación de calor antropogénico de las ciudades (QF) (Ver ecuación 4) es parte de la ecuación del balance de energía urbana

y es la suma de tres términos componentes:...” (STEWART; KENNEDY, 2015, p.1).

Ecuación 4: Ecuación de calor antropogénico

$$Q_F = Q_{Fb} + Q_{Fv} + Q_{Fm}$$

Fuente: (STEWART; KENNEDY, 2015, p.1)

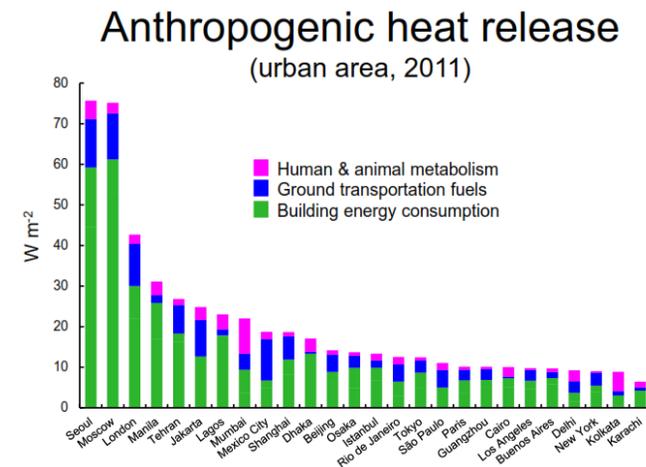
Q_{Fb} es el calor del uso de electricidad y la combustión de combustibles domésticos e industriales en edificios; Q_{Fv} es el calor de la combustión de combustible en vehículos terrestres; y Q_{Fm} es calor del metabolismo humano y animal. Las contribuciones de Q_{Fm} son menores en la mayoría de las ciudades y ascienden a menos del 10% del Q_F total.

Los autores indican que para calcular Q_{Fb} se lo hace a partir de la suma del consumo de 1) electricidad de los edificios destinados a la vivienda e industria y 2) la electricidad utilizada para iluminación, cocina, calefacción y refrigeración, etc. Q_{Fv} se calculó a partir del consumo de combustibles de transporte en automóviles, autobuses y otros vehículos terrestres. Para calcular Q_{Fm} , asumimos una ingesta calórica promedio de 3.000 kcal día

(Organización Mundial de la Salud, 2003). Esto equivale a una liberación de calor corporal de $\sim 150 \text{ W capita}^{-1}$. Para completar, también incluyen la liberación de calor de animales urbanos, que se estima que es una cuarta parte de la liberada por los humanos, o $\sim 40 \text{ W animal}^{-1}$ (Garnett y Bach, 1965; Oke, 1987)

En la investigación “*Estimating anthropogenic heat release from Megacities*⁴⁹” de los autores en mención indican los siguientes resultados (Ver figura 34).

Figura 34: Calor antropogénico de Megaciudades



Fuente: (STEWART; KENNEDY, 2015, p.3)

⁴⁹ Estimación de la liberación del calor antropogénico de las megaciudades.

Índice de área frontal (*Frontal area index*), para WONG et al. (2010, 1881) el índice de área frontal es (λ_f) y se calcula como el área total de las fachadas del edificio proyectadas hacia la dirección particular del viento (independiente del ángulo de las fachadas del edificio), dividido por el área plana que ocupa la edificación (Ver ecuación 5).

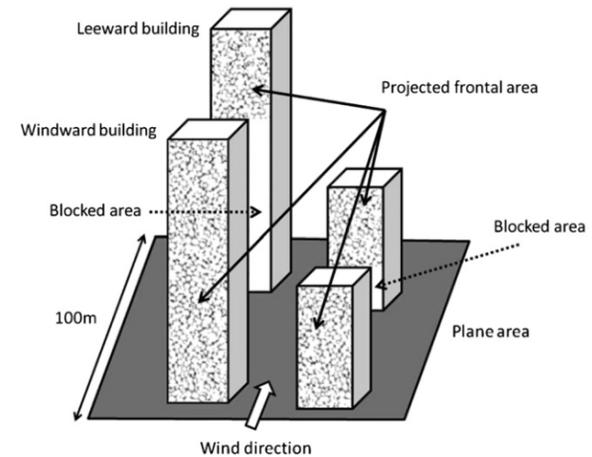
Ecuación 5: Ecuación de índice de área frontal

$$\lambda_f = A_{\text{facets}} / A_{\text{plane}}$$

Fuente: (WONG et al., 2010, p. 1881)

En donde λ_f es el índice del área frontal, A_{facets} (área de fachadas) área de fachadas proyectadas hacia el viento predominante (Ver figura 35) y A_{plane} (área plana); si λ_f es 1.0 significa que los edificios están bloqueando el trayecto del viento y si tiene alrededor de 0.5 están los edificios interfiriendo medianamente.

Figura 35: Ejemplo de cálculo de índice de área frontal



Fuente: (WONG et al., 2010, p. 1881)

3.5. Local Climate Zone (LCZ)

Esta metodología LCZ se basa en analizar la ciudad a través de prototipos, llamados *Local Climate Zone*, siendo 10 prototipos en referencia a las edificaciones (LCZ 1-10) y 7 prototipos de cobertura de superficie llamados LCZ A sucesivamente hasta LCZ G, a cada uno asigna parámetros de morfología urbana tales como:

- 1) Factor de visión del cielo
- 2) Aspecto de radio

- 3) Porcentaje de superficie de construcción
- 4) Porcentaje de superficie impermeable
- 5) Porcentaje de superficie permeable
- 6) Altura de la rugosidad de los elementos

Los parámetros de clima son:

- 1) Admitancia de la superficie
- 2) Albedo de la superficie
- 3) Calor antropogénico

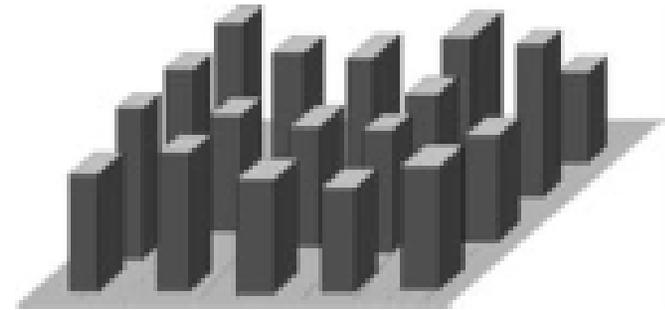
3.5.1. LCZ 1 – Compacto de gran altura (*Compact high – rise*)

De acuerdo con la teoría LCZ, se caracteriza por la densidad y gran altura de las edificaciones, el espacio entre edificaciones es reducido y tiene más de 9 pisos; la vegetación es muy escasa o no existe, la cobertura de superficie en su mayoría es de pavimento, los materiales de construcción predominantes son el concreto, acero, piedra y vidrio.

Una característica importante es el *Sky View Factor* que es de 0.2 a 0.4 el más alto de la clasificación LCZ, la rugosidad del suelo es 8

(Ver figura 36), el porcentaje de suelo impermeable es entre 40 a 60 %, el calor antropogénico es de 50 a 300 (Wm^{-2}).

Figura 36: Compact high – rise



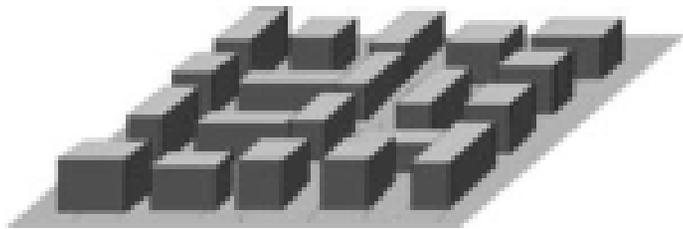
Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.2. LCZ 2 – Compacto de media altura (*Compact mid-rise*)

En este prototipo existe densidad de edificios de media altura, en un rango entre 3 y 9 pisos, el espacio entre las edificaciones es reducido, tiene baja o nula presencia de arborización, predomina en la superficie el pavimento, los materiales de construcción predominantes son piedra, ladrillo, cerámica y concreto.

En LCZ 2 el porcentaje de superficie impermeable es de 30 a 50% menor que LCZ 1, la rugosidad del suelo es de 6-7 (Ver figura 37), el calor antropogénico es menor a $75 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$.

Figura 37: Compact midrise



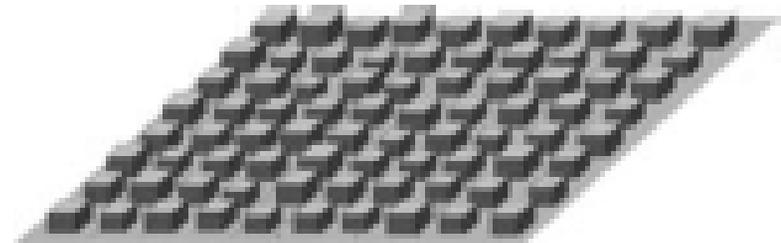
Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.3. LCZ 3- Compacto de baja altura (*Compact low-rise*)

En este prototipo existe densidad de edificios de baja altura, en un rango entre 1 y 3 pisos, el espacio entre las edificaciones es reducido, tiene baja o nula presencia de arborización, predomina en la superficie el pavimento, los materiales de construcción predominantes son piedra, ladrillo, cerámica y concreto.

LCZ 3, tiene un SFV de 0.2 a 0.6, la superficie impermeable es de 20 -50 %, la rugosidad del suelo es clasificación 6 (Ver figura 38), el calor antropogénico es menor a $75 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$.

Figura 38: Compact low - rise



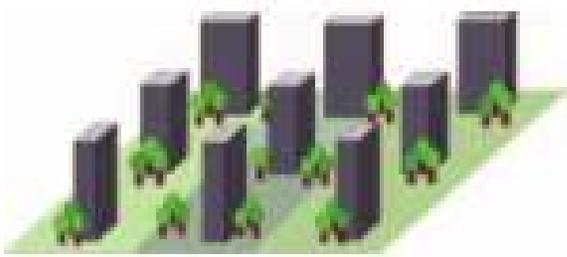
Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.4. CZ 4 - Abierto de gran altura (*Open high-rise*)

Aquí existen edificios de altos que superan los 9 pisos, los espacios entre los edificios son amplios, se caracteriza por la presencia de vegetación abundante, la presencia de pavimento es poca. El material predominante es el concreto seguido del acero, piedra y vidrio.

En LCZ 4 el porcentaje de superficie impermeable es de 30 a 40%, la rugosidad del suelo es de 7-8 (Ver figura 39), el calor antropogénico es menor a 50 (Wm^{-2}).

Figura 39: *Open high rise*



Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.5. LCZ 5 - Abierto de mediana altura (*Open mid-rise*)

Las construcciones son dispersas, los pisos de los edificios son de 3 a 9, los espacios entre los edificios son amplios, tiene abundante cobertura de vegetación. Los materiales que predominan son el concreto, acero, piedra y vidrio. Existe poca presencia de pavimento.

LCZ 5, tiene un SFV de 0.5 a 0.8, la superficie impermeable es de 30 -50 % igual a LCZ 2, la rugosidad del suelo es clasificación 5-6 (Ver figura 40), el calor antropogénico es menor a 25 (Wm^{-2}).

Figura 40: *Open mid-rise*



Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.6. LCZ 6 - Abierto de baja altura (*Open low-rise*)

Las construcciones son dispersas, los pisos de los edificios son de 1 a 3, tiene abundante cobertura de vegetación. Los materiales de construcción son de concreto, acero, piedra y vidrio. Existe poca presencia de pavimento.

En LCZ 6 el porcentaje de superficie impermeable es de 20 a 50%, la rugosidad del suelo es de 4-5 (Ver figura 41) igual a LCZ 4, el calor antropogénico es menor a 25 (Wm^{-2}).

Figura 41: *Open low-rise*



Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.7. LCZ 7 - Ligerito de baja altura (*Lightweight low-rise*)

Densa mezcla de edificios de un solo piso, el espacio entre las edificaciones es reducida, pocos o ningún árbol, cobertura del suelo casi nula, construcciones de material ligero, madera, paja, cartón corrugado, metal, plástico, etc.

En LCZ 7, se caracteriza por tener el porcentaje de superficie de construcción del 60 - 90%, el porcentaje de

superficie impermeable es de menor a 120 %, la rugosidad del suelo es de 4-5 (Ver figura 42), el calor antropogénico es menor a 35 (Wm^{-2}).

Figura 42: *Lightweight low rise*



Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.8. LCZ 8 - Alargado de baja altura (*Large low-rise*)

Los edificios son alargados de altura baja, contiene de 1 a 3 pisos, vías pavimentadas, materiales de construcción predominantes acero, concreto, metal y piedra; con poca o nula vegetación.

En LCZ 8 el porcentaje de superficie permeable es menos 20%, la rugosidad del suelo es de 5-6 (Ver figura 43) igual a LCZ 4 y LCZ 5, el calor antropogénico es menor a 50 (Wm^{-2}).

Figura 43: *Large low- rise*



Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

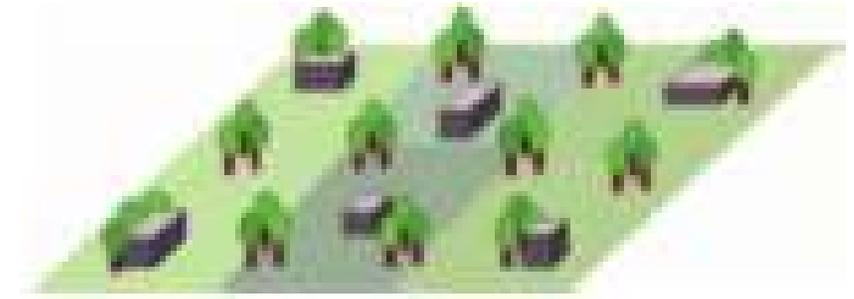
3.5.9. LCZ 9 - Construcciones dispersas (*Sparsely built*)

Disposición escasa de pequeños o medianos edificios en un entorno natural, abundancia de tierra permeable y vegetación. El pavimento en la superficie es poco.

En LCZ 9 el porcentaje de superficie impermeable es menos 20%, la rugosidad del suelo es de 5-6 (Ver figura 44) igual a LCZ

4, LCZ 5, LCZ 6 Y LCZ 7, el calor antropogénico es menor a 10 (Wm^{-2}).

Figura 44: *Sparsely build*



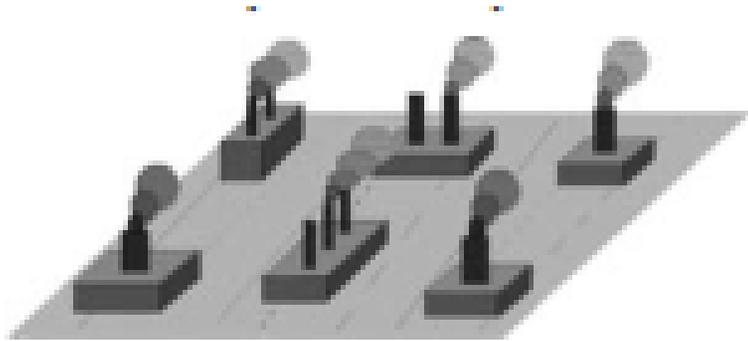
Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.10. LCZ 10 - Industria pesada (*Heavy industry*)

Estructuras industriales de baja altura y media altura (torres, tanques, pilas). Presencia de pocos o ningún árbol, la cobertura del suelo es de pavimento, los materiales de construcción utilizados son metal, acero y concreto.

En LCZ 10 el SFV es desde 0.6 a 0.9 siendo caótico, el porcentaje de superficie impermeable es de 20 -40%, la rugosidad del suelo es de 5-6 (Ver figura 45), el calor antropogénico es menor a 300 (Wm^{-2}).

Figura 45: Heavy industry



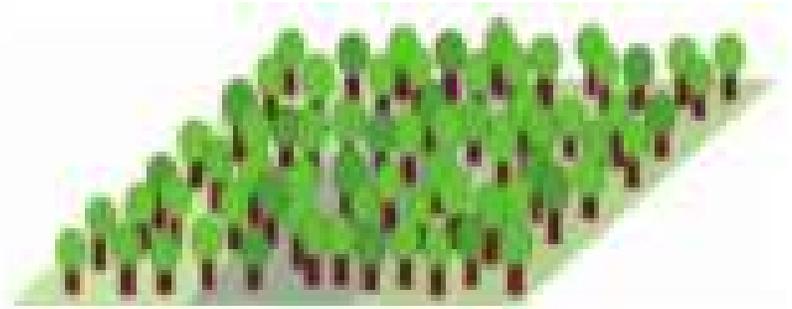
Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.11. LCZ A - Arborización densa (*Dense tree*)

Vegetación densa perenne, son áreas naturales como parques protectores, bosques, cultivos de árboles o parques urbanos, poca o nula presencia de construcciones y pavimento.

En LCZ A el SFV es menor 0.4, el porcentaje de superficie de construcción es menor a 10%, el porcentaje de superficie impermeable es menos 10%, la rugosidad del suelo es 8 (Ver figura 46), el calor antropogénico es menor a 0 (Wm^{-2}).

Figura 46: Dense tree

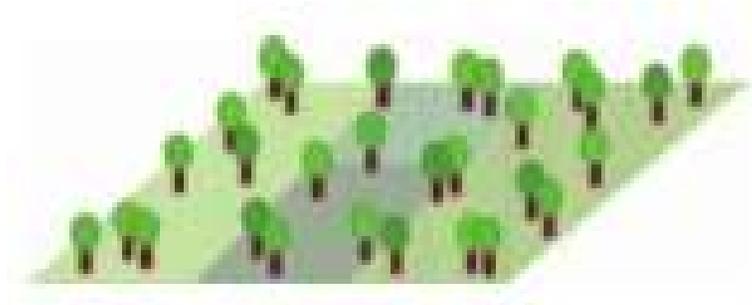


Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.12. LCZ B - Arborización dispersa (*Scattered tree*)

Paisaje ligeramente arbolado de árboles perennes, la superficie del suelo en su mayoría está cubierto de vegetación baja, son áreas naturales como parques protectores, bosques, cultivos de árboles o parques urbanos, poca o nula presencia de construcciones y pavimento.

En LCZ B el SFV es de 0.5 a 0.8, el porcentaje de superficie de construcción es menor a 10%, el porcentaje de superficie impermeable es menos 10%, la clasificación de la rugosidad del suelo es 5 - 6 (Ver figura 47), el calor antropogénico es menor a 0 (Wm^{-2}).

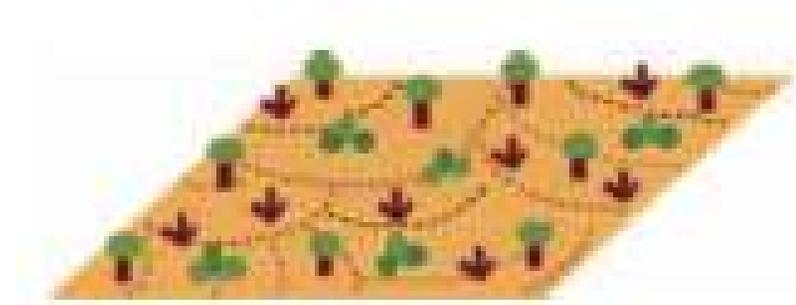
Figura 47: *Scattered tree*

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.13. LCZ C- Matorrales y arbustos (*Bush, scrub*)

Abierto de arbustos, árboles cortos y leñosos, la cobertura de superficie es suelo descubierto o arena, en su mayoría permeable. La función de esta zona es matorral natural.

En LCZ C el SFV es de 0.7 a 0.9, el porcentaje de superficie de construcción es menor a 10%, el porcentaje de superficie impermeable es menos 10%, la clasificación de la rugosidad del suelo es 4 - 5 (Ver figura 48), el calor antropogénico es menor a 0 (Wm^{-2}).

Figura 48: *Bush, scrub*

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.14. LCZ D- Vegetación baja (*Low plants*)

Vegetación baja, su función es una zona natural, destinada para cultivo, pastizales. Existe poca o nula la presencia de construcciones.

En LCZ D, SFV es mayor a 0.9 óptimo, el porcentaje de superficie de construcción es menor a 10%, el porcentaje de superficie impermeable es menos 10%, la clasificación de la rugosidad del suelo es 4-5 (Ver figura 49), el calor antropogénico es menor a 0 (Wm^{-2}).

Figura 49: *Low plants*

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.15. LCZ E- Piedra o pavimento (*Bare rock or paved*)

La superficie está cubierta de pavimento, tiene pocos o ningún árbol, poca o nula vegetación baja, no existe no tiene edificaciones.

En LCZ E el SFV es mayor a 0.9 optimo, el porcentaje de superficie de construcción es menor a 10%, el porcentaje de superficie impermeable es mayor a 90%, la clasificación de la rugosidad del suelo es 1-2 (Ver figura 50), el calor antropogénico es menor a 0 (Wm^{-2}).

Figura 50: *Bare rock or paved*

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.16. LCZ F- Suelo descubierto o arena (*Bare soil or sand*)

La cobertura de suelo es nula, suelo desnudo o arena, tiene pocos o ningún árbol o planta. La función de esta zona es desierto natural o agricultura.

En LCZ F el SFV es mayor a 0.9 optimo, el porcentaje de superficie de construcción es menor a 10%, el porcentaje de superficie impermeable es menor a 10%, la clasificación de la rugosidad del suelo es 1-2 (Ver figura 51), el calor antropogénico es menor a 0 (Wm^{-2}).

Figura 51: *Bare soil or sand*

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

3.5.17. LCZ G- Agua (*Water*)

Grandes cuerpos de agua abiertos como mares y lagos, o cuerpos pequeños como ríos, embalses y lagunas.

En LCZ G el SFV es mayor a 0.9 óptimo, el porcentaje de superficie de construcción es menor a 10%, el porcentaje de superficie impermeable es mayor a 90%, la clasificación de la rugosidad del suelo es 1 (Ver figura 52), el calor antropogénico es menor a 0 (Wm^{-2}).

⁵⁰ Este tema es tratado en el ítem 2.1.

Los autores Stewart y Oke (2012) proponen una insertar en una tabla los valores de geometría urbana y cobertura de suelo, siendo ellos los parámetros a ser medidos.

Figura 52: *Water*

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1885)

STEWART y OKE (2012, p. 1886) a través de una matrices realizan la valoración de la geometría urbana⁵⁰ y cobertura de superficie (Ver figura 53), la valoración termal, radiación y metabolismo⁵¹ (Ver figura 54) y la clasificación de la rugosidad del suelo (Ver figura 55).

⁵¹ Este tema es tratado en el ítem 3.4.

Figura 53: Valoración de geometría y cobertura de superficie

TABLE 3. Values of geometric and surface cover properties for local climate zones. All properties are unitless except height of roughness elements (m).							
Local climate zone (LCZ)	Sky view factor ^a	Aspect ratio ^b	Building surface fraction ^c	Impervious surface fraction ^d	Pervious surface fraction ^e	Height of roughness elements ^f	Terrain roughness class ^g
LCZ 1 <i>Compact high-rise</i>	0.2–0.4	> 2	40–60	40–60	< 10	> 25	8
LCZ 2 <i>Compact midrise</i>	0.3–0.6	0.75–2	40–70	30–50	< 20	10–25	6–7
LCZ 3 <i>Compact low-rise</i>	0.2–0.6	0.75–1.5	40–70	20–50	< 30	3–10	6
LCZ 4 <i>Open high-rise</i>	0.5–0.7	0.75–1.25	20–40	30–40	30–40	>25	7–8
LCZ 5 <i>Open midrise</i>	0.5–0.8	0.3–0.75	20–40	30–50	20–40	10–25	5–6
LCZ 6 <i>Open low-rise</i>	0.6–0.9	0.3–0.75	20–40	20–50	30–60	3–10	5–6
LCZ 7 <i>Lightweight low-rise</i>	0.2–0.5	1–2	60–90	< 20	<30	2–4	4–5
LCZ 8 <i>Large low-rise</i>	>0.7	0.1–0.3	30–50	40–50	<20	3–10	5
LCZ 9 <i>Sparsely built</i>	> 0.8	0.1–0.25	10–20	< 20	60–80	3–10	5–6
LCZ 10 <i>Heavy industry</i>	0.6–0.9	0.2–0.5	20–30	20–40	40–50	5–15	5–6
LCZ A <i>Dense trees</i>	<0.4	>1	<10	<10	>90	3–30	8
LCZ B <i>Scattered trees</i>	0.5–0.8	0.25–0.75	<10	<10	>90	3–15	5–6
LCZ C <i>Bush, scrub</i>	0.7–0.9	0.25–1.0	<10	<10	>90	<2	4–5
LCZ D <i>Low plants</i>	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1	3–4
LCZ E <i>Bare rock or paved</i>	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<0.25	1–2
LCZ F <i>Bare soil or sand</i>	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	< 0.25	1–2
LCZ G <i>Water</i>	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	–	1

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1886)

En la valoración de la temperatura, radiación y metabolismo, los siguientes parámetros:

Figura 54: Valoración de temperatura, radiación y metabolismo

TABLE 4. Values of thermal, radiative, and metabolic properties for local climate zones. All values are representative of the local scale.			
Local climate zone (LCZ)	Surface admittance ^a	Surface albedo ^b	Anthropogenic heat output ^c
LCZ 1 <i>Compact high-rise</i>	1,500–1,800	0.10–0.20	50–300
LCZ 2 <i>Compact midrise</i>	1,500–2,200	0.10–0.20	<75
LCZ 3 <i>Compact low-rise</i>	1,200–1,800	0.10–0.20	<75
LCZ 4 <i>Open high-rise</i>	1,400–1,800	0.12–0.25	<50
LCZ 5 <i>Open midrise</i>	1,400–2,000	0.12–0.25	<25
LCZ 6 <i>Open low-rise</i>	1,200–1,800	0.12–0.25	<25
LCZ 7 <i>Lightweight low-rise</i>	800–1,500	0.15–0.35	<35
LCZ 8 <i>Large low-rise</i>	1,200–1,800	0.15–0.25	<50
LCZ 9 <i>Sparsely built</i>	1,000–1,800	0.12–0.25	<10
LCZ 10 <i>Heavy industry</i>	1,000–2,500	0.12–0.20	>300
LCZ A <i>Dense trees</i>	unknown	0.10–0.20	0
LCZ B <i>Scattered trees</i>	1,000–1,800	0.15–0.25	0
LCZ C <i>Bush, scrub</i>	700–1,500	0.15–0.30	0
LCZ D <i>Low plants</i>	1,200–1,600	0.15–0.25	0
LCZ E <i>Bare rock or paved</i>	1,200–2,500	0.15–0.30	0
LCZ F <i>Bare soil or sand</i>	600–1,400	0.20–0.35	0
LCZ G <i>Water</i>	1,500	0.02–0.10	0

Fuente:(STEWART; OKE, 2012, p. 1887)

En la clasificación LCZ se valora la rugosidad de la superficie siendo la siguiente clasificación:

Figura 55: Valoración de rugosidad de suelo

TABLE 5. Davenport classification of effective terrain roughness. Correspondence with LCZs is given for each Davenport class.			
Davenport class	Roughness length, z_0 (m)	Landscape description	LCZ correspondence
1. Sea	0.0002	Open water, snow-covered flat plain, featureless desert, tarmac, and concrete, with a free fetch of several kilometers.	E, F, G
2. Smooth	0.005	Featureless landscape with no obstacles and little if any vegetation (e.g., marsh, snow-covered or fallow open country).	E, F
3. Open	0.03	Level country with low vegetation and isolated obstacles separated by 50 obstacle heights (e.g., grass, tundra, airport runway).	D
4. Roughly open	0.10	Low crops or plant covers; moderately open country with occasional obstacles (e.g., isolated trees, low buildings) separated by 20 obstacle heights.	7, C, D
5. Rough	0.25	High crops, or crops of varying height; scattered obstacles separated by 8 to 15 obstacle heights, depending on porosity (e.g., buildings, tree belts).	5–10, B, C
6. Very rough	0.5	Intensely cultivated landscape with large farms and forest clumps separated by 8 obstacle heights; bushland, orchards. Urban areas with low buildings interspaced by 3 to 7 building heights; no high trees.	2, 3, 5, 6, 9, 10, B
7. Skimming	1.0	Landscape covered with large, similar-height obstacles, separated by 1 obstacle height (e.g., mature forests). Dense urban areas without significant building-height variation.	2, 4
8. Chaotic	≥ 2	Landscape with irregularly distributed large obstacles (e.g., dense urban areas with mix of low and high-rise buildings, large forest with many clearings).	1, 4, A

Source: Davenport et al. (2000)

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1890)

Los autores proponen una ficha de información de las LCZ (Ver figura 56), sin embargo, para llegar a obtener los datos de temperatura se requiere de métodos de investigación para alcanzar este objetivo.

Figura 56: Matriz de datos de LCZ

APPENDIX: SAMPLE DATASHEETS FOR LOCAL CLIMATE ZONES.		
LCZ KEY	ZONE NAME	#
ZONE DEFINITION		
<p>Form: Description of building geometry, construction materials, land cover, tree density, and human activity. Function: Land uses most likely associated with this zone. Location: Expected location of the zone (core, periphery; city, countryside). Correspondence: Comparable zones in the urban classification systems of Oke (2004) and Ellefsen (1990/91).</p>		
ZONE ILLUSTRATION		
<p>Objects</p> <ul style="list-style-type: none"> Buildings heavy materials Dwellings lightweight materials Trees/plants <p>Land cover</p> <ul style="list-style-type: none"> Low plants Rock or paved Soil or sand Water 	<p>High-angle photographs (© I.D. Stewart, Can Stock Photo Inc.)</p>  <p>Low-level photographs (© I.D. Stewart, Can Stock Photo Inc.)</p> 	
ZONE PROPERTIES		
<p>Sky view factor ψ_{sky} 0 – 1</p> <p>Aspect ratio H/W 0 – 3'</p> <p>Mean building/tree height z_{31} 0 – 50' m</p> <p>Terrain roughness class 1 – 8</p> <p>Building surface fraction λ_b 0 – 100 %</p> <p>Impervious surface fraction λ_i 0 – 100 %</p> <p>Pervious surface fraction λ_v 0 – 100 %</p> <p>Surface admittance μ 500 – 2,500' J m⁻² s⁻¹ K⁻¹</p> <p>Albedo α 0.02 – 0.5</p> <p>Anthropogenic heat flux Q_F 0 – 400' W m⁻²</p>	<p>Fraction of sky hemisphere visible from ground level. Varies with height and spacing of buildings and trees. Affects surface radiational heating/cooling.</p> <p>Mean height-to-width ratio of street canyons (LCZs 1–7), building spacing (LCZs 8–10), and tree spacing (LCZs A–G). Affects surface airflow and radiational heating/cooling.</p> <p>Geometric average of building heights (LCZs 1–10) and tree/plant heights (LCZs A–F). Affects surface reflectivity, flow regimes, and heat dispersion above ground.</p> <p>Davenport <i>et al.</i> (2000) classification of effective terrain roughness (z_0) for city and country landscapes. Affects surface reflectivity, flow regimes, and heat dispersion above ground. See Table 5 for class descriptions.</p> <p>Proportion of ground surface with building cover. Affects surface reflectivity, flow regimes, and heat dispersion above ground.</p> <p>Proportion of ground surface with impervious cover (paved or rock). Affects surface reflectivity, moisture availability, and heating/cooling potential.</p> <p>Proportion of ground surface with pervious cover (bare soil, vegetation, water). Affects surface reflectivity, moisture availability, and heating/cooling potential.</p> <p>Ability of surface to accept or release heat at local scale. Affects surface heat storage and heating/cooling rates. Varies with soil wetness and material density. In dense tree canopies (LCZ A), the "surface" is undefined and admittance is unknown.</p> <p>Surface reflectivity at local scale and under a clear midday sky. Affects surface radiational heating potential. Varies with surface color, wetness, and roughness.</p> <p>Mean annual anthropogenic heat flux density at local scale. Heat sources include vehicle engines, industrial/domestic combustion processes, space cooling/heating, and human metabolism. Varies significantly with latitude, season, and population density.</p>	

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1897)

3.6. Consideraciones finales del capítulo

El clima urbano está relacionado con la geometría urbana como se mencionó en el capítulo II, en este capítulo III, se hace énfasis en las escalas microclimáticas en donde es importante identificarlas para realizar el estudio de clima urbano, la microescala es la adecuada para estudios de microclima, los conceptos de isla de calor es importante esclarecerlos, la isla de calor como dice INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE (2004) son flujos de calor y pueden ser medidos desde el balance de energía urbana; los efectos de la isla de calor urbano es la variación de la temperatura del aire y temperatura de superficie, recordando que el fenómeno de la ICU es por la modificación del medio ambiente con la inserción de la urbanización y por la generación de actividades antropogénicas.

La teoría propuesta por Stewart & Oke (2012), sugiere que se realice la clasificación Local Climate Zone (LCZ) para conocer como influye la geometría urbana en el clima urbano, la clasificación permite tener una aproximación a la geometría urbana y se logra identificar los posibles problemas existentes por carencia de vegetación y arborización, por presencia de pavimento y construcciones en la ciudad.

CAPITULO IV

4. Sistema de información geográfica - QGIS

En la actualidad el geoprocesamiento⁵² en los GIS⁵³ para la planificación urbana y análisis de clima urbano es una herramienta indispensable por el manejo de gran cantidad de datos.

Además, es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

El uso de los SIG en los estudios urbanos permite el manejo de la información de grandes cantidades de datos y como resultado

entrega mapas ráster que es de lectura rápida para conocer la información.

4.1. Complemento UMEP

UMEP (*Urban Multi-scale Environmental Predictor*), una herramienta de servicio climático basada en la ciudad, combina modelos y herramientas esenciales para las simulaciones climáticas. Las aplicaciones se presentan para ilustrar el potencial de UMEP en la identificación de olas de calor y olas de frío; el impacto de la infraestructura verde en la escorrentía; los efectos de los edificios sobre el estrés térmico humano; producción de energía solar; y el impacto de las actividades humanas en las emisiones de calor. UMEP tiene una amplia utilidad para aplicaciones relacionadas con el confort térmico exterior, el viento, el consumo de energía urbana y la mitigación del cambio climático. Incluye herramientas para permitir a los usuarios ingresar datos atmosféricos y de superficie de múltiples fuentes, caracterizar el entorno urbano, preparar datos meteorológicos para su uso en ciudades, emprender

⁵² Es la ejecución metódica de una secuencia de operaciones en los datos geográficos para crear nueva información. Los dos propósitos fundamentales que persigue son ayudar a realizar el modelado y análisis, además, de automatizar las tareas SIG.

⁵³ GIS en siglas inglesas significa Geographic Information System, siendo su traducción en español SIG (Sistema de Información Geográfica).

simulaciones y considerar escenarios y comparar y visualizar diferentes combinaciones de indicadores climáticos. UMEP, una herramienta de código abierto está diseñada para actualizarse fácilmente a medida que se desarrollan nuevos datos y herramientas, y para que sean accesibles a los investigadores, tomadores de decisiones y profesionales.

Un ejemplo de geoprocésamiento con UMEP (Ver figura 57), se visualiza a la izquierda una imagen aérea de una ciudad en donde a simple vista son áreas verdes y edificaciones; la imagen derecha es una imagen en donde ya se encuentra identificada la cobertura de suelo, se distingue claramente la diferencia entre vegetación y concreto.

Figura 57: Imágenes procesadas con UMEP



Fuente:(LINDBERG et al., 2018, p.9)

4.2. Imagen satelital Landsat 8

Según (ONDA, 2018) Landsat 8 es el octavo satélite del Programa Landsat, una colaboración entre la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Es el programa de imágenes de la Tierra más largo en la historia.

El satélite lleva dos sensores que producen imágenes de media resolución desde los 15 a los 100 metros de la superficie terrestre y las regiones polares.

El Landsat 8 produce más de 700 imágenes al día, lo que aumenta la probabilidad de capturar escenas sin nubes para la cobertura estacional de la masa terrestre global, procesa 11 bandas espectrales (Ver tabla 8).

Tabla 8: Bandas espectrales Landsat 8

Banda	Longitud de	Resolución
Banda 1 - Aerosol Costero	0.43 - 0.45	30
Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
Banda 5 - Rojo - Infrarrojo cercano	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15

Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Banda 10 – Infrarrojo Térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Banda 11 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Fuente: (MAPPING GIS, 2012)

4.3. Teledetección aplicada para la clasificación de *Local Climate Zone*

La teledetección es un método que permite encontrar información de objetos y fenómenos en la superficie a través de la radiación electromagnética⁵⁴, la misma que es captada por un satélite, quien interpreta a través de un espectro electromagnético y lo transforma a imagen, la misma está conformada por bandas, en el caso de las imágenes satelitales Landsat 8⁵⁵, está conformada por 11 bandas espectrales.

Para este paso en la investigación se utilizan las bandas espectrales 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10 y 11.

En el método de la teledetección la combinación de bandas es lo que permite obtener información de espacio y tiempo.

⁵⁴ Radiación electromagnética, es una forma de energía que se propaga mediante ondas que se desplazan por el espacio a la velocidad de la luz (300000 km/s) transportando cantidades discretas de energía. Estas ondas se caracterizan por tener longitudes mayores de un metro. El conjunto de todas

El medio más efectivo por el cual los datos multiespectrales se pueden representar para formular algoritmos para el análisis cuantitativo es trazarlos en un espacio de patrón, o espacio vectorial multiespectral, con tantas dimensiones como componentes espectrales. En este espacio, cada píxel de una imagen se traza como un punto con coordenadas dadas por el valor de brillo del píxel en cada componente. (RICHARDS; JIA, 2006, p.75, Traducción nuestra)

La teledetección es una técnica en la cual se utilizan algoritmos para obtener información de objetos, fenómenos que se encuentran en la superficie terrestre, para ello se usan métodos según lo requerido.

4.4. Clasificación supervisada

La clasificación supervisada con paralelepípedos requiere de muestras o áreas de entrenamiento (polígonos) y de una imagen satelital, además, de un tamaño en el píxel el cual será el prototipo. En teledetección la clasificación supervisada es caracterizada de la siguiente manera:

las longitudes de onda se denomina espectro magnético. (UNIVERSIDAD DE MURCIA, 2000b)

⁵⁵ Imagen satelital Landsat 8, son obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) y constan de 11 bandas espectrales. (Ariza, 2013, pag. 9)

Para la Ciudad de Quito existen 248 imágenes desde el 18 de abril del 2013 hasta el 15 de septiembre del 2019; después de ello se realiza un filtro de búsqueda con nubosidad menor al 10%, sin embargo, el objetivo es encontrar imágenes satelitales con 0% de nubosidad para obtener datos certeros.

Calculo de la clasificación supervisada

En la técnica de sensoramiento remoto se usa la ecuación (Ver ecuación 6) para la clasificación supervisada:

Ecuación 6: Algoritmo aplicado en la Clasificación Supervisada

$$p(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{m})' \Sigma^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{m})\right\}$$

Fuente: (RICHARDS; JIA, 2006, p.80)

En donde,

X = es un vector localizado en N dimensión del espacio del pixel.

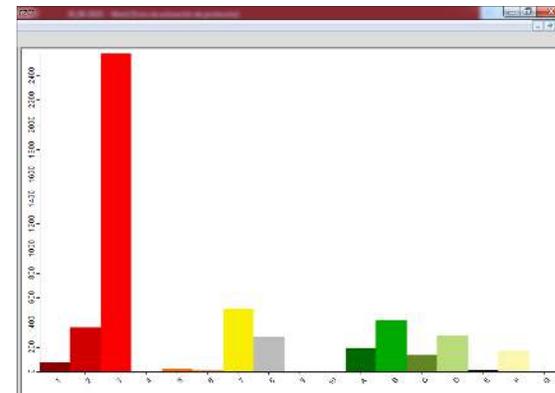
m= es la media de la posición de la clase espectral.

$\Sigma=$ es la matriz de covarianza de la distribución, que describe su propagación direccional en el espacio de píxeles.

Como resultado de la aplicación de la clasificación supervisada se obtiene un ráster en el cual cada celda corresponde a una clasificación LCZ. Una vez realizada la clasificación supervisada se procede a corroborar los resultados con una ortofoto a una escala de 5.000, los errores son corregidos.

La clasificación supervisada en SAGA GIS nos entrega información de la cantidad y áreas de las LCZ a través de histogramas y tablas (Ver figura 58 y 59), esta información es procesada para obtener porcentajes de la presencia de cada LZC en la ciudad y conocer cual prototipo es el predominante.

Figura 58: Histograma de LCZ con SAGA GIS



Fuente: (CIMMERY, 2010)

Figura 59: Información de área y cantidad de LCZ con SAGA GIS

	CLASS	AREA	COUNT	CUMUL	NAME	MIN	CENTER	MAX
1	1	3080000	77	77	1	1	1	1
2	2	14440000	361	438	2	2	2	2
3	3	102880000	2572	3010	3	3	3	3
4	4	320000	8	3018	4	4	4	4
5	5	880000	22	3040	5	5	5	5
6	6	600000	15	3055	6	6	6	6
7	7	20280000	507	3562	7	7	7	7
8	8	11280000	282	3844	8	8	8	8
9	9	80000	2	3846	9	9	9	9
10	10	40000	1	3847	10	10	10	10
11	11	7800000	195	4042	A	101	101	101
12	12	16680000	417	4459	B	102	102	102
13	13	5400000	135	4594	C	103	103	103
14	14	11880000	297	4891	D	104	104	104
15	15	640000	16	4907	E	105	105	105
16	16	6680000	167	5074	F	106	106	106
17	17	0	0	5074	G	107	107	107

Fuente: (CIMMERY, 2010)

4.5. Teledetección para temperatura de superficie

Según (VOOGT; OKE, 2002, p.370) la teledetección térmica se ha utilizado sobre áreas urbanas para evaluar la isla de calor urbano...”, además, en su estudio de sensoramiento remoto aplicado al clima urbano indica que “para realizar clasificaciones de cobertura del suelo y como entrada para modelos de intercambio de atmósfera de superficie urbana.”

A través de QGIS y la calculadora ráster aplicamos las siguientes ecuaciones para obtener la temperatura de la superficie en grados centígrados, cabe indicar que la combinación de las bandas es lo que proporciona dicha información.

Según USGS en el artículo *Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data*, indica los pasos a seguir para la obtención de LST (*Land Surface Temperature*).

Según (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.2) se requiere del cálculo de 6 ecuaciones que deben ser realizadas en secuencia para obtener LST.

- 1) Cálculo de TOA (*Top of Atmospheric*) radiancia espectral (Ver ecuación 7).

Ecuación 7: Cálculo de TOA

$$L\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L - O_i,$$

Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.2)

En donde:

M_L = factor de escalamiento multiplicativo específico de banda (valor disponible en el archivo de metadatos MTL, en la línea RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de banda).

Q_{cal} = Banda 10

A_L = factor de escalamiento aditivo específico de la banda (valor disponible en el archivo de metadatos MTL, en la línea RADIANCE_MULT_BAND_x, en

En donde x es el número de banda.

O_i = es la corrección de la banda 10.

Siendo: TOA = 0.0003342 * “Band 10” + 0.1

- 2) Conversión de TOA a *Brightness Temperature* (Temperatura de brillo) (Ver ecuación 8).

Ecuación 8: Cálculo de Temperatura de brillo

$$BT = \frac{K_2}{\ln [(K_1/L\lambda) + 1]} - 273.15,$$

Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.2)

En donde:

K_1 y K_2 = constantes de conversión térmica específicas de la banda a partir de los metadatos.

L = TOA

Siendo: BT = (1321.0789 / Ln ((774.8853 / “TOA”) + 1)) – 273.15

- 3) Cálculo de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Ver ecuación 9).

Ecuación 9: Calculo de NDVI

$$NDVI = \frac{NIR(\text{band 5}) - R(\text{band 4})}{NIR(\text{band 5}) + R(\text{band 4})},$$

Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.3)

En donde:

NIR band 5 = corresponde a banda 5 de Landsat 8.

R band 4 = corresponde a banda 4 Landsat 8.

- 4) Cálculo de la proporción de vegetación P_v , (Ver ecuación 10).

Ecuación 10: Cálculo de proporción de vegetación

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2.$$

Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.3)

En donde:

NDVI= Índice de vegetación de normalización diferenciada.

5) Cálculo de la Emisividad ϵ , (Ver ecuación 11).

Ecuación 11: Cálculo de Emisividad

$$\epsilon_{\lambda} = \epsilon_{v\lambda} P_v + \epsilon_{s\lambda} (1 - P_v) + C_{\lambda},$$

Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.3)

Siendo:

$$\epsilon = 0.004 * P_v + 0.986$$

6) Cálculo de la temperatura de superficie de la tierra o LST
(Ver ecuación 12).

Ecuación 12: Cálculo de Temperatura de superficie de superficie

$$T_s = \frac{BT}{\{1 + [(\lambda BT / \rho) \ln \epsilon_{\lambda}]\}},$$

Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.3)

Siendo:

⁵⁶ Urban development usually leads to a reduction of evaporation primarily due to sealing the surface by built features and the removal of vegetation,

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * \ln (\epsilon)))$$

NDVI – Índice de vegetación de Diferencia Normalizada, es un índice de vegetación que estima la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, calculada a través de la técnica de la teledetección. Para ello se aplica la ecuación (Ver ecuación 13) de NDVI.

Ecuación 13: Calculo de NDVI

$$NDVI = \frac{NIR(\text{band } 5) - R(\text{band } 4)}{NIR(\text{band } 5) + R(\text{band } 4)},$$

Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.3)

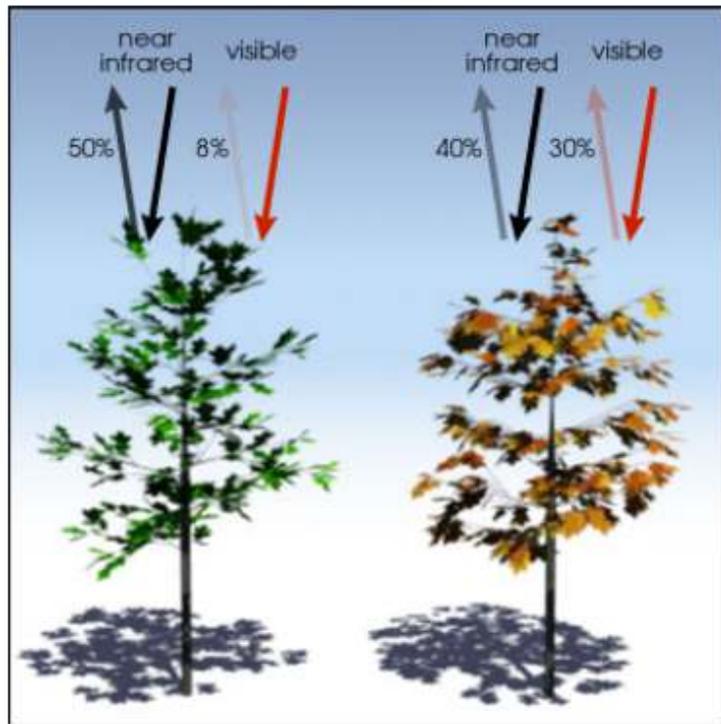
El NDVI es un factor que influye en la formación de la isla calor,

El desarrollo urbano generalmente conduce a una reducción de la evaporación principalmente debido al sellado de la superficie por las características construidas y la eliminación de la vegetación, aunque en algunas regiones naturalmente secas es posible que se produzca un aumento si se importa agua de otro lugar y se usa para regar la vegetación urbana⁵⁶. (OKE, 2006, p.34, Traducción nuestra)

although in some naturally dry regions it is possible that an increase will occur if water is imported from elsewhere and used to irrigate urban vegetation.

Según (NASSA, 2017, p.42) los valores varían entre -1,0 a 1.0 , los valores negativos hasta 0 significa que no hay hojas verdes, los valores de 0 a 1 indica la mayor densidad posible de hojas verdes (Ver figura 60).

Figura 60: Densidad de hojas verdes y de hojas secas

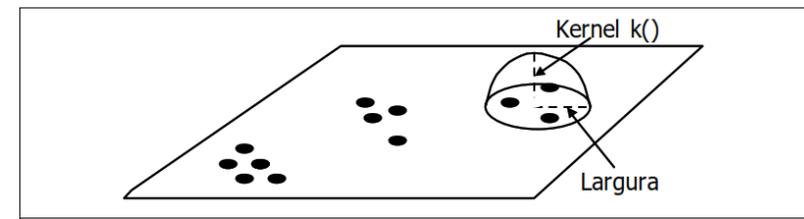


Fuente: (NASSA, 2017, p. 42)

4.6. Geoestadística - Densidad de Kernel

El método de Kernel o llamado también estimación de densidad según Druck (2004), es “Una alternativa simple para analizar el comportamiento de patrones de puntos y estimar la intensidad puntual de procesos en toda la región de estudio”. Este método crea un mapa ráster de una capa de puntos de entrada. Los puntos que se encuentran mayormente concentrados en una ubicación generan un valor mayor a diferencia de los que se encuentran dispersos (Ver figura 61).

Figura 61: Estimador de intensidad de distribución de puntos



Fuente: (DRUCK et al., 2004, p. 31)

Como se menciona anteriormente cada celda de la malla tiene valores que corresponde a una clasificación LCZ; a cada una de estas celdas se les asigna un punto medio y un radio para que puedan ser geoprocesadas con el método de Kernel (Ver ecuación 14) y alcanzar un mapa de calor.

Siendo la ecuación:

Ecuación 14: Método de Kernel, estimación de densidad

$$\hat{\lambda}_{\tau}(u) = \frac{1}{\tau^2} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{d(u_i, u)}{\tau}\right), \quad d(u_i, u) \leq \tau$$

Fuente: Fuente: (DRUCK et al., 2004, p. 31)

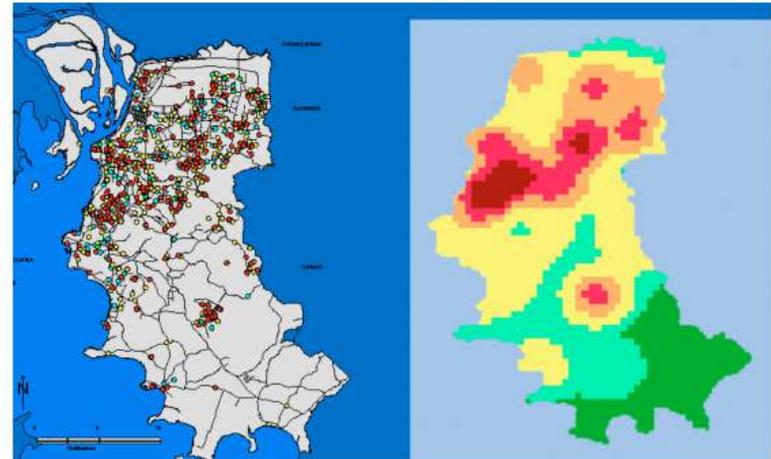
En donde el radio de influencia ($\tau \geq 0$) que define la cercanía de los puntos a ser interpolados y suaviza el conjunto de datos de la superficie. El radio de influencia define el área centrada en el punto de estimación, si es pequeño genera una superficie discontinua y si es muy grande podría ser demasiado suave la superficie. Para este estudio es de 400 metros el radio porque si son dos pixeles con las mismas características su dimensión es de 400 metros.

La superficie interpolada muestra un padrón de distribución de puntos con una fuerte concentración en el centro.

Ejemplo de interpolación con el método de interpolación de Kernel con GIS (Ver figura 62), en el estudio Distribución de

casos de mortalidad por causas externas en Porto Alegre en 1996 y estimador de intensidad.

Figura 62: Densidad de casos de mortalidad en Porto Alegre 1996.



Fuente: (DRUCK et al., 2004, p.5)

En este ejemplo se observa claramente en donde se encuentran concentrados los casos de mortalidad, estos mapas son de fácil interpretación de la presencia del fenómeno, además, identifica geográficamente el área en donde ocurre dicho fenómeno.

Realizado en mapa densidad de Kernel de los prototipos LCZ, se selecciona la celda más representativa de cada tipología para ser analizada su morfología urbana y clima.

Para esta investigación se identifica el prototipo más representativo de cada LZC, el cual será analizado su morfología urbana y climática. Los prototipos más representativos son analizados basados en la dimensión de 200 x 200 metros siendo un área de 40.000 m², en ellos se calcula materiales de recubrimiento de superficie y morfológicos.

4.7. UMEP (Urban Multi-scale Environmental Predictor)

UMEP tiene un preprocesador *LCZ converter*⁵⁷ que clasifica el área de estudio con las características geométricas en un ráster, para ello se debe conocer previamente los elementos que conforman la geometría urbana (Ver tabla 9 y 10).

⁵⁷ Convertir (Traducción nuestra).

⁵⁸ Pavimento (Traducción nuestra).

⁵⁹ Edificaciones (Traducción nuestra).

⁶⁰ Césped (Traducción nuestra).

⁶¹ De hoja caducada (Traducción nuestra).

⁶² Árboles de hoja perenne (Traducción nuestra).

⁶³ Suelo desnudo (Traducción nuestra).

⁶⁴ Agua (Traducción nuestra).

Tabla 9: Materiales de cobertura de superficie en LZC

Elementos de análisis	m ²
<i>Paved</i> ⁵⁸ (-)	
<i>Building</i> ⁵⁹ (-)	
<i>Grass</i> ⁶⁰ (-)	
<i>Deciduous</i> ⁶¹ (-)	
<i>Evergreen trees</i> ⁶² (-)	
<i>Bare soil</i> ⁶³ (-)	
<i>Water</i> ⁶⁴ (-)	

Fuente: Elaborado por la autora en base a (UMEP, 2016)

Tabla 10: Análisis de morfología urbana en LCZ

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i> ⁶⁵	
<i>Mean vegetation height</i> ⁶⁶	
<i>Frontal area index buildings</i> ⁶⁷	
<i>Frontal area index vegetation</i> ⁶⁸	
<i>Building height standard dev.</i> ⁶⁹	
<i>Vegetation height standard dev.</i> ⁷⁰	
<i>Maximum building height</i> ⁷¹	
<i>Maximum vegetation height</i> ⁷²	

Fuente: Elaborado por la autora en base a (UMEP, 2016)

⁶⁵ Altura media de las edificaciones (Traducción nuestra).

⁶⁶ Altura media de la vegetación (Traducción nuestra).

⁶⁷ Índice del área frontal de las edificaciones (Traducción nuestra).

⁶⁸ Índice del área frontal de la vegetación (Traducción nuestra).

⁶⁹ Desviación estándar de la altura de los edificios (Traducción nuestra).

⁷⁰ Desviación estándar de la altura de la vegetación (Traducción nuestra).

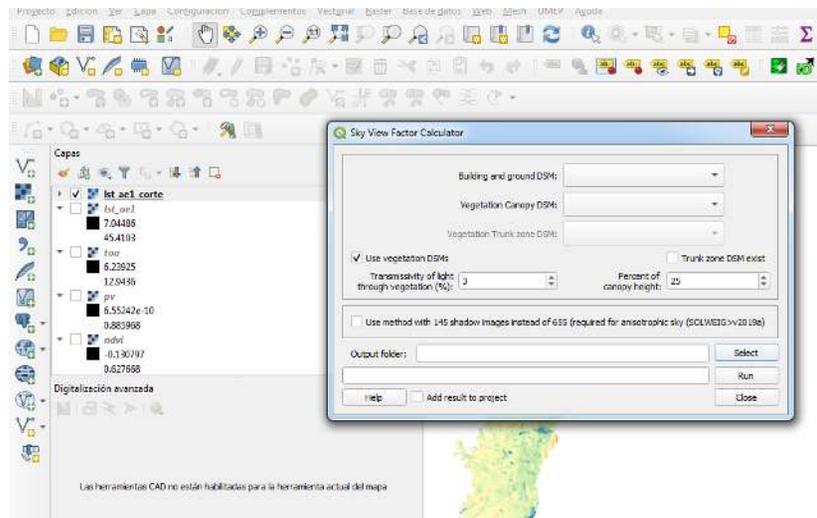
⁷¹ Altura máxima de las edificaciones (Traducción nuestra).

⁷² Altura máxima de la vegetación (Traducción nuestra).

Para la obtención de *Sky View Factor*, se utiliza el complemento UMEP, el cual requiere de un DSM de la superficie con edificios y un DSM de la capa de vegetación.

Como resultado UMEP exporta un ráster el cual cada uno de los píxeles equivale a un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico. Se observa el *plugin* UMEP y preprocesador de *Sky View Factor* (Ver figura 63) como se insertan los datos.

Figura 63: UMEP - SKY VIEW FACTOR



Fuente:(UMEP, 2018)

El DSM del suelo con edificaciones se lo realiza con UMEP en el procesador *DSM generator*⁷³ con el software QGIS, utilizando la calculadora ráster, se suma la imagen satelital DTM del área de estudio más el polígono de edificaciones convertido a ráster (Ver ecuación15).

Ecuación 15: DSM de superficie con edificaciones

$$\text{DSM} = \text{DTM de LCZ} + \text{Ráster de edificaciones}$$

Fuente: (UMEP, 2016)

En donde:

DTM = Modelo digital de terreno de *Local Climate Zone* o área de estudio.

Ráster de edificaciones = Polígonos de edificaciones convertidos a ráster.

Toda esta información es insertada en una tabla (Ver figura 64) que sugiere la metodología de (STEWART; OKE, 2012, p.

⁷³ Generador de modelo digital de superficie (Traducción nuestra).

1886), para posteriormente realizar una correlación de variables entre cada una de las LZC.

métodos de estimación de cambio espacio-temporales, entre otros.

Figura 64: Matriz de geometría y cobertura de superficie

TABLE 3. Values of geometric and surface cover properties for local climate zones. All properties are unitless except height of roughness elements (m).							
Local climate zone (LCZ)	Sky view factor ^a	Aspect ratio ^a	Building surface fraction ^a	Impervious surface fraction ^a	Pervious surface fraction ^a	Height of roughness elements ^a	Terrain roughness class ^a
LCZ 1 <i>Compact high-rise</i>	0.2–0.4	> 2	40–60	40–60	< 10	> 25	8

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, p. 1886)

4.8. Consideraciones finales del capítulo

El manejo de grandes cantidades de datos para el análisis urbano y clima hace que la herramienta SIG sea la adecuada para ello; además, con la técnica de la teledetección permite realizar la valoración termal de la ciudad, para esta investigación se aplica para obtener información de NDVI, Temperatura de superficie, albedo y con el SIG permite calcular el calor antropogénico.

En la actualidad el uso de la geoestadística en los estudios urbanos permite que realizar análisis exploratorio de datos, estimaciones con variables, análisis de comportamiento de datos,

FASE II



METODOLOGÍA



CAPITULO V

5. Procedimientos metodológicos

Al aplicar la teoría de *Local Climate Zone* de Stewart y Oke (2012), se plantea el uso de las técnicas de análisis de teledetección y geoestadística a través del SIG (Sistema de información georeferenciada) y complementos de geoprocésamiento, siendo esto una contribución en los estudios de ciudad y cambio microclimático.

El procedimiento metodológico tiene la estructura de los tres ejes de investigación.

5.1. Procedimiento metodológico de eje 1, Ciudad de Quito

El análisis de población se basa en los censos estadísticos de INEC y en la evolución de la mancha urbana, para conocer la relación urbanización y crecimiento poblacional.

Para conocer como ha sido modificada la superficie en la ciudad, se realiza, a través de la técnica de teledetección el cálculo de NDVI, como se indica en el ítem 4.5, literal 3.

5.2. Procedimiento metodológico de eje 2, forma urbana y LCZ

Para realizar la clasificación de LCZ en las ciudades, WUDAPT sugiere utilizar las técnicas de teledetección y SIG, es por ello que se revisan conceptos y métodos para ser aplicados en la presente investigación.

La teledetección usamos en el análisis de morfología urbana para la clasificación supervisada, factor de visión al cielo (SFV), *aspect ratio* y el SIG para fracción de superficie de construcción, fracción de superficie impermeable y permeable, altura de la rugosidad de elementos y clasificación de la rugosidad del suelo y volumetrías.

Para el análisis de los resultados se usa la técnica geoestadística, la cual es usada a través de GRASS con el software QGIS para la validación de resultados.

5.2.1. Análisis cuantitativo por reconocimiento de patrones

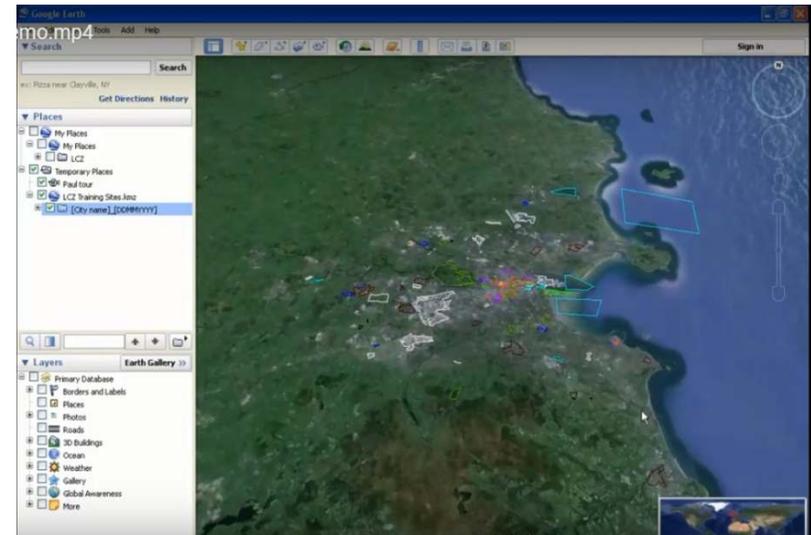
La clasificación de LCZ está conformada por 10 prototipos de morfología urbana y 7 de cobertura de superficie, para la clasificación a cada uno de los prototipos se asigna una geometría específica.

La teledetección para el análisis cuantitativo según (RICHARDS; JIA, 2006, p.77) tiene tres formas de clasificación: a) vectores de píxeles y etiquetado, b) clasificación no supervisada y c) clasificación supervisada, para esta investigación se usa la clasificación supervisada porque se basa en áreas de entrenamiento.

5.2.2. Áreas de entrenamiento

Según (RICHARDS; JIA, 2006, p. 78) existe una variedad de clasificaciones supervisadas, este método se basa en técnicas geométricas que identifica las superficies de acuerdo con diferentes clases según las muestras o áreas de entrenamiento (Ver figura 65).

Figura 65: Áreas de entrenamiento con *Google earth*



Fuente: Video (UMEP, 2016)

Las áreas de entrenamiento son elaboradas a través de la herramienta computacional *Google earth* pro, con ella se identifica muestras de cada una de las 17 *Local Climate Zone* (LCZ) de la Ciudad de Quito, este paso en la metodología de *Local Climate Zone* se denomina **training areas** (áreas de entrenamiento), consiste en buscar en la imagen satelital de *Google earth* del área de estudio, áreas que posean características similares a los 17 prototipos y dibujar en ellas polígonos regulares sobre la identificación de los mismos, estas serán las áreas de entrenamiento, además, en cada prototipo debe

existir homogeneidad entre las áreas de entrenamiento en cada LCZ.

Cabe indicar que WUDAPT tiene realizado un archivo de la organización de cada una de las LCZ para incluir en *Google earth* las áreas de entrenamiento dibujadas identificando cada uno de los prototipos de LCZ.

Este proceso es determinante en la investigación porque desde aquí parte lo que a futuro será la clasificación de LCZ de la Ciudad de Quito – Ecuador.

Una vez obtenidas las áreas de entrenamiento de LCZ, el archivo es convertido a una imagen KMZ, para ser geoprocesada en SAGA GIS.

5.2.3. Definición del tamaño de los prototipos LCZ

Según (STEWART; OKE, 2012, p. 1889) indica que cada LCZ debe tener un diámetro mínimo a 400 -1000 m. o un radio de 200 a 500 m.; en el caso de esta investigación se define de acuerdo al

tamaño más predominante de las manzanas y considerando que abarque todos los elementos de análisis de una LCZ.

El tamaño de los prototipos será el tamaño del pixel cuando se realice el *resampling*⁷⁴ para continuar con la clasificación supervisada, es decir, cada pixel representa un prototipo LCZ en el ráster.

5.2.4. Selección de imagen satelital

Otro insumo muy importante para la clasificación supervisada es la elección de la imagen satelital, para esta investigación a través del portal earthexplorer.usfg.gov se realiza la descarga de una imagen satelital Landsat 8 con nubosidad 0%, para disminuir los errores al momento de realizar la clasificación supervisada.

En la imagen satelital elegida se debe aplicar un *resampling* en el tamaño del pixel, el cual es la dimensión definida para el tamaño de los prototipos.

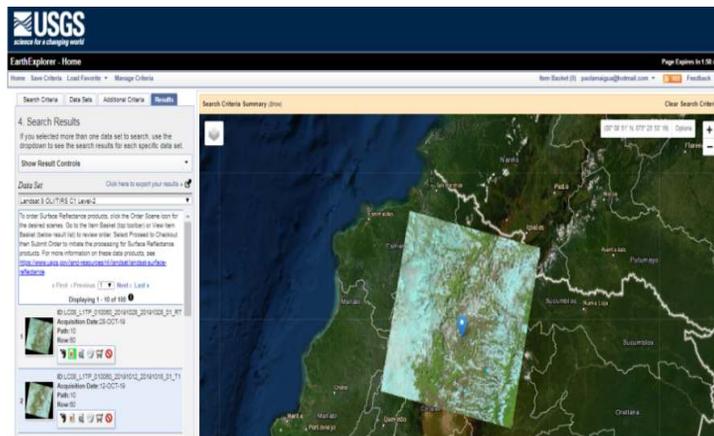
La nubosidad debe ser verificada en cada imagen satelital con el perfil del área de estudio, debido a que muchas veces la imagen

⁷⁴ Remuestreo (Traducción nuestra).

satelital indica presencia de nubosidad, pero no está presente sobre el área de estudio y esa imagen puede ser utilizada.

La fecha de búsqueda de una imagen satelital Landsat 8 que tenga 0% de nubosidad sobre el área de estudio (Ver figura 66) inicia en septiembre 2018 hasta septiembre 2019.

Figura 66: Imagen satelital Landsat 8



Fuente: (USGS, 2018a)

5.2.5. Clasificación supervisada - LCZ

Una vez definido los tres pasos previos:

- Áreas de entrenamiento
- Definición del tamaño de los prototipos
- Imagen satelital Landsat 8 con nubosidad 0%

Estos insumos son insertados en el software SAGA GIS para aplicar la clasificación; este software tiene un complemento específico para la clasificación LCZ que se encuentra en: *Geoprocessing⁷⁵ – Imagery⁷⁶ – Classification⁷⁷ - Local Climate Zone Classification⁷⁸*, (Ver figura 67 y 68).

Se inserta la imagen satelital la cual es el referente para la clasificación supervisada⁷⁹, las áreas de entrenamiento⁸⁰, con estos procedimientos obtenemos un mapa ráster de LCZ, en donde cada pixel es equivalente a un prototipo.

⁷⁵ Geoprociamiento (Traducción nuestra).

⁷⁶ Imágenes (Traducción nuestra).

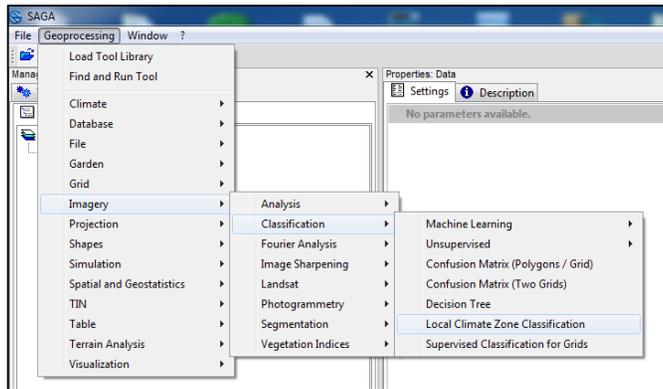
⁷⁷ Clasificación (Traducción nuestra).

⁷⁸ Clasificación de zonas climáticas locales (Traducción nuestra).

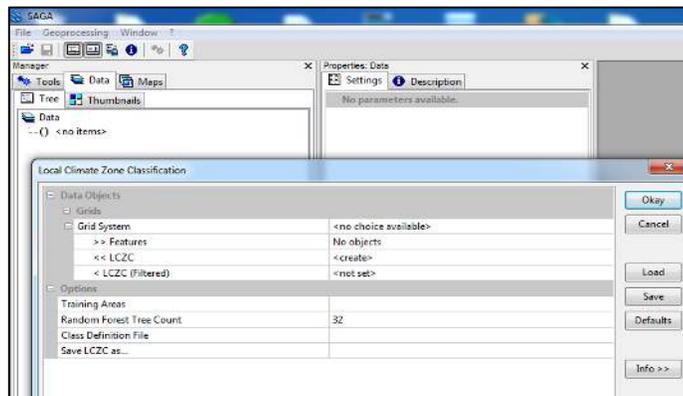
⁷⁹ Este tema es tratado en el ítem 4.4.

⁸⁰ Este tema es tratado en el ítem 5.3.

Figura 67: SAGA GIS, complemento LCZ



Fuente: En base a (CIMMERY, 2010, p.257)

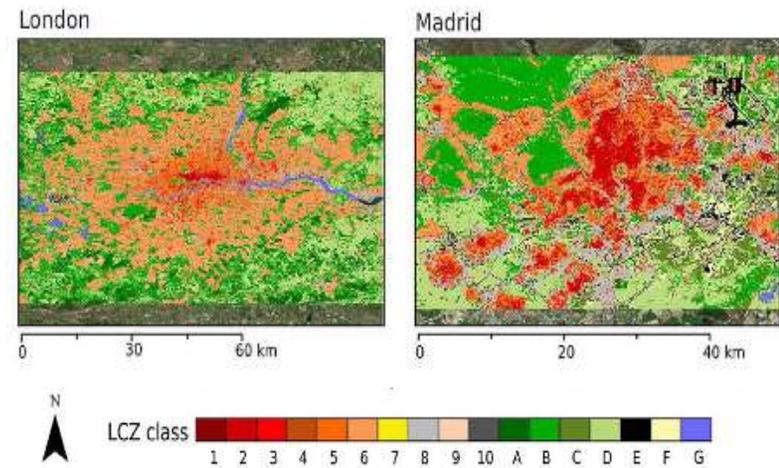
Figura 68: Complemento *Local Climate Zone Classification*

Fuente: En base a (CIMMERY, 2010, p.257)

La clasificación en SAGA GIS permite obtener un mapa de *Local Climate Zone*, además, los porcentajes de presencia de cada uno de los prototipos.

En la figura 69, se observa mapas ráster de LCZ de las ciudades de Londres y Madrid; en la Ciudad de Londres predomina el prototipo LCZ 6 y en la Ciudad de Madrid el prototipo LCZ 2.

Figura 69: Mapa LCZ de las Ciudades de Londres y Madrid

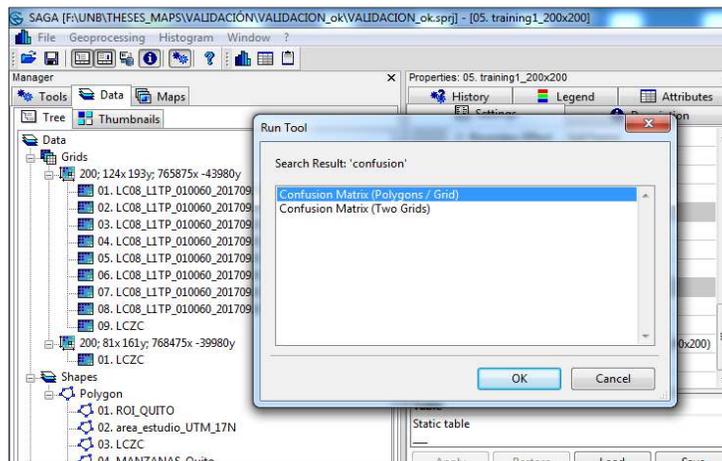


Fuente: (DEMUZERE; BECHTEL; MIDDEL; MILLS, 2019, p. 20)

5.2.6. Validación de la clasificación LCZ

La matriz de confusión es elaborada con el software SAGA GIS (Ver figura 70), para ello se requiere de un *shapefile*⁸¹ (SHP) de las áreas de entrenamiento, estas áreas son convertidas en polígonos de 200 x 200 metros.

Figura 70: Matriz de confusión a través de SAGA GIS



Fuente: En base a (CIMMERY, 2010, p.257, p.204)

Otro insumo es el ráster de la clasificación LCZ, estos datos son geoprocesados en SAGA GIS a través del complemento *Matrix polygon/grid (matriz de polígono/malla)*.

Los resultados son tres matrices, la primera es la matriz de confusión, la segunda la clasificación y la tercera contiene el *overall accuracy* (precisión general) y *kappa coefficient* (índice de concordancia).

Matriz de confusión, “La matriz de errores es la forma más común de expresar la precisión de las clasificaciones de imágenes de teledetección, como la cobertura del suelo.⁸²” (COMBER *et al.*, 2012, p. 237, Traducción nuestra)

Overall Accuracy⁸³, “Al finalizar un ejercicio de clasificación, es necesario evaluar la precisión de los resultados obtenidos. Esto permitirá un cierto grado de confianza en los resultados y

⁸¹ Formato de archive informático propietario de datos espaciales.

⁸² The error matrix is the most common way of expressing the accuracy of remote sensing image classifications, such as land cover.

⁸³ Precisión general (Traducción nuestra).

servirá para indicar si se han alcanzado los objetivos del análisis.⁸⁴” (RICHARDS; JIA, 2006, p. 303, Traducción nuestra)

Kappa coefficient, “.... coeficiente kappa como medida de precisión del mapa⁸⁵. (RICHARDS; JIA, 2006, p. 304, Traducción nuestra).

Figura 71: Matriz de confusión del mapa LCZ de Sendai, Japón

CLASS	Reference maps														Sum pixel User	User Accurate		
	LCZ 1	LCZ 2	LCZ 3	LCZ 4	LCZ 5	LCZ 6	LCZ 8	LCZ 9	LCZ 10	LCZ A	LCZ B	LCZ C	LCZ D	LCZ E			LCZ F	LCZ G
LCZ1	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	88.9%
LCZ2	4	44	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	89.8%
LCZ3	0	0	28	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	80.0%
LCZ4	0	2	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	92.0%
LCZ5	0	0	0	0	24	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	25	96.0%
LCZ6	0	0	5	0	0	21	4	1	0	0	0	0	2	0	1	0	34	61.8%
LCZ8	0	0	0	0	3	0	66	1	3	0	0	0	0	11	1	0	85	77.6%
LCZ9	0	0	0	0	1	0	0	24	1	0	0	0	0	0	0	0	26	92.3%
LCZ10	0	0	0	0	0	0	1	0	125	0	0	0	0	0	0	0	126	99.2%
LCZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	80	100.0%
LCZB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	3	0	0	0	0	33	90.9%
LCZC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	100.0%
LCZD	0	0	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	55	0	1	0	62	88.7%
LCZE	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	24	0	0	31	77.4%
LCZF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	29	100.0%
LCZG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255	255	100.0%
Unclass	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SumPixel	20	48	33	23	30	25	82	31	129	80	30	33	57	35	32	255	943	
Output Accurate	80.0%	91.7%	84.8%	100%	80.0%	84.0%	80.5%	77.4%	96.9%	100%	100%	90.9%	96.5%	68.6%	90.6%	100%		
Overall Accuracy	0.9268																	
Kappa Coefficient	0.9166																	

Fuente: (ZHOU; OKAZE; REN; CAI; KASAI; ISHIDA, MOCHIDA, 2018, p.4)

Un ejemplo de validación del mapa LCZ de Sendai, Japón (Ver figura 71), en este caso el *overall accuracy* es de 0.9268 y *kappa coefficient* es 0.9166.

5.2.7. LCZ representativos

Para analizar la geometría, cobertura de superficie y valores de temperatura, identificamos en cada LCZ el patrón más representativo en su tipología, para ello a través de la geoestadística se aplica el método de densidad de estimación de núcleo de Kernel para tomar 17 muestras representativas de cada LCZ.

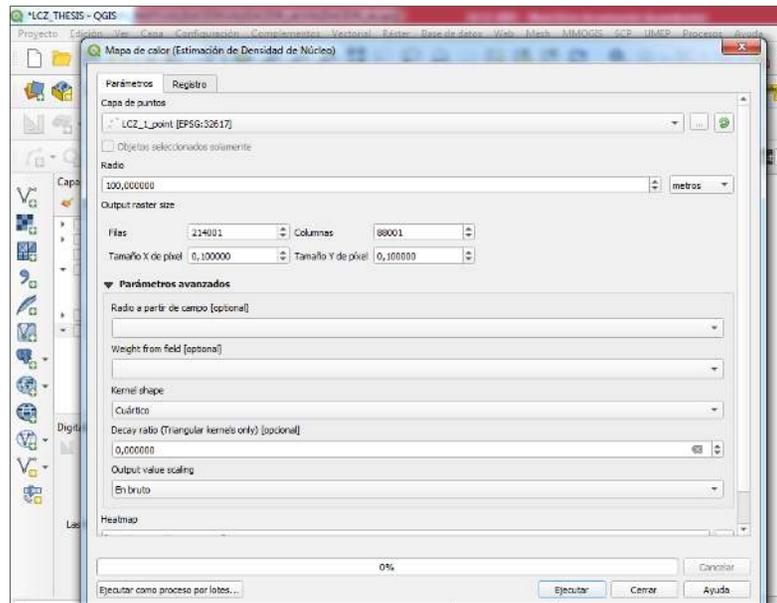
Para aplicar el método (Ver figura 72), el mapa de LCZ que es un ráster es convertido puntos los mismos que mantienen la información del ráster. Estos puntos son la base para la aplicación del método de densidad de Kernel.

⁸⁴ At the completion of a classification exercise it is necessary to assess the accuracy of the results obtained. This will allow a degree of confidence to be

attached to the results and will serve to indicate whether the analysis objectives have been achieved.

⁸⁵ to use the kappa coefficient as a measure of map accuracy.

Figura 72: Aplicación de Estimación de Densidad de Kernel



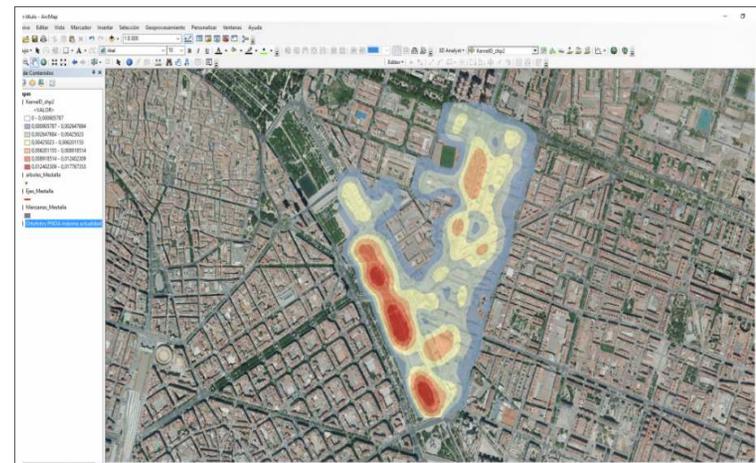
Fuente:(QGIS PROJECT, 2020, p.185)

Un factor importante en este método es el radio, el cual será de la dimensión de los prototipos de igual manera el pixel es del tamaño de los prototipos.

Una vez aplicado el método de densidad de Kernel se obtiene un mapa que indica con un color intenso (Ver figura 73) en donde se encuentra la mayor concentración de datos y en color menos intenso indica que se encuentran dispersos los datos. En

donde se encuentre el color más intenso será el prototipo más representativo, el cual será escogido para el análisis, este método aplicamos en los 17 LCZ de la Ciudad de Quito.

Figura 73: Mapa de densidad de Kernel



Fuente: (ZONE GIS, 2017)

Realizando una aproximación en el área más colorida (Ver figura 74) se obtiene el prototipo a ser analizado, en él se identifica en color rojo intenso.

Para definir la altura de las edificaciones, WUDAPT sugiere que cada piso sea multiplicado por 3 metros, esto será acogido en la investigación.

El Municipio de Quito, entregó la información de número de pisos, área de construcción y materiales de construcción de las edificaciones, con esta información se realiza el mapa de volumetría de cada LCZ; con ello se obtiene la altura media, índice del área frontal, desviación estándar de la altura y altura máxima, estos datos serán recolectados en la tabla análisis de edificaciones (Tabla 11).

Tabla 11: Cálculo del índice del área frontal

INDICE DEL ÁREA FRONTAL			
LCZ 1 Edificaciones	Edificaciones Área (m2) A	Altura (Número de pisos x 3m.) B	Longitud de fachada por la altura (3m.) A x B
1			
2			
3			
4			
x			

Fuente: Elaborado por la autora

5.2.9. Factor de visión del cielo -SFV

A través del software QGIS con el complemento UMEP (figura 75) se elabora *Sky View Factor* para cada LCZ; se requiere de *Building and ground DSM* (DSM de construcciones y suelo), *Vegetation Canopy DSM* (límite de la capa de vegetación en DSM), el porcentaje de transmisibilidad y el porcentaje de la altura de la capa.

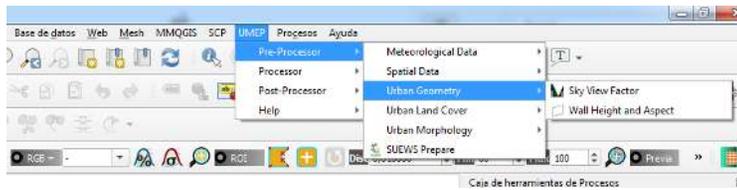
El *Building and ground DSM* (DSM de construcciones y suelo) es elaborado con la información georeferenciada entregada por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

El *Vegetation Canopy DSM* (límite de la capa de vegetación en DSM), es un trabajo in situ en las LCZ más representativas, que consiste en medir la vegetación existente y dibujarla para convertirla en DSM, se recolecta los datos en la tabla *Canopy Vegetation*⁸⁷ (Tabla 15).

Estos datos deben ser insertados para obtener un mapa *Sky View Factor* (SFV) de cada LCZ (Ver figura 76 y 77).

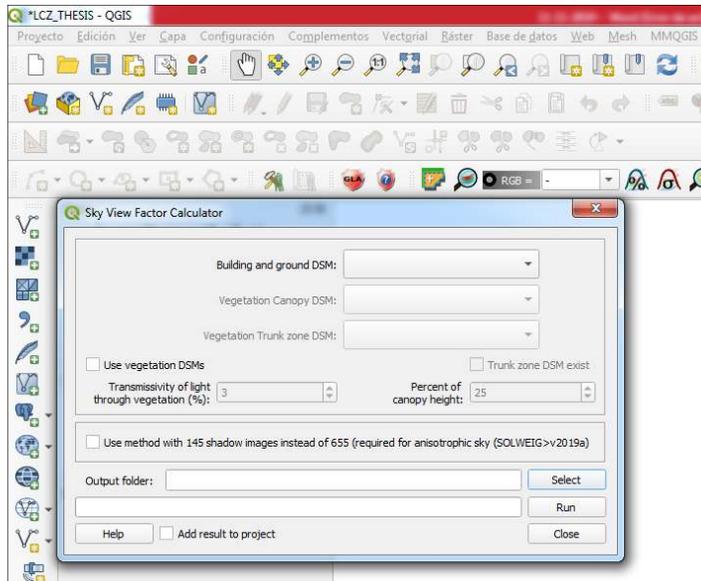
⁸⁷ Capa dosel de vegetación (Traducción nuestra).

Figura 76: Complemento UMEP em Qgis



Fuente: (UMEP, 2018)

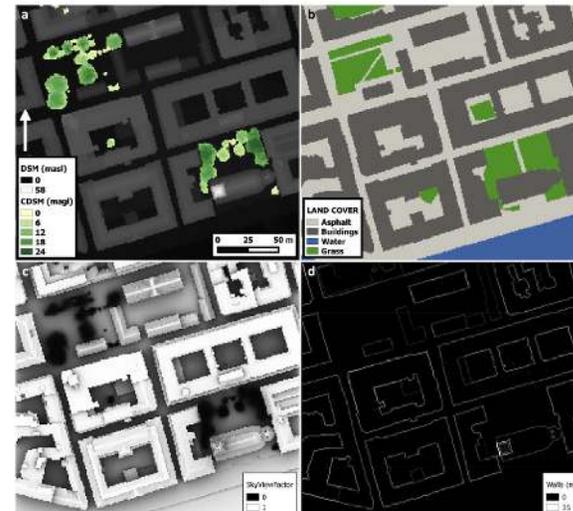
Figura 77: Sky View Factor Calculator



Fuente: (UMEP, 2018)

En un ejemplo de geoprocésamiento realizado con UMEP (Ver figura 78) se observa el mapa ráster de *DSM*, *Land cover*, *SFV* y *wall aspect*.

Figura 78: DSM, land cover, Sky View Factor y altura de pared



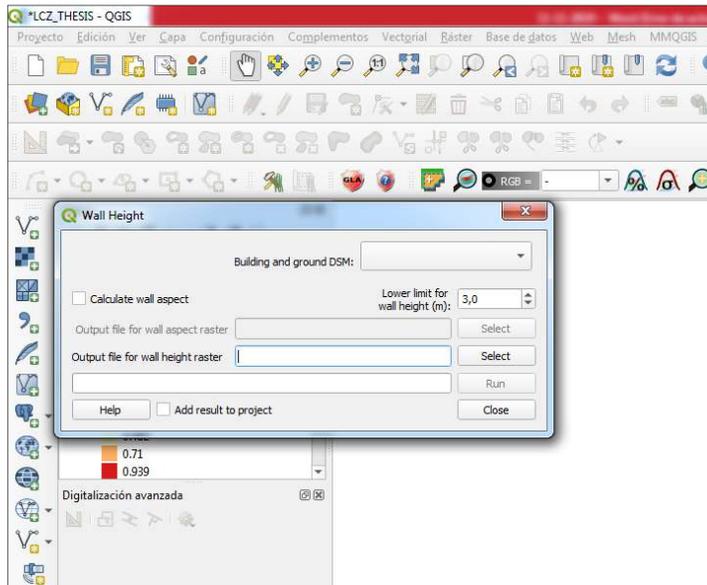
Fuente: Lindberg et al (2018, pag. 70)

5.2.10. Aspect ratio

A través del software QGIS con el complemento UMEP (figura 79) se elabora *Aspect ratio* (ángulo de visión) para cada LCZ; se

requiere de *Building and ground DSM* (DSM de construcciones y suelo) y la altura de la pared más baja.

Figura 79: Altura y visión de la pared



Fuente: Software SAGA GIS

5.2.11. Recolección de datos geometría urbana

Esta información es recolectada en la tabla Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie (Tabla 12, 13,14 y 15).

Tabla 12: Materiales de cobertura de superficie

Elementos de análisis	m2	%
<i>Paved (-)</i>		
<i>Building (-)</i>		
<i>Grass (-)</i>		
<i>Deciduous (-)</i>		
<i>Evergreen trees (-)</i>		
<i>Bare soil (-)</i>		
<i>Water (-)</i>		

Fuente: Elaborado por la autora en base a (UMEP, 2018)

Tabla 13: Análisis de edificaciones

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	
<i>Mean vegetation height</i>	
<i>Frontal area index buildings</i>	
<i>Frontal area index vegetation</i>	
<i>Building height standard dev.</i>	
<i>Vegetation height standard dev.</i>	
<i>Maximum building height</i>	
<i>Maximum vegetation height</i>	

Fuente: Elaborado por la autora en base a (UMEP, 2018)

Tabla 14: Valoración de geometría urbana y cobertura de superficie

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-1							

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, 1886)

Tabla 15: *Canopy Vegetation*

Tipo de árbol	Altura	Copa altura	Copa ancho	Tronco	Transmisibilidad	% de canopy
xx						

Fuente: (STEWART; OKE, 2012, 1886)

5.3. Procedimiento metodológico de eje 3, clima urbano - microclima

Siendo esta la segunda parte de la metodología, el primer paso es elegir en la plataforma earthexplorer.usgs.com la mejor imagen satelital de la cual se extrae la temperatura superficial.

Según información del Instituto Ecuatoriano Espacial y USGS⁸⁸ (2013), indica que el satélite Landsat 8 cruza por Ecuador a las 10h00, siendo este un parámetro importante en la investigación del clima urbano.

⁸⁸ USGS, U.S. Geological Survey. (USGS, 2018a)

⁸⁹ Algoritmo para el mapeo automatizado de la temperatura de la superficie terrestre utilizando datos satélites LANDSAT 8. (Traducción nuestra).

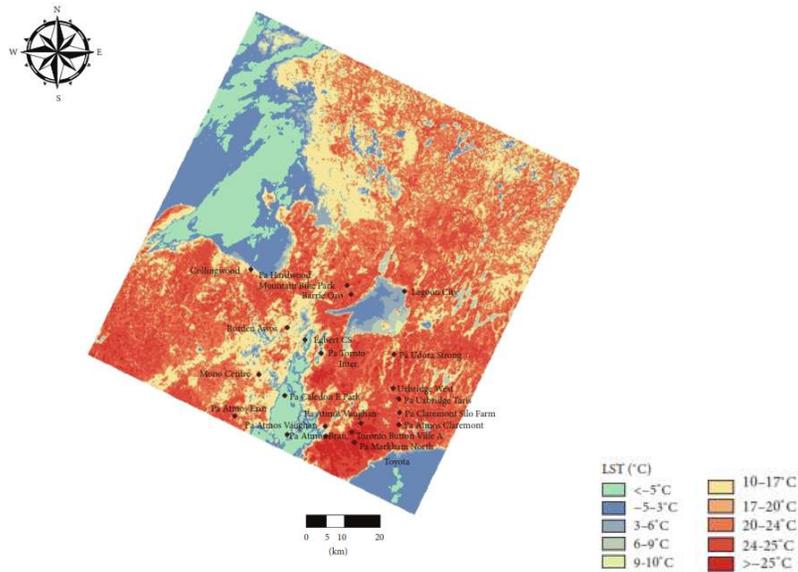
5.3.1. Teledetección para temperatura de superficie

A través de QGIS y la calculadora ráster aplicamos las ecuaciones que fueron revisadas en el capítulo III, para obtener la temperatura de la superficie en grados centígrados, la combinación de las bandas es lo que proporciona dicha información.

Según USGS en el artículo *Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data*⁸⁹, indica los pasos a seguir para la obtención de LST (*Land Surface Temperature*)⁹⁰ este procedimiento será aplicado en las imágenes satelitales escogidas, al terminar el procedimiento obtenemos un mapa ráster (Ver figura 80).

⁹⁰ Temperatura de la superficie terrestre. (Traducción nuestra).

Figura 80: Ejemplo de mapa de temperatura de superficie



Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p. 5)

5.3.2. Medición de la temperatura del aire

La medición de la temperatura del aire se lo realiza con 10 estaciones meteorológicas, llamadas: Estación meteorológica WIFI PRO - VENTUS (Ver figura 81) tiene sensores de temperatura externa, humedad relativa, radiación solar, rayos ultravioletas, precipitación, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, rocío del agua.

La precisión de medición de la temperatura del aire externo es de $\pm 1^\circ\text{C}$.

La recolección de los datos es automática, los datos de la estación meteorológica son enviados a una consola, la misma que a través de wifi envía la información a la plataforma de *weather underground* la misma que puede ser visualizada desde un teléfono móvil por medio de la APP WS View.

Figura 81: Equipo de medición (estación meteorológica)

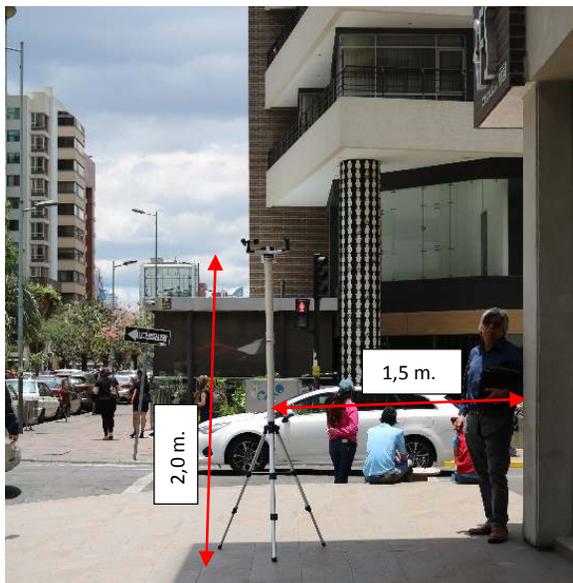


Fuente: (ASTROMET, 2014)

Para este paso es importante la ubicación de la estación meteorológica y data loguer (Ver figura 82).

Los mapas de densidad de Kernel de cada LCZ nos entregan la información de las áreas más representativas de cada LCZ dentro de estas áreas se ubica la estación meteorológica cerca al edificio más alto, a una distancia horizontal de 1,5 metros y vertical de 2 metros.

Figura 82: Ubicación de estación meteorológica



Fuente: La autora

La estación meteorológica como mínimo debe poseer sensores de temperatura del aire, humedad, radiación solar de onda corta, presión atmosférica, precipitación y viento.

Las lecturas son tomadas a las 10h00, hora de la captura de las imágenes satelitales Landsat 8, los datos son tomados a 2 metros sobre el suelo en las LZC más caóticas, es decir, LZC 1, LCZ 3, LCZ 5, LCZ 6 y LCZ 8, la recolecta de datos es de manera simultánea en las LCZ escogidas.

5.3.3. Recolección de datos de temperatura de la superficie

Esta información es recolectada en la matriz Temperatura de superficie (Tabla 16).

Tabla 16: Temperatura de superficie

LCZ	Temperatura de superficie C°
LCZ-1	
LCZ-2	
LCZ-3	
LCZ-4	
LCZ-5	

LCZ-6	
LCZ-7	
LCZ-8	
LCZ-9	
LCZ-10	
LCZ-A	
LCZ-B	
LCZ-C	
LCZ-D	
LCZ-E	
LCZ-F	
LCZ-G	

Fuente: Elaborado por la autora en base a (STEWART; OKE, 2012, 1887)

5.3.4. Recolección de datos de temperatura del aire

Esta información es recolectada en la tabla Temperatura del aire 2m. (Tabla 17), para ser geoprocesada a través del método de interpolación IDW (*Inverse Distance Weighted*⁹¹) en el software QGIS.

⁹¹ Distancia Inversa Ponderada. (Traducción nuestra).

⁹² r.covar genera una matriz de covarianza / correlación para las capas de mapa ráster especificadas por el usuario. La salida es una matriz de

Tabla 17: Temperatura del aire, 2m.

Ubicación de estaciones meteorológicas	Temperatura del aire C° Altura 2m
LCZ-1	
LCZ-2	
LCZ-3	
LCZ-5	
LCZ-7	
LCZ-8	
LCZ-B	
LCZ-D	
LCZ-E	
LCZ-F	

Fuente: Elaborado por la autora

5.4. Correlación de datos y resultados

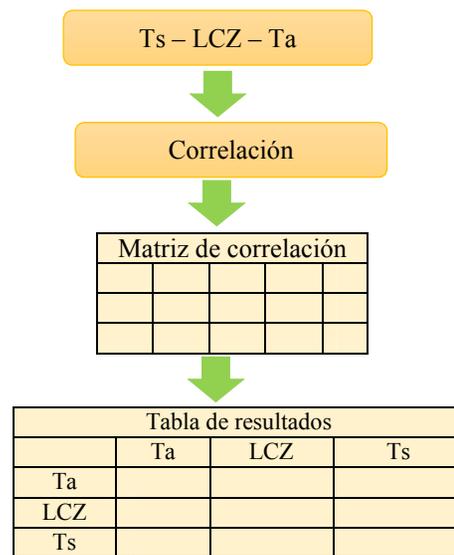
La correlación se realiza con el software QGIS a través del complemento r.covar⁹², el cual mide la covarianza entre la temperatura de superficie, temperatura del aire y LCZ.

En el complemento r.covar se ingresan los tres mapas ráster de las tres variables, *Local Climate Zone* (LZC) temperatura de superficie (Ts) y temperatura del aire (Ta). El

covarianza simétrica (correlación) N x N, donde N es el número de capas de mapa ráster especificadas en la línea de comando.

complemento r.covar aplica una matriz de correlación N x N y entrega como resultado una matriz (Ver figura 83) en donde entrega valores comprendidos entre -1 a 0 a 1.

Figura 83: Esquema de correlación aplicado con SAGA GIS



Fuente: La autora

5.5. Consideraciones finales del capítulo

En esta investigación para la clasificación de LCZ se usa la clasificación supervisada a través de SAGA GIS, estos

resultados son validados a través de una matriz de confusión elaborada en SAGA GIS.

Para obtener la temperatura superficial se usa la técnica de la teledetección, para la temperatura del aire se recolecta los datos in situ, los cuales son interpolados para obtener un mapa de temperatura del aire a 2 metros y extraer la información de LCZ 4, 6, 9, 10, A, C y G.

La obtención de los tres mapas ráster de las tres variables, son tres capas que permite iniciar con la correlación de datos para conocer cómo influye la geometría urbana en la temperatura del aire que tiene la ciudad y como se aportan una a la otra.

FASE III



ANÁLISIS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES



CAPÍTULO VI

6. Aplicación de la metodología en la investigación

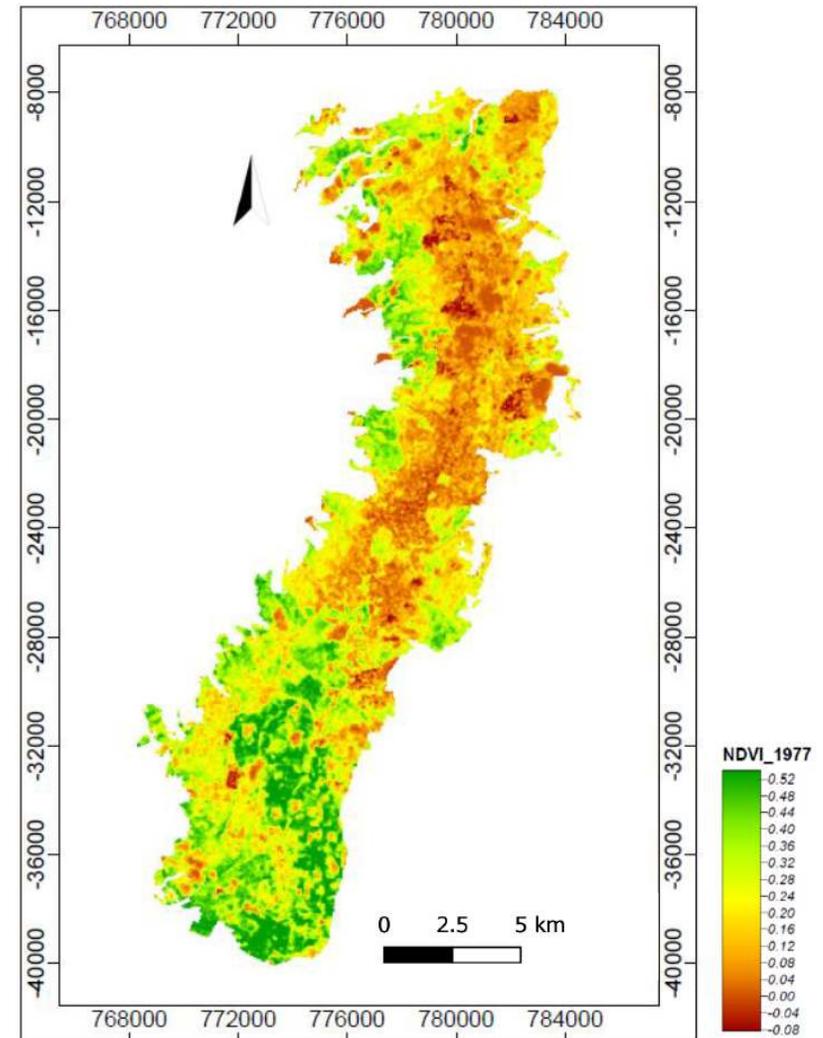
Las ciudades son un conjunto de dinámicas urbanas, cada una con su respectiva singularidad, morfología urbana y clima. En el capítulo anterior se describe la metodología y de acuerdo con ella se desarrolla este capítulo y se divide en dos partes morfología urbana y temperatura.

6.1. Análisis de morfología urbana

6.1.1. NDVI aplicado a evolución urbana de la Ciudad de Quito

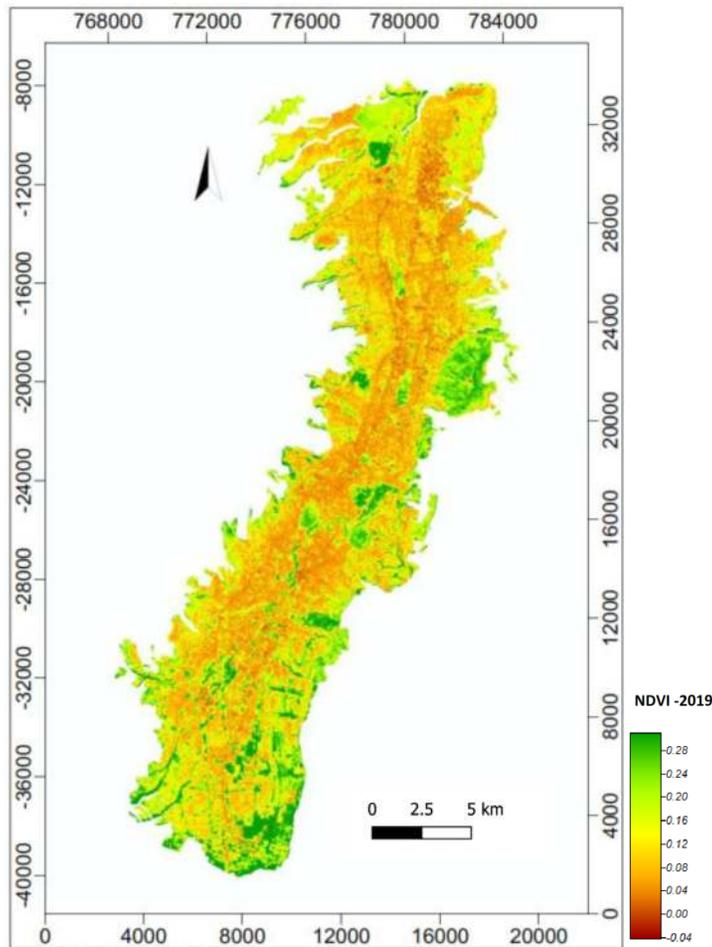
Para el análisis se aplica la técnica de teledetección, el NDVI es calculado con imágenes Landsat 8. Se realiza el cálculo y el histograma de NDVI del 13 de agosto 1977 (Ver figura 84) y del 10 de septiembre 2019 (Ver figura 85).

Figura 84: NDVI -1977 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 85: NDVI -2019 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

En el año 1977 el NDVI es de -0.08 a 0.52 siendo para esa fecha 110, 97 km² (aprox.) de crecimiento urbano y en el año 2019, siendo 42 años después el NDVI es de -0.04 a 0.28 y el área de crecimiento es de 202,24 km².

En los gráficos de NDVI 1977 y 2019 se observa el color verde que representa la vegetación y el color marrón representa la superficie de construcción o suelo descubierto, se observa como desciende el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en los últimos 42 años.

6.1.2. Teledetección - Clasificación supervisada

Como se indica en el capítulo anterior para obtener la clasificación supervisada se requiere de tres insumos:

- 1) áreas de entrenamiento⁹³.
- 2) definición del tamaño de los prototipos LCZ⁹⁴.
- 3) elección de imagen satelital Landsat 8⁹⁵.

⁹³ Este tema es tratado en el ítem 5.3.

⁹⁴ Este tema es tratado en el ítem 5.4.

⁹⁵ Este tema es tratado en el ítem 5.5.

6.1.3. Diseño de áreas de entrenamiento

Se identifica en *Google earth* al área de estudio en la Ciudad de Quito, en esta imagen se localiza los 17 prototipos de LCZ y sobre ellos se dibuja polígonos, cada uno de ellos son muestras que servirán de insumo en la clasificación supervisada (Ver tabla 18 y figura 86).

Se realizan 1876 muestras con un área total de 34,29 km², siendo el área de estudio de 202,24 km², el área de entrenamiento de LCZ es 34,29 km² equivalente a 16,94% del área de estudio.

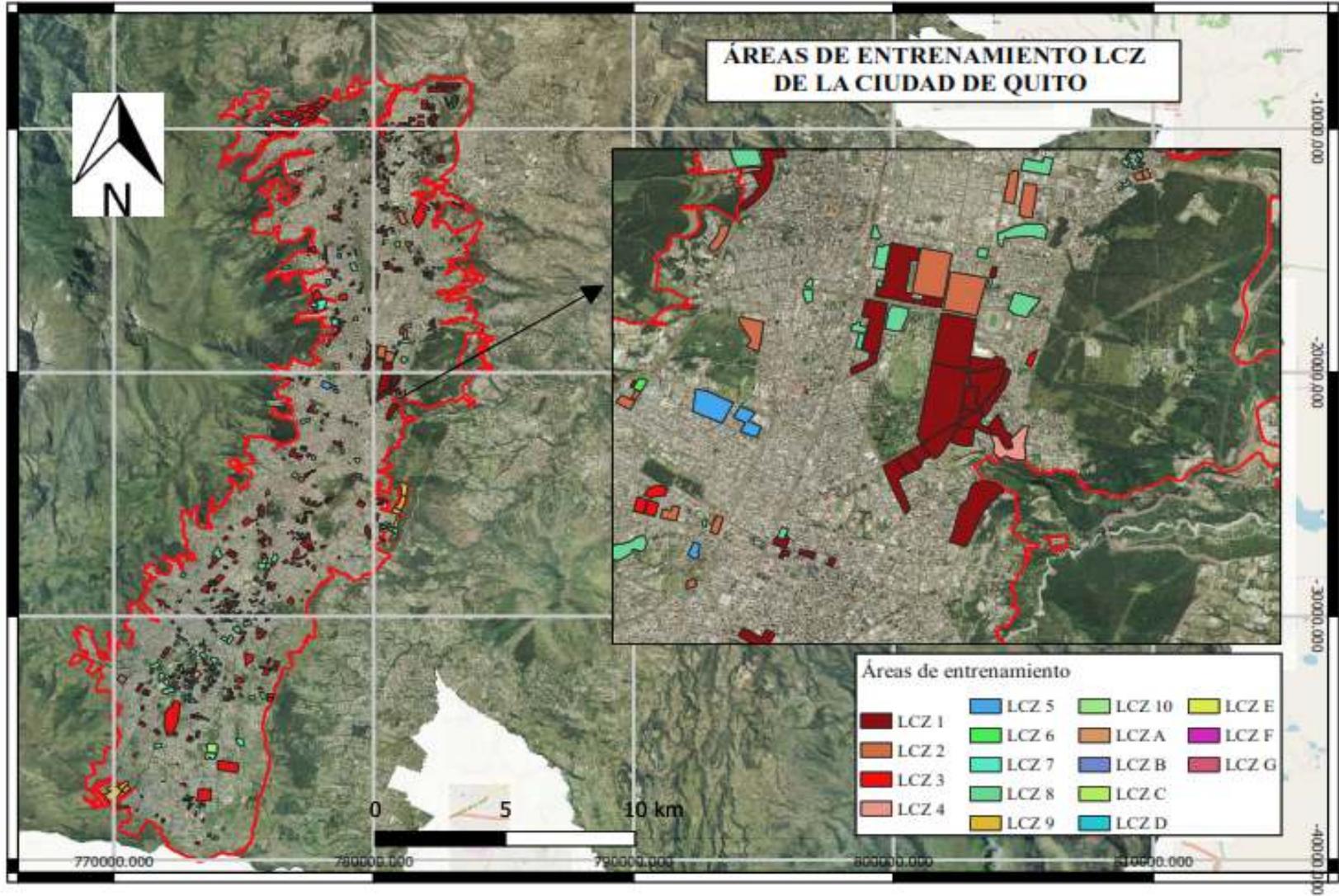
LCZ 8	436	2,99
LCZ 9	15	0,81
LCZ 10	4	0,25
LCZ A	84	1,77
LCZ B	135	8,36
LCZ C	36	0,83
LCZ D	218	3,95
LCZ E	126	0,57
LCZ F	101	1,57
LCZ G	19	0,06
TOTAL	1876	34,29

Fuente: Elaborado por la autora

Tabla 18: Áreas de entrenamiento elaboradas en *Google earth*

AREAS DE ENTRENAMIENTO		
LCZ	CANTIDAD	KM²
LCZ 1	31	1,52
LCZ 2	239	2,13
LCZ 3	336	7,49
LCZ 4	4	0,16
LCZ 5	23	0,39
LCZ 6	21	0,50
LCZ 7	48	0,92

Figura 86: Áreas de entrenamiento diseñadas en *Google earth*



Fuente: Elaborado por la autora

6.1.4. Definición del tamaño de los prototipos LCZ

El tamaño de los prototipos se basa en el área de las manzanas que existe en la Ciudad de Quito, se realizó un análisis del tamaño predominante en las manzanas, distribuido en 10 rangos (Ver tabla 19).

Tabla 19: Tamaño de las manzanas de la Ciudad de Quito

Área de manzanas	Cantidad
1 - 10000	10925
10001 - 20000	1578
20001 - 30000	504
30001 - 40000	236
40001 - 50000	152
50001 - 60000	88
60001 - 70000	68
70001 - 80000	57
80001 - 90000	28
90001 - 1800000	158
Total	13794

Fuente: Elaborado por la autora

Siendo el predominante el rango de 1 a 10000 m², sin embargo, una manzana no abarca todos los elementos de cobertura de superficie (pavimento, vegetación, agua, suelo desnudo) de un prototipo LCZ, en especial el pavimento, entonces se requiere

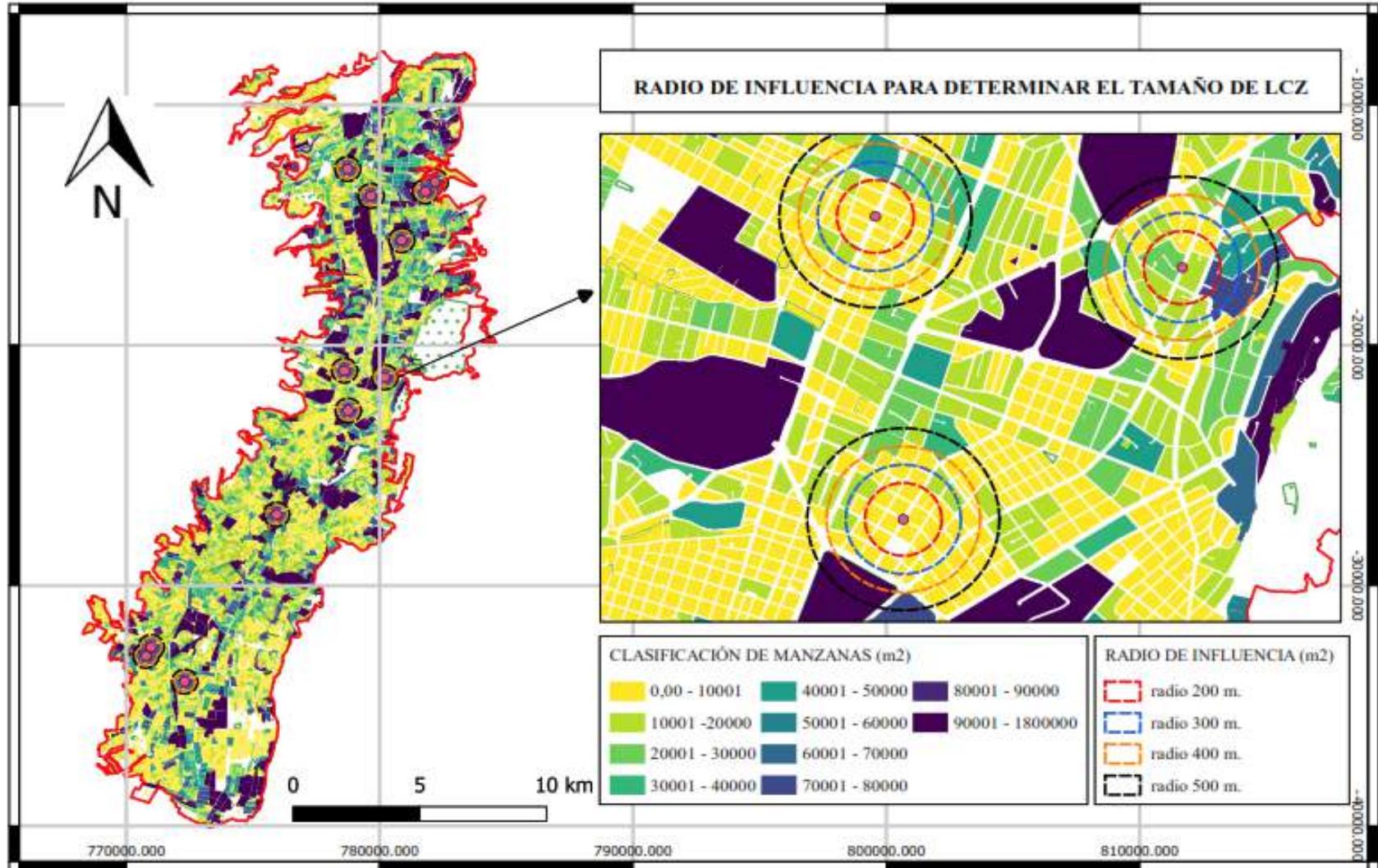
que al menos existan calles dentro de este prototipo ya que son necesarias para medir la *Sky View Factor* que es parte de la geometría urbana.

La Ciudad de Quito tiene zonas con geometría urbana homogénea, sin embargo, son muy pocas, este es otro factor importante en el momento de determinar el área del prototipo.

Siendo el rango más predominante 1-10.000 m² (Ver tabla 19), en donde se encuentra una geometría homogénea con este rango, se dibuja sobre estas áreas un círculo con un radio de influencia de 200, 300, 400 y 500 metros (Ver figura 87) para analizar cuál de ellos abarca todos los elementos de análisis urbano de una posible LCZ y que no abarque más de un prototipo.

La teoría LCZ indica que debe ser de radio entre 200 a 500 metros; sin embargo, para la Ciudad de Quito se define en 200 metros el radio de influencia de las LCZ porque el radio de influencia de 300, 400 y 500 metros es muy extenso y se sobrepone a otros posibles prototipos, debido a que la Ciudad de Quito tiene una geometría heterogénea.

Figura 87: Radio de influencia para determinar el tamaño de LCZ



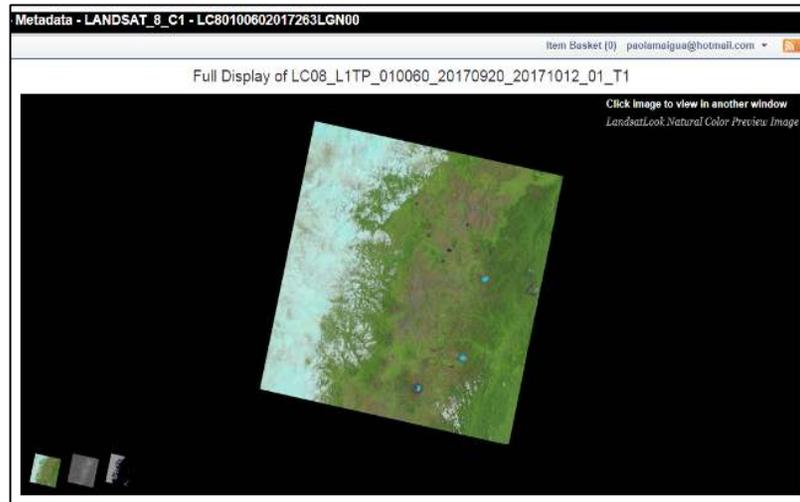
Fuente: Elaborado por la autora

6.1.5. Selección de imagen satelital

A través del portal <https://earthexplorer.usgs.gov> se seleccionó la imagen satelital (Ver figura 88):

LC08_L1TP_010060_20170920_20171012_01_T1 con las características escritas en la tabla 20.

Figura 88: Imagen satelital para la clasificación supervisada



Fuente: (USGS, 2018b)

Esta imagen satelital tiene 0% nubosidad sobre el área de estudio, con ello se consigue disminuir errores en la clasificación supervisada.

Tabla 20: Atributos de Imagen satelital seleccionada

Data Set Attribute	Attribute Value
<u>Landsat Product Identifier</u>	LC08_L1TP_010060_20170920_20171012_01_T1
<u>Landsat Scene Identifier</u>	LC80100602017263LGN00
<u>Acquisition Date</u>	20/09/2017
<u>Map Projection Level-1</u>	UTM
<u>UTM Zone</u>	17
<u>Datum</u>	WGS84
<u>Ellipsoid</u>	WGS84
<u>Grid Cell Size Panchromatic</u>	15
<u>Grid Cell Size Reflective</u>	30
<u>Grid Cell Size Thermal</u>	30

Fuente: Fuente: (USGS, 2018b)

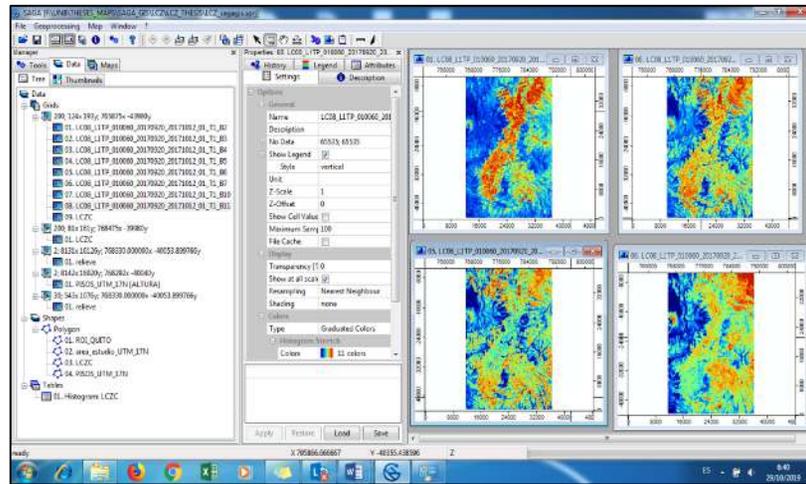
6.1.6. Clasificación supervisada para la obtención del mapa LCZ de la Ciudad de Quito

Una vez obtenidas las áreas de entrenamiento, definición del tamaño de LCZ y la imagen satelital, estos insumos son insertados en el software SAGA GIS para geoprocesar a través del *plugin Local Climate Zone Classification*.

La imagen satelital LC08_L1TP_010060_20170920_20171012_01_T1 es re-amostrada con *Resampling* en SAGA GIS (Ver figura 89), se usa

las bandas 2,3,4,5,6,7,10 y 11, con un tamaño en el pixel de 400 x 400 metros, este es igual al tamaño definido para los prototipos LCZ; después de ello es insertada en el complemento *Local Climate Zone Classification*.

Figura 89: Imagen satelital Landsat 8 en software SAGA GIS

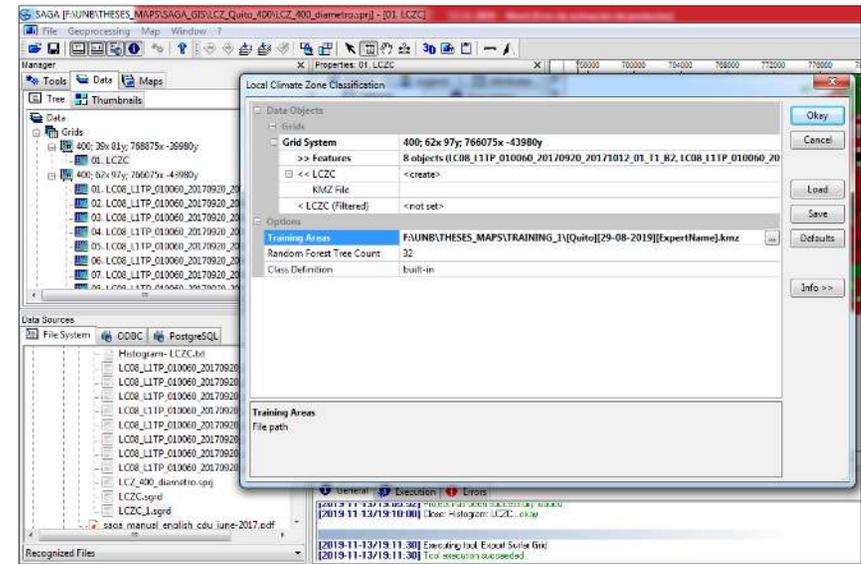


Fuente: Elaborado por la autora

En el siguiente grafico se observa las 8 bandas de la imagen satelital y las áreas de entrenamiento que son insertadas para ejecutar la clasificación supervisada, como resultado obtenemos

un ráster con píxel de 400 x 400 metros en donde cada píxel representa un prototipo LCZ (Ver figura 90).

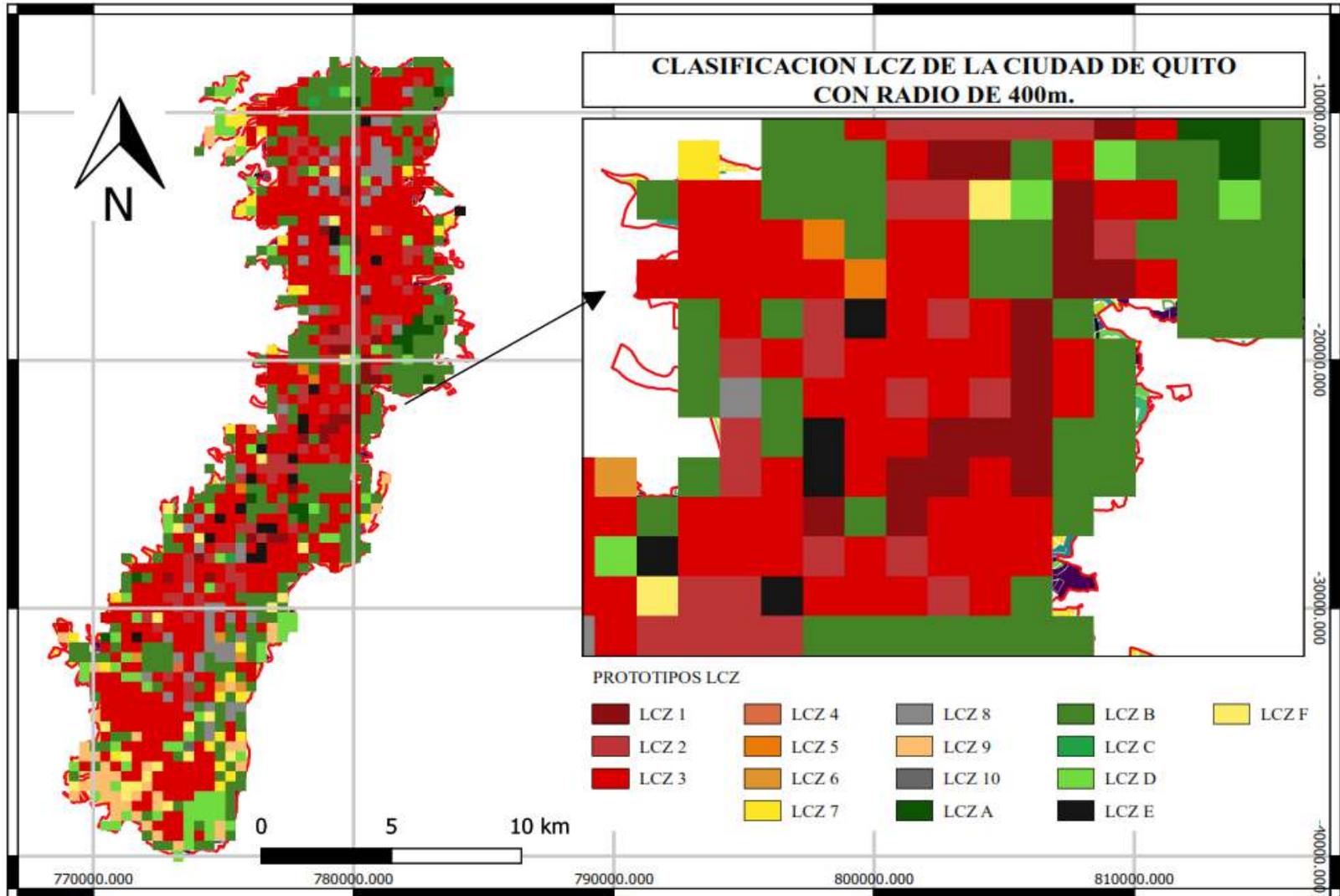
Figura 90: Ejecución de plugin *Local Climate Zone Classification*



Fuente: Elaborado por la autora

Desde el mapa ráster de LCZ ($r=400m.$) se extrae el área en km^2 y la cantidad de prototipos existentes (Ver figura 91).

Figura 91: Mapa *Local Climate Zone* Ciudad de Quito (r=400m.)



Fuente: Elaborado por la autora

En esta clasificación la presencia de LCZ G es cero (Ver tabla 21), lo que indica que el diámetro de 400 metros es muy extenso y no clasifica prototipos existentes con áreas menores

Tabla 21: Clasificación LCZ con radio 400 m.

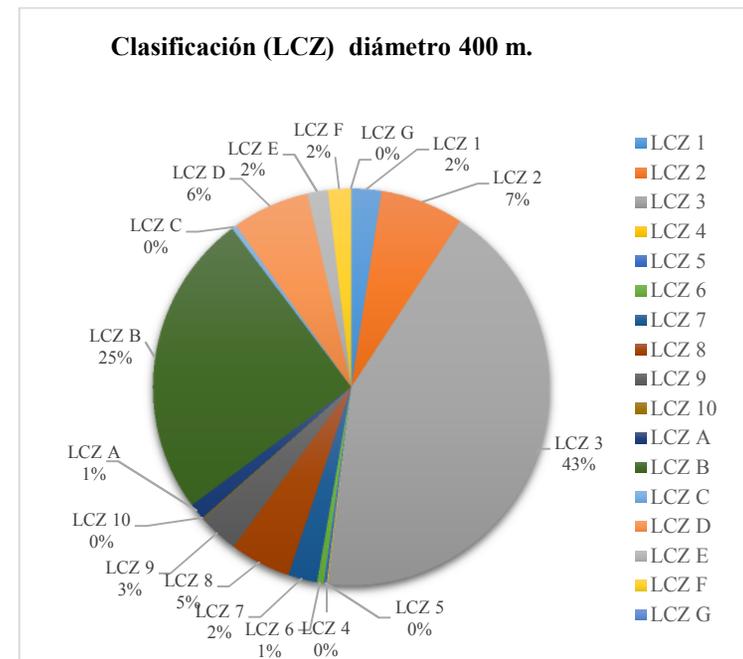
LCZ	Área (km ²)	Cantidad
LCZ 1	4,96	31
LCZ 2	13,76	86
LCZ 3	86,4	540
LCZ 4	0,16	1
LCZ 5	0,48	3
LCZ 6	1,12	7
LCZ 7	4,8	30
LCZ 8	10,08	63
LCZ 9	6,72	42
LCZ 10	0,16	1
LCZ A	2,72	17
LCZ B	50,4	315
LCZ C	0,8	5
LCZ D	12,8	80
LCZ E	3,36	21
LCZ F	3,84	24
LCZ G	0	0

Fuente: Elaborado por la autora

En esta clasificación los prototipos con mayor porcentaje de presencia son (Ver figura 92) LCZ 3 es el que tiene 86,40 km² y representa el 43% en la clasificación, LCZ B tiene 50,40 km² con el 25%, LCZ 2 tiene 86 km² con 7% y LCZ D tiene 12,80 km²

con el 6% y los prototipos con menor porcentaje de presencia son LCZ G con cero, LCZ 10 tiene 0,16 km² con 1% y LCZ 4 tiene 0,16 km² con 1%.

Figura 92: Porcentajes de LCZ con radio 400m



Fuente: Elaborado por la autora

Para esta investigación es fundamental que sean clasificadas todas las LCZ para alcanzar el objetivo de la investigación, es por ello por lo que se realiza una clasificación con diámetro de 200 metros, con esta dimensión se logra clasificar los 17 prototipos; es por ello que se realiza nuevamente la clasificación LCZ.

La imagen satelital LC08_L1TP_010060_20170920_20171012_01_T1 es re-amostrada con *Resampling* en SAGA GIS se usa las bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7,10 y 11 con un tamaño en el pixel de 200 x 200 metros, este es igual al tamaño definido para los prototipos LCZ con diámetro de 200 metros, después de ello es insertada en el complemento *Local Climate Zone Classification*, los resultados obtenidos se visualizan un mapa ráster (Ver figura 96), de aquí se extrae el área de cada prototipo LCZ (Ver tabla 22) y el porcentaje (Ver figura 93).

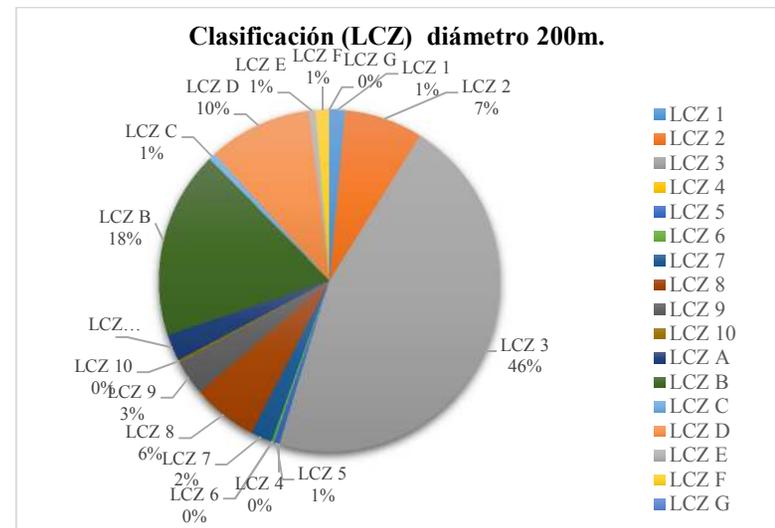
Tabla 22: Clasificación LCZ con radio 200m.

LCZ	Área (k2)	Cantidad
LCZ 1	2,72	68
LCZ 2	13,56	339
LCZ 3	93,96	2349

LCZ 4	0,20	5
LCZ 5	1,20	30
LCZ 6	0,72	18
LCZ 7	4,52	113
LCZ 8	12,52	313
LCZ 9	5,44	136
LCZ 10	0,44	11
LCZ A	5,20	130
LCZ B	36,20	905
LCZ C	1,20	30
LCZ D	18,56	464
LCZ E	2,20	55
LCZ F	4,24	106
LCZ G	0,08	2

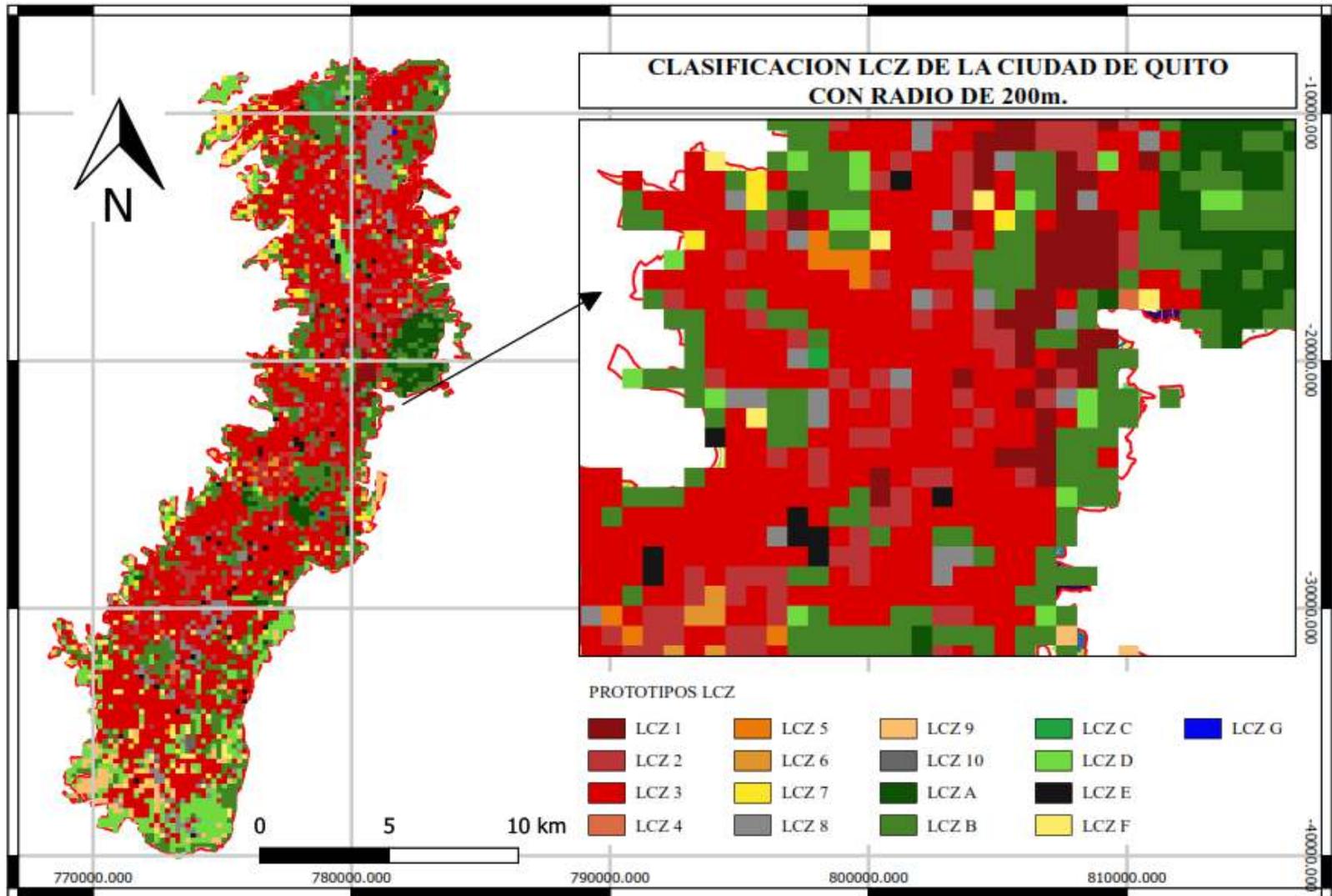
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 93: Porcentaje de LCZ con radio 200 m.



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 94: Mapa Local Climate Zone Ciudad de Quito (r=200m.)



Fuente: Elaborado por la autora

6.1.7. Validación de la clasificación supervisada de *Local Climate Zone* en la Ciudad de Quito.

La validación es aplicada a través del software SAGA GIS, con el *plugin: Imagery - Classification - Confusion Matrix (polygon /raster)*.

Para ello se transformó en polígonos las áreas de entrenamiento y juntamente con el ráster de la clasificación LCZ con diámetro de 200 m., el programa SAGA GIS entrega como resultado la matriz de confusión con el *overall accuracy* de 0,8241 siendo el 82,41% de precisión y la *kappa coefficient* 0,7925 como se observa en la matriz de confusión (Ver tabla 23).

Tabla 23: Matriz de confusión, clasificación LCZ (r=200 m.)

CLASS		AREAS DE ENTRENAMIENTO LCZ																	Sum User	Acc. User (%)	
		LCZ 1	LCZ 2	LCZ 3	LCZ 4	LCZ 5	LCZ 6	LCZ 7	LCZ 8	LCZ 9	LCZ 10	LCZ A	LCZ B	LCZ C	LCZ D	LCZ E	LCZ F	LCZ G			
CLASIFICACION LCZ	LCZ 1	28	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	90,32	
	LCZ 2	2	35	6	0	2	1	0	2	0	0	1	2	0	1	1	1	0	54	64,81	
	LCZ 3	0	8	182	0	1	1	0	16	0	1	0	5	0	6	6	1	0	227	80,18	
	LCZ 4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	100,00	
	LCZ 5	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9	88,89	
	LCZ 6	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	11	90,91	
	LCZ 7	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	16	93,75	
	LCZ 8	2	4	0	0	1	0	0	50	0	0	1	0	0	2	3	0	0	63	79,37	
	LCZ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	2	0	3	0	0	0	23	78,26	
	LCZ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	100,00	
	LCZ A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	1	30	96,67	
	LCZ B	2	2	4	0	1	1	1	1	0	0	5	165	2	6	1	5	1	197	83,76	
	LCZ C	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	14	92,86	
	LCZ D	0	2	3	0	0	1	0	1	1	0	0	2	0	79	1	1	0	91	86,81	
	LCZ E	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	8	0	0	14	57,14	
	LCZ F	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	22	24	91,67	
	LCZ G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	50,00
	Sum User	34	54	197	4	13	14	16	74	19	5	38	177	15	99	20	32	2	813		
	Salida Acc User (%)	82,35	64,81	92,39	75,00	61,54	71,43	93,75	67,57	94,74	80,00	76,32	93,22	86,67	79,80	40,00	68,75	50,00			
	Overall Accuracy	0,8241																			
Kappa coefficient	0,7925																				

Fuente: Elaborado por la autora

6.1.8. Corrección de la clasificación LCZ

Con el mapa ráster obtenido de la clasificación LCZ con diámetro 200 m., se realiza una verificación en QGIS con una ortofoto de la Ciudad de Quito para verificar en donde existen los errores; para la corrección se transforma el mapa ráster LCZ en polígonos y desde ellos son corregidos los prototipos LCZ que tienen clasificación errónea de esta manera obtenemos el 100% (Ver tabla 24) de veracidad en la clasificación.

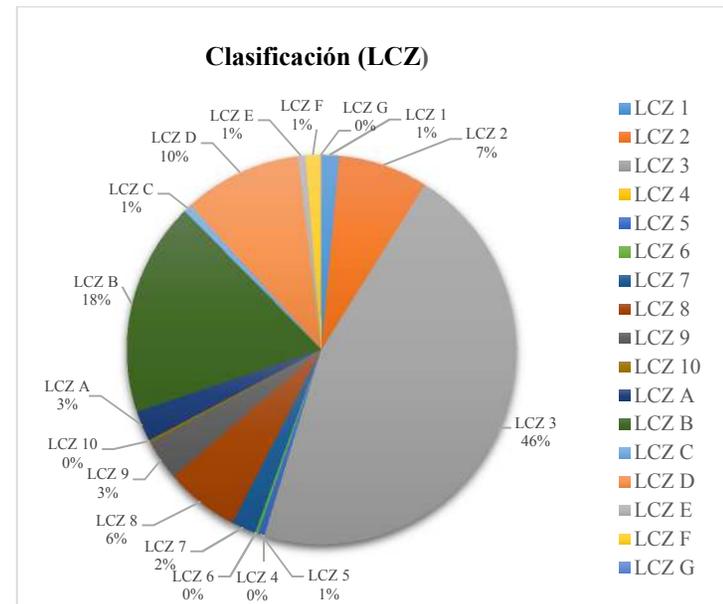
Tabla 24: Clasificación LCZ corregida

LCZ	Área (km ²)	Cantidad
LCZ 1	3	75
LCZ 2	15,12	378
LCZ 3	92,92	2.323,00
LCZ 4	0,04	1
LCZ 5	1,12	28
LCZ 6	0,48	12
LCZ 7	4,12	103
LCZ 8	12,48	312
LCZ 9	6,84	171
LCZ 10	0,44	11
LCZ A	5,16	129
LCZ B	36,08	902
LCZ C	1,36	34
LCZ D	19,88	497
LCZ E	1,28	32
LCZ F	2,6	65
LCZ G	0,04	1

Fuente: Elaborado por la autora

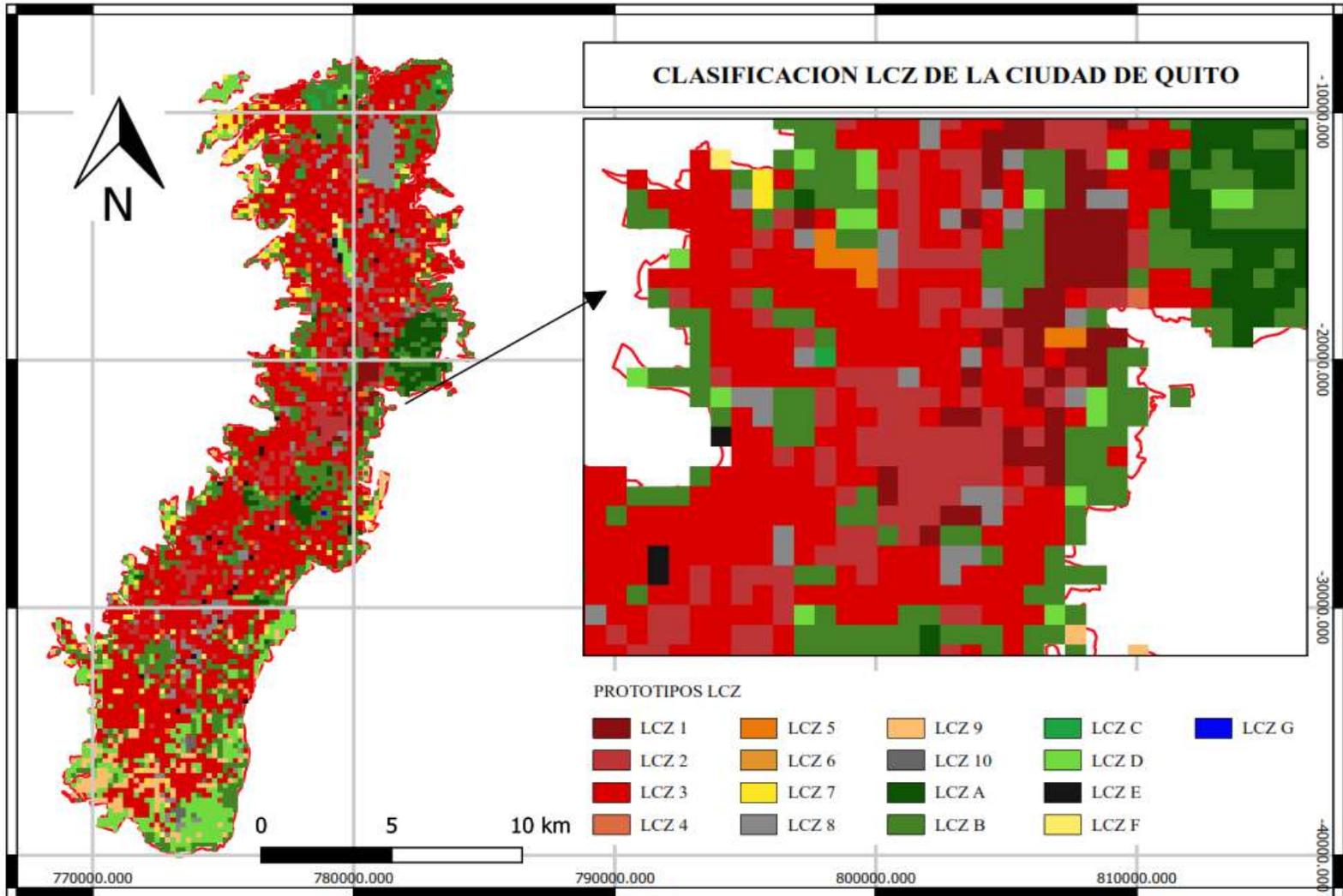
Se realiza una comparación de los cambios obtenidos después de la corrección realizada en la clasificación. En la tabla 24 se observa que en el prototipo LCZ 9, LCZ D, LCZ F y LCZ E, de igual manera los porcentajes cambian (Ver figura 95), presentan una diferencia representativa en su clasificación, siendo corregidos los errores se logra una clasificación 100% veraz y se obtiene la clasificación LCZ (Ver figura 96).

Figura 95: Porcentaje de LCZ con radio de 200m. corregida



Fuente: Elaborado por la autora

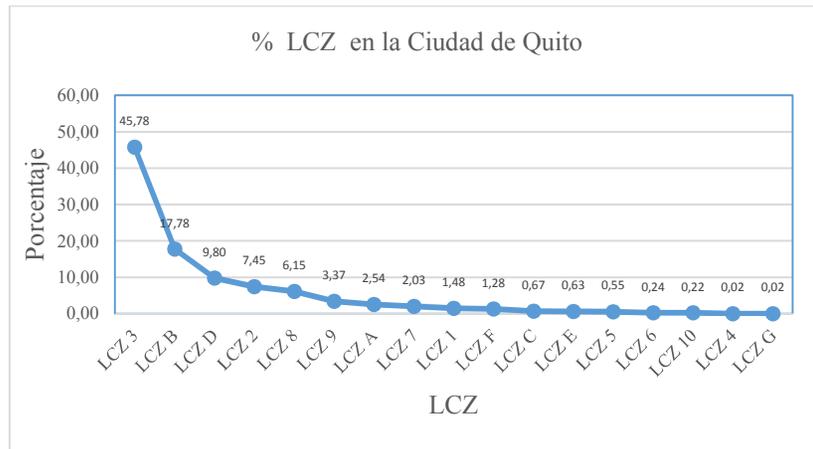
Figura 96: Mapa *Local Climate Zone* de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Una vez realizada la clasificación LCZ de 200 m. con la corrección se denomina Mapa *Local Climate Zone (LCZ)* de la Ciudad de Quito, se extrae el porcentaje de cada prototipo y área en km² (Ver figura 97) y se realiza una comparación de la clasificación de 200 m. y clasificación 200 m. corregida (Ver tabla 25).

Figura 97: Porcentaje de prototipos LCZ en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Tabla 25: Comparación de las clasificaciones

LCZ	CLASIFICACION 200 m.		CLASIFICACIÓN CORREGIDA 200 m.		DIFERENCIA	
	Área (km ²)	Cantidad	Área (km ²)	Cantidad	Área (km ²)	Cantidad
LCZ 1	2,72	68	3	75	-0,28	-7
LCZ 2	13,56	339	15,12	378	-1,56	-39
LCZ 3	93,96	2349	92,92	2.323,00	1,04	26
LCZ 4	0,20	5	0,04	1	0,16	4
LCZ 5	1,20	30	1,12	28	0,08	2
LCZ 6	0,72	18	0,48	12	0,24	6
LCZ 7	4,52	113	4,12	103	0,40	10
LCZ 8	12,52	313	12,48	312	0,04	1
LCZ 9	5,44	136	6,84	171	-1,40	-35
LCZ 10	0,44	11	0,44	11	0,00	0
LCZ A	5,20	130	5,16	129	0,04	1
LCZ B	36,20	905	36,08	902	0,12	3
LCZ C	1,20	30	1,36	34	-0,16	-4
LCZ D	18,56	464	19,88	497	-1,32	-33
LCZ E	2,20	55	1,28	32	0,92	23
LCZ F	4,24	106	2,6	65	1,64	41
LCZ G	0,08	2	0,04	1	0,04	1

Fuente: Elaborado por la autora

Las LCZ más predominantes son **LCZ-3 compacto de baja altura** (*compact low - rise*) con **45,78%** siendo el porcentaje más alto, este prototipo se encuentra disperso en toda la ciudad y abarca una área de 92,92 km².

LCZ-B árboles dispersos y cobertura de vegetación baja (*scattered trees*) con **17,78%** es el segundo porcentaje más alto, tiene una área de 36,08 km² los cuales se encuentran concentrados en los parques.

LCZ-D baja vegetación (*low plants*) con **9,80%** siendo el tercer porcentaje más alto, con área de 19,88 km² se encuentra presente en su mayoría en el extremo sur de la ciudad.

LCZ-2 compacto de media altura (*compact mid-rise*) con **7,45%** con área de 15,12 km² su mayor presencia está en el centro norte de la ciudad.

LCZ-8 alargada de baja altura (*large low-rise*) con **6,15%** con área de 12,48 km² que corresponde a galpones y fábricas de menor impacto, se encuentran ubicadas en su mayoría al norte de la ciudad.

LCZ-9 construcciones dispersas (*sparsely built*) tiene el **2,03%** con área de 6,84 km², se encuentra en la periferia de la ciudad.

LCZ-A arborización densa (*dense trees*) tiene **1,28%** y un área de 3,00 km² se encuentra en la periferia de la ciudad.

LCZ-7 ligero de baja altura (*lightweight low rise*) **2,03%** con un área de 4,12 km² siendo presente en la periferia de la ciudad.

LCZ-1 compacto de gran altura (*compact high-rise*) tiene **1,48%** y un área de 3,00 km² en su mayoría se encuentra concentrado en el centro norte de la ciudad.

LCZ-F suelo desnudo o arena (*Bare soil or sand*) con un porcentaje de **1,28%** y un área de 2,60 km² su mayor presencia es en el antiguo aeropuerto de la ciudad.

LCZ-C vegetación de media altura (*bush, scrub*) con el **0,67%** y un área de 1,36 km², corresponde a bosques los cuales están ubicados al extremo norte de la ciudad.

LCZ-E suelo desnudo, piedras, pavimentado (*bare, rock or paved*) con un **9,80%** y un área 1,28 km² se encuentra en el antiguo aeropuerto.

LCZ-5 abierto de media altura (*open mid rise*) con **0,55%** con un área de 1,12 km² se encuentra en el centro norte de la ciudad.

LCZ-6 **abierto de baja altura** (*open low rise*) con **0,24%** y un área de 0,48 km² se encuentra en mayor presencia en el norte de la ciudad.

LCZ-10 **industria pesada** (*heavy industry*) con **0,22%** y un área de 0,44 km² se encuentra ubicado en el sur de la ciudad.

LCZ-4 **abierto gran altura** (*open high-rise*) con **0,02%** y un área de 0,04 km² se encuentra en el centro norte de la ciudad.

LCZ-G **agua** (*water*) con **0,02%** se encuentra representada en color azul y tiene un área de 0,04 km² y corresponde al reservorio de Puengasí ubicado al norte de la ciudad.

Una vez obtenido el mapa ráster de LCZ de la Ciudad de Quito (Ver figura 96) es transformado a vector, es decir, cada polígono representa un prototipo LCZ, después de ello se agrupa cada LCZ para identificar claramente en la ciudad.

6.1.9. Aplicación del método de estimación de densidad de Kernel

Para identificar el área más representativa de cada LCZ, se aplica el método de estimación de densidad de Kernel con el software

QGIS, para ello el mapa ráster de *Local Climate Zone* de la Ciudad de Quito es transformado a polígonos y después a puntos. Estos insumos son geoprocesados en el complemento Mapa de calor (estimación de Kernel) con un radio de 400 metros; como resultado se obtiene un mapa ráster de calor que indica la mayor concentración de cada prototipo LCZ en la ciudad, siendo el más representativo el que indica el color rojo más intenso.

6.1.10. Factor de visión del cielo (*Sky View Factor*)

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un ráster en donde cada píxel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico.

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación, el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

6.1.11. Cálculo de *frontal area index building*

En cada área representativa de LCZ se calcula la altura media, la desviación estándar de la altura y la altura máxima de las

edificaciones; además, el área índice frontal de las edificaciones para elegir la fachada se toma la dirección de los vientos predominantes que es norte – sur en la ciudad.

6.1.12. Cálculo de *frontal area index vegetation*

En cada área representativa de LCZ se calcula la altura media, desviación estándar y máxima de la vegetación; para el área índice frontal de la vegetación se toma la dirección de los vientos predominantes que es norte – sur.

6.1.13. *Wall aspect*

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS, siendo los resultados obtenidos desde 0 a X (altura) es un rango que se encuentra dentro del intervalo que indica la metodología de Stewart y Oke (2012). Para la elaboración se realizó un DSM de suelo y edificaciones.

6.2. LCZ 1 – Compacto de gran altura (*Compact high rise*) en la Ciudad de Quito

Este prototipo tiene mayor presencia en el centro - norte de la Ciudad de Quito, al norte la calle Naciones Unidas, al sur calle Carlos Tamayo, al este calle 6 de Diciembre y al oeste calle Suecia, en los barrios Bellavista, Benalcázar, Batán Bajo y Gonzales Suárez (Ver figura 98).

Figura 98: Paisaje urbano de LCZ 1 de la Ciudad



Fuente: Elaborado por la autora

La altura de las edificaciones fluctúa desde 27 metros a 66 metros, su uso está destinado para el comercio (restaurantes y cafeterías), hospedaje, oficinas y vivienda; es una zona muy concurrida por los habitantes.

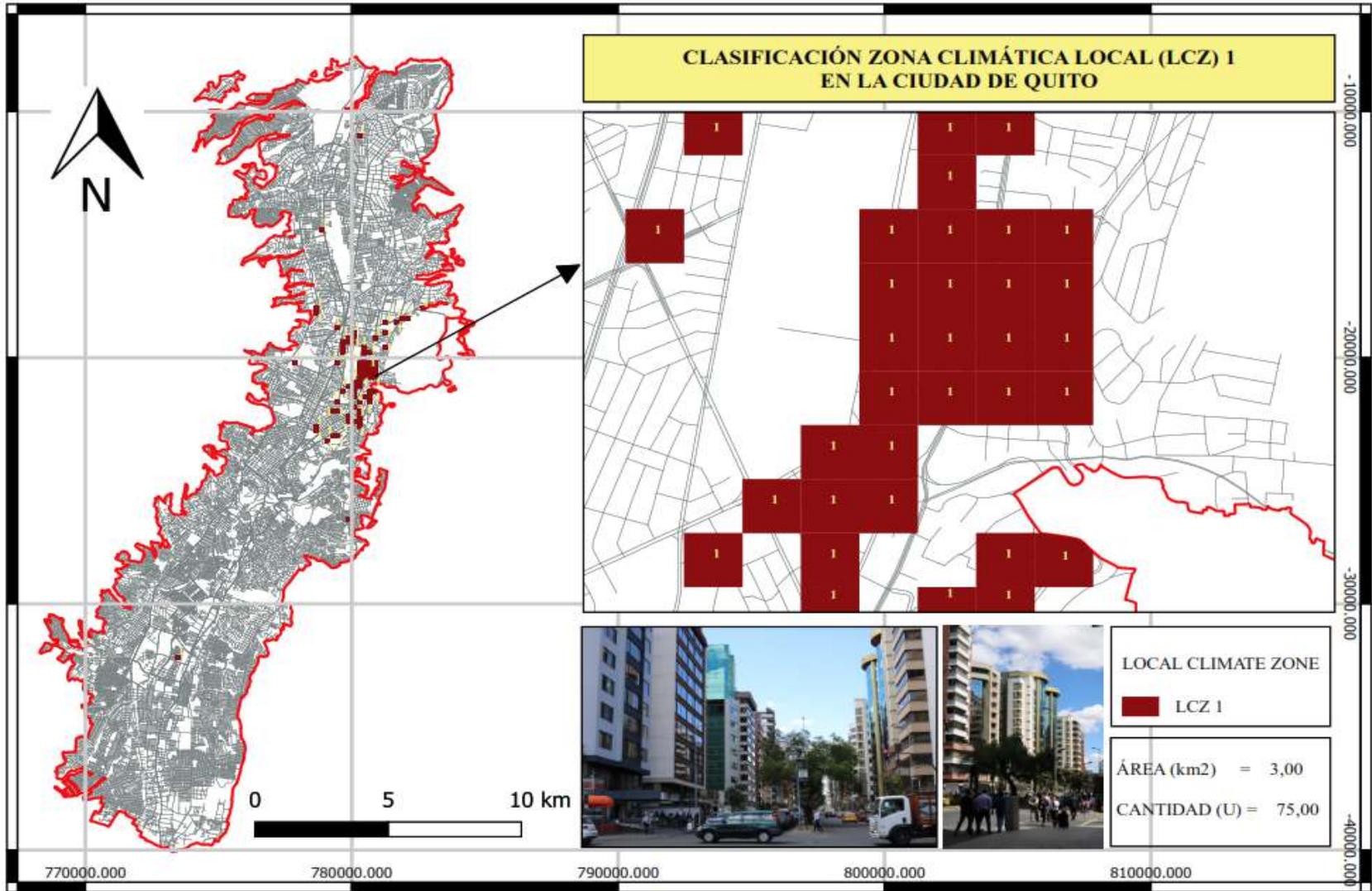
Las edificaciones en su mayoría tienen estructura de concreto armado, las fachadas tienen un gran porcentaje de presencia de vidrio; las vías son de asfalto, la vegetación se encuentra en el parterre el cual tiene césped y árboles pequeños y con alta transmisibilidad, se encuentran muy pocos árboles en las aceras de las mismas características mencionadas.

El espacio entre las edificaciones es reducido y en algunos casos nula.

Las figuras 99, 100, 101 y 102 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

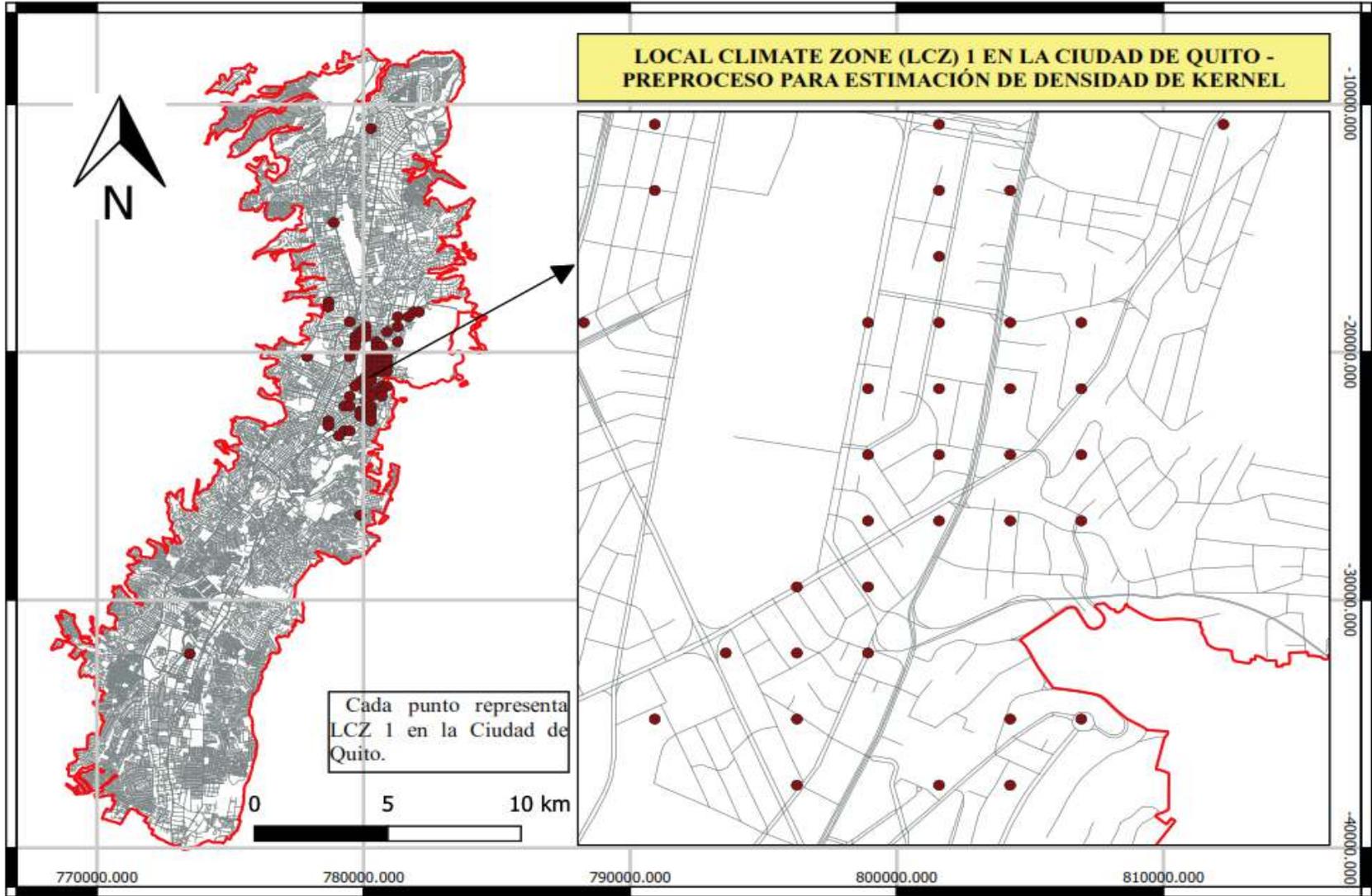
Este prototipo tiene 75 muestras y 3 km² en la ciudad.

Figura 99: Local Climate Zone 1 en la Ciudad de Quito



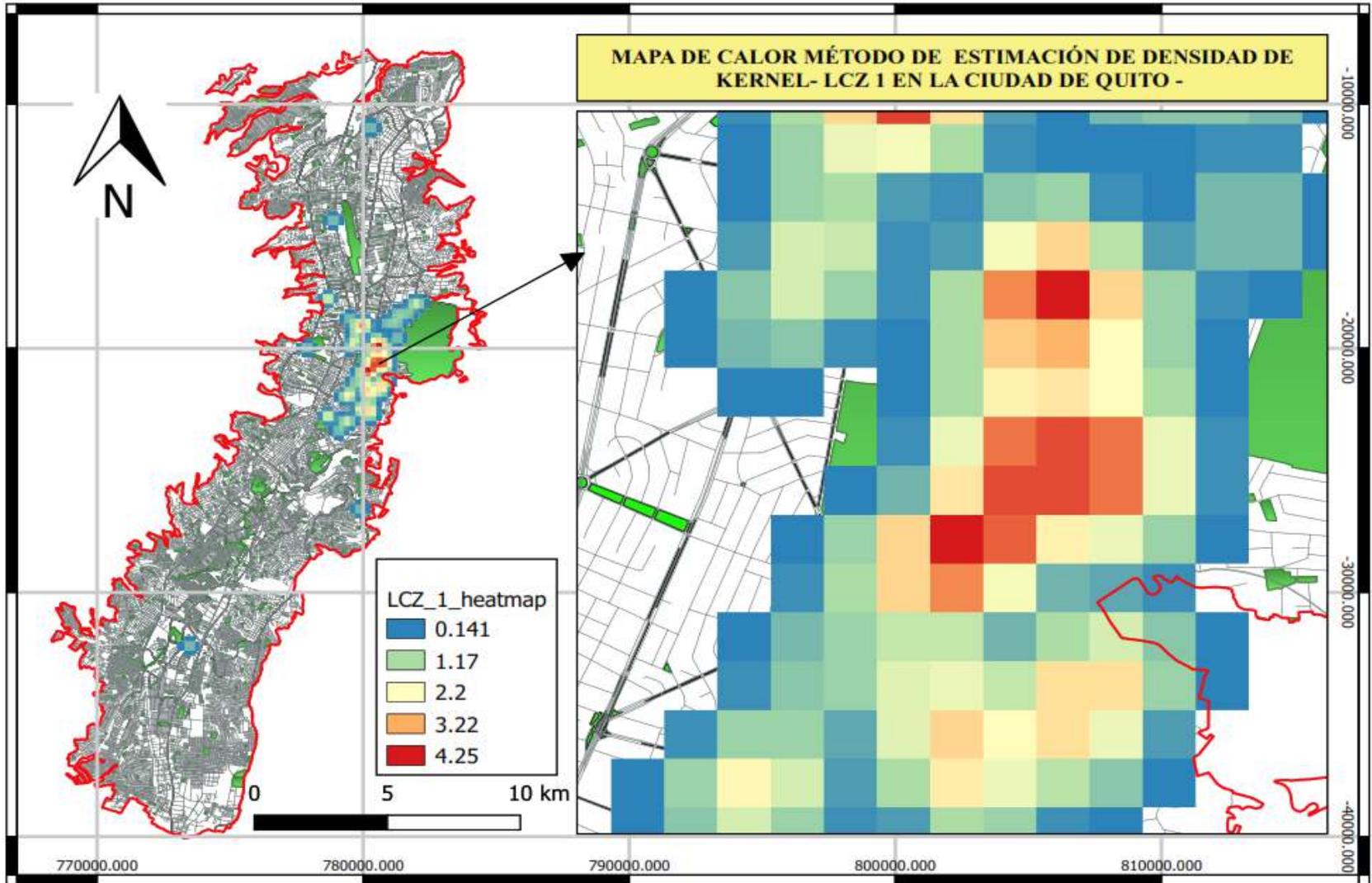
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 100: LCZ 1, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



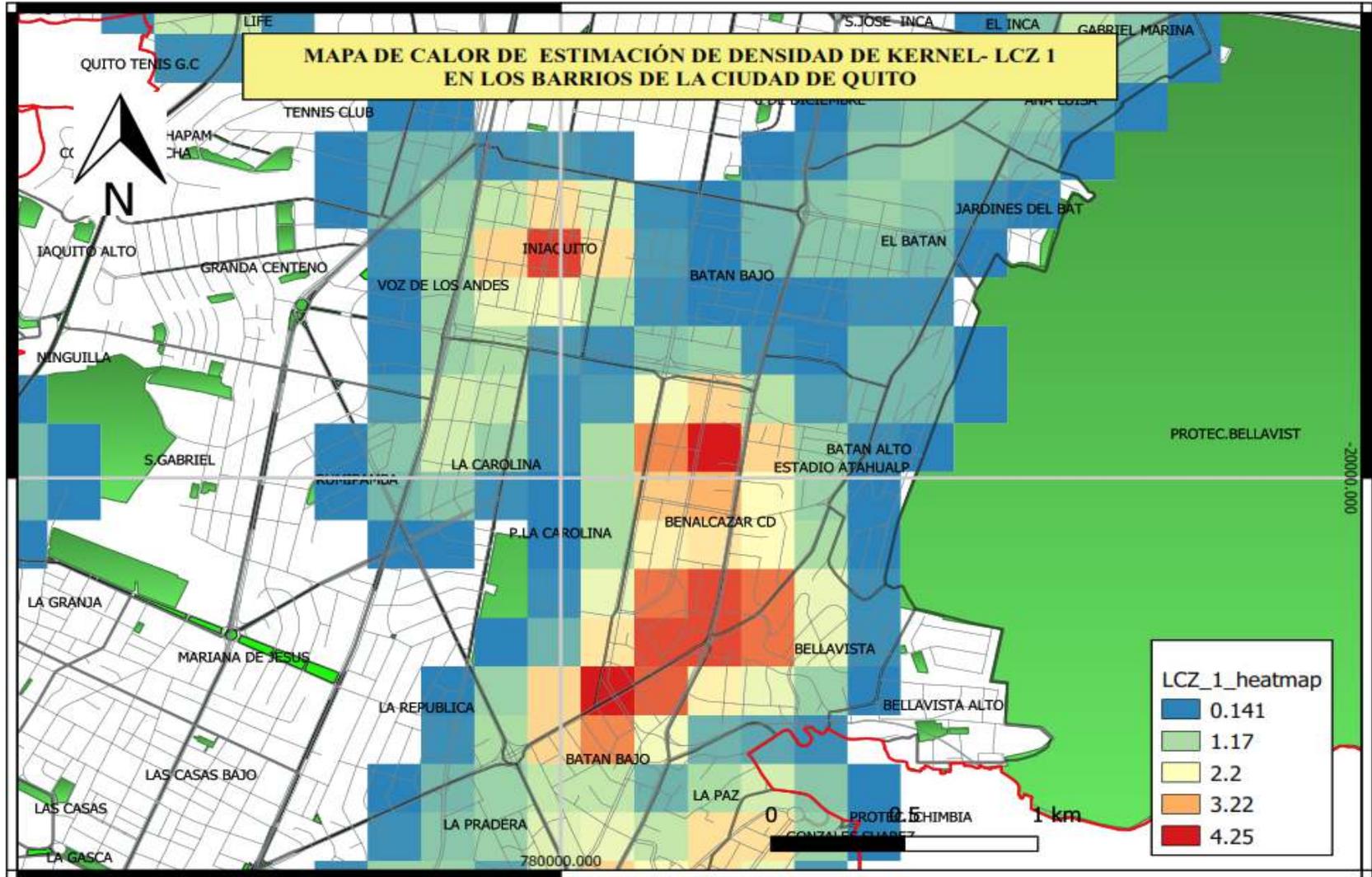
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 101: Mapa de Kernel - LCZ 1 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 102: Mapa de Kernel, LCZ 1- en los Barrios de la Ciudad



Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -1

Se cuantifica 7 coberturas de superficie en m2 y en porcentajes, el color beige representa las edificaciones, las líneas de color gris representan las calles, el cuadrado de color rojo es el área analizada (Ver figura 103). La extracción de las áreas de los materiales de construcción y vegetación se observa en la tabla 26.

Figura 103: LCZ-1 más representativa en la Ciudad



Fuente: Elaborado por la autora

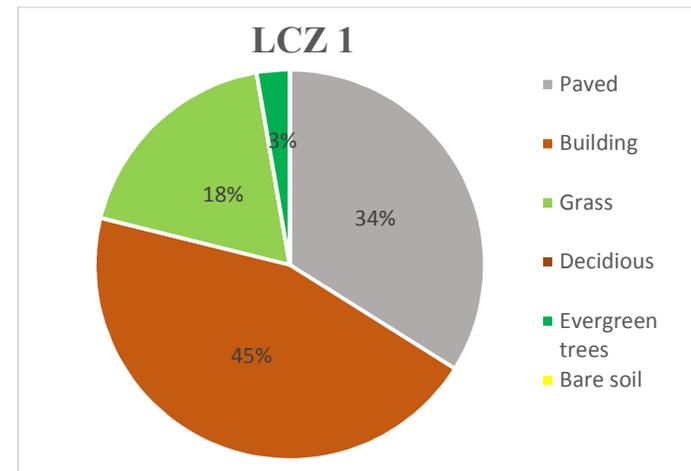
Tabla 26: Materiales de cobertura de superficie en LCZ 1

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	13571,00
<i>Building (-)</i>	17974,36
<i>Grass (-)</i>	7360,89
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	1093,75
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes (Ver figura 104), obteniendo:

Figura 104: Materiales de cobertura de superficie LCZ-1



Fuente: Elaborado por la autora

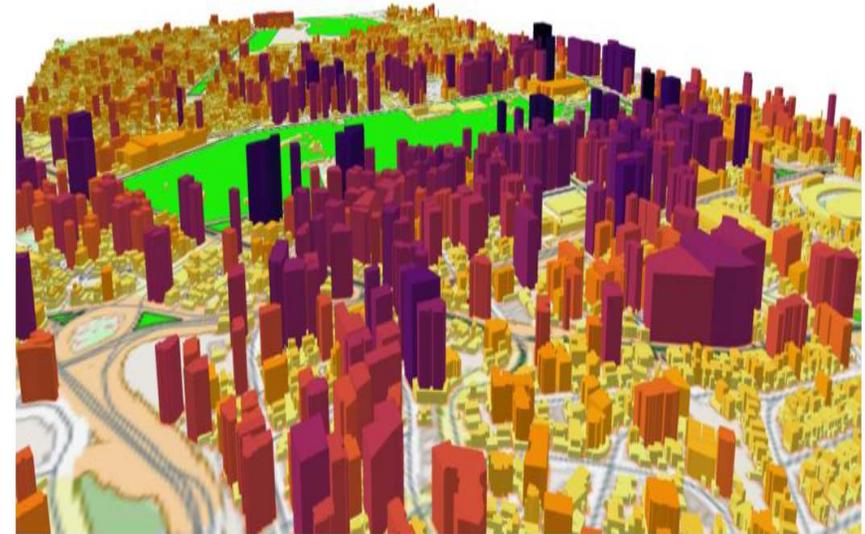
Siendo el 45% a la cobertura de construcción de las edificaciones, el 34% al recubrimiento de pavimento, el 18% a la vegetación baja (césped), el 3% a la arborización permanente, la presencia de suelo desnudo, agua y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo.

Geometría urbana de LCZ 1

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 105) con el software QGIS, se realiza una clasificación de la altura de los edificios que van en una gama de colores desde amarillo (valor bajo) al color violeta (valor alto), este análisis permite obtener la altura de las edificaciones y vegetación.

En esta tipología predominan los edificios sobre los 9 pisos, una de las características es la mezcla del tamaño de las edificaciones en donde podemos encontrar edificaciones que sobrepasan los 9 pisos junto a edificaciones de 1 piso, además, se observa la carencia de árboles frondosos. Se extrae las dimensiones de la geometría urbana y se procesa en una matriz (Ver tabla 27).

Figura 105: LCZ 1 en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 27: Análisis de edificaciones en LCZ-1

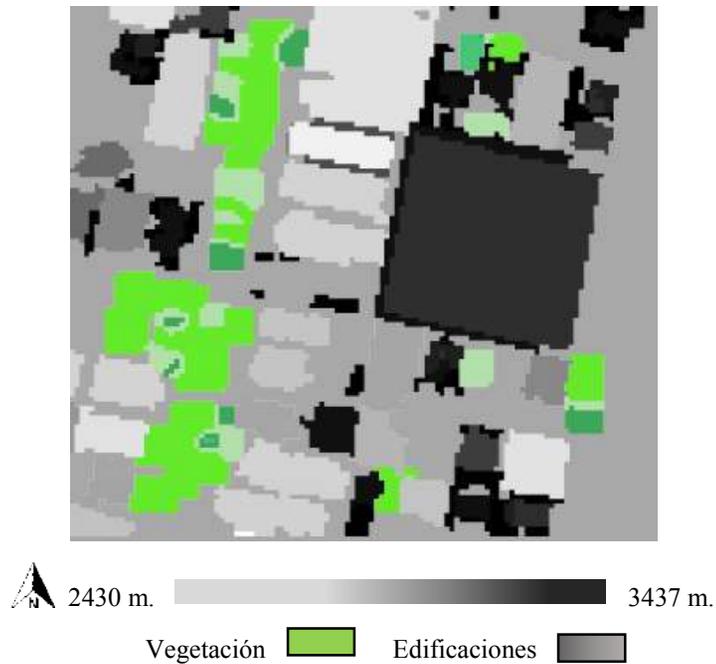
Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	41,06
<i>Mean vegetation height</i>	5,12
<i>Frontal area index buildings</i>	0,94
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,51
<i>Building height standard dev.</i>	9,47
<i>Vegetation height standard dev.</i>	0,33
<i>Maximum building height</i>	51,00
<i>Maximum vegetation height</i>	6,00

Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-1

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-1 (Ver figura 106), el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 106: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-1

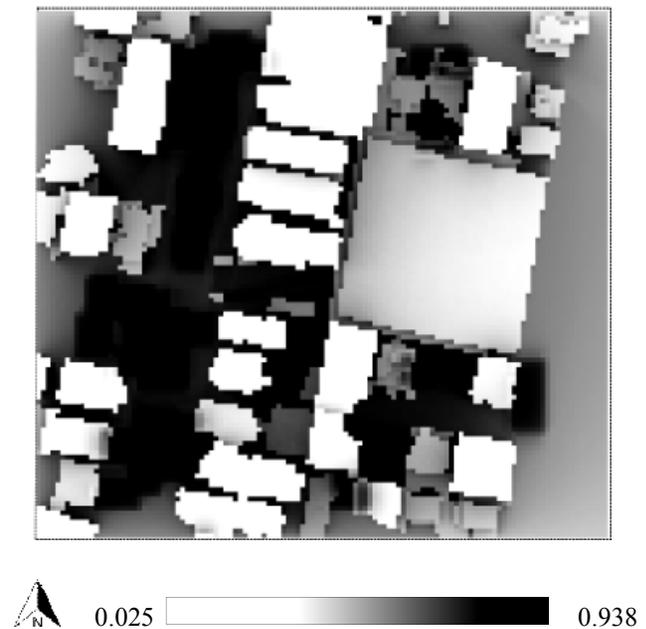


Fuente: Elaborado por la autora

El geoprocésamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-1 de la Ciudad de Quito (Ver figura 107), tiene un intervalo de 0.02 a 0.93.

Al comparar la figura 106 y 107 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-1 un espacio cerrado, con poca visibilidad.

Figura 107: *Sky View Factor*, con UMEP de LCZ-1

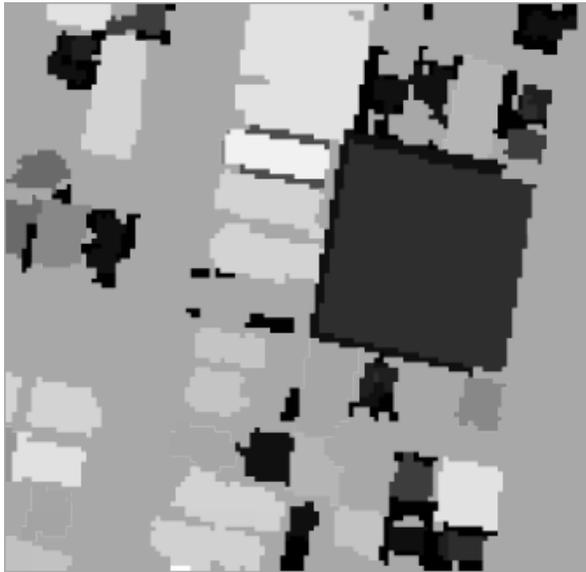


Fuente: Elaborado por la autora

Wall aspect and en LCZ-1

Para la elaboración se realizó un DSM de suelo y edificaciones (Ver figura 108).

Figura 108: DSM de las edificaciones en LCZ-1



Fuente: Elaborado por la autora

Siendo los resultados obtenidos para LCZ-1 de la Ciudad de Quito (Ver figura 109) desde 0 a 3.48 es un rango que se encuentra dentro del intervalo que indica la metodología de Stewart y Oke (2012).

Figura 109: *Wall aspect* –LCZ-1



Fuente: Elaborado por la autora

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ – 1 de la Ciudad de Quito

La información de materiales de cobertura de superficie y de geometría urbana se sintetiza en una matriz (Ver tabla 28) según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Tabla 28: Valores de propiedades geométricas y cobertura de superficie
LCZ – 1

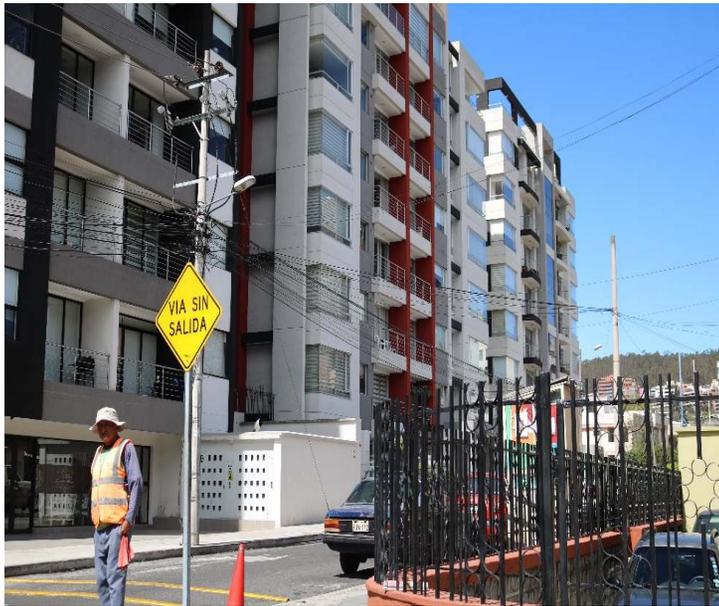
<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-1	0.02-0.93	3.40	45	34	21	>41	8

Fuente: Elaborado por la autora

6.3. LCZ 2 – Compacto de media altura (*Compact mid – rise*) en la Ciudad de Quito

Este prototipo tiene mayor presencia en el centro - norte de la Ciudad, en los barrios Mariscal Sucre y Batán bajo, el área más representativa se encuentra al norte la calle Veintimilla, al sur calle Ramón Roca, al este calle 6 de Diciembre y al oeste calle Leonidas Plaza (Ver figura 110).

Figura 110: Paisaje urbano de LCZ 2 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

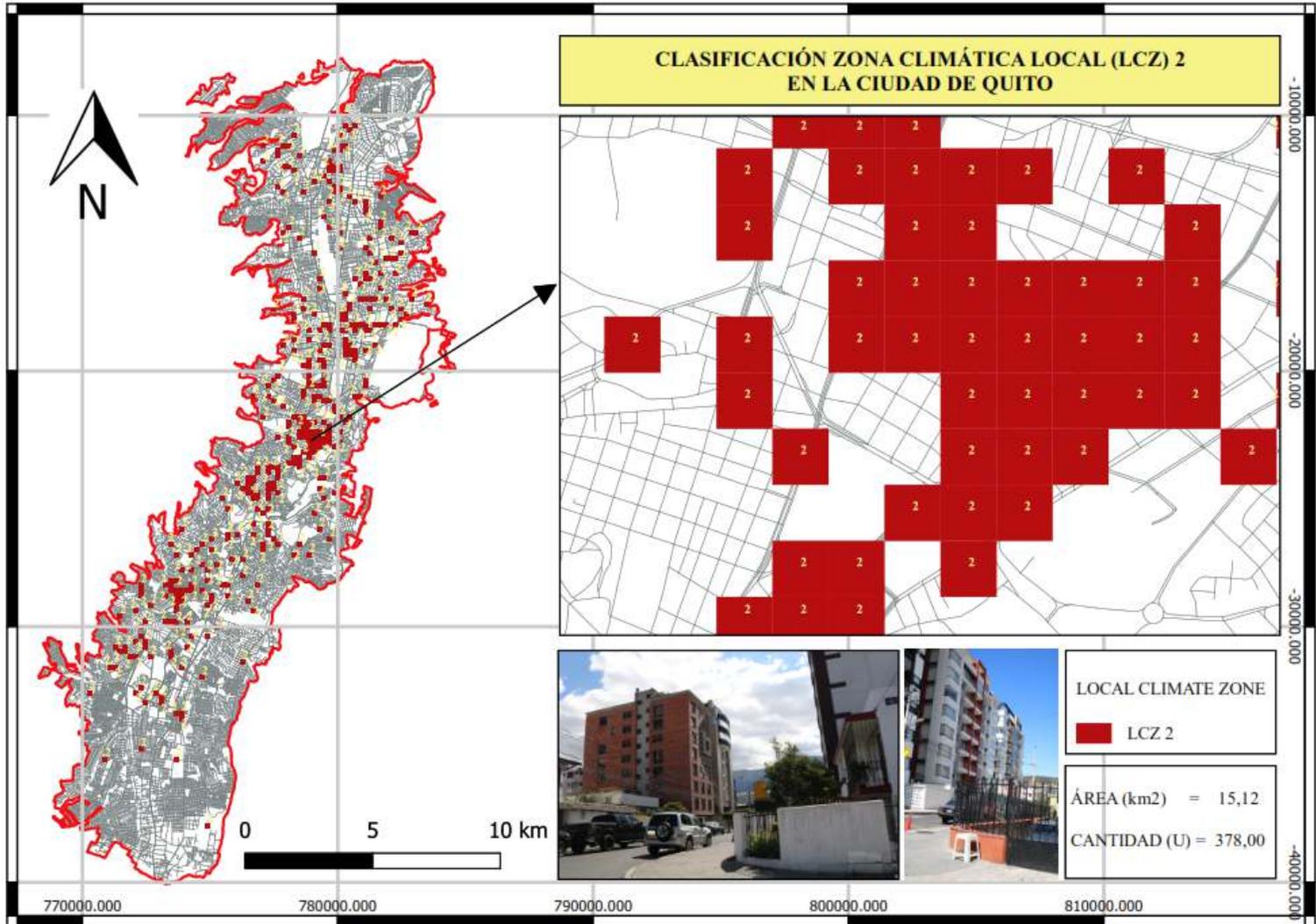
La altura de las edificaciones fluctúa desde 12 a 24 metros, su uso está destinado para el comercio, hospedaje, oficinas y vivienda y educación, es una zona frecuentada por estudiantes universitarios ya que se encuentran cerca la Universidad Católica del Ecuador y la Universidad Politécnica del Ecuador.

Las edificaciones en su mayoría tienen estructura de concreto armado, las fachadas tienen un gran porcentaje de presencia de vidrio; las vías son de asfalto, la vegetación se encuentra en el parterre el cual tiene césped y árboles pequeños con alta transmisibilidad, en las aceras se encuentran pocos árboles de las características mencionadas. El espacio entre las edificaciones es reducido y en algunos casos nula.

Las figuras 111, 112, 113 y 114 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

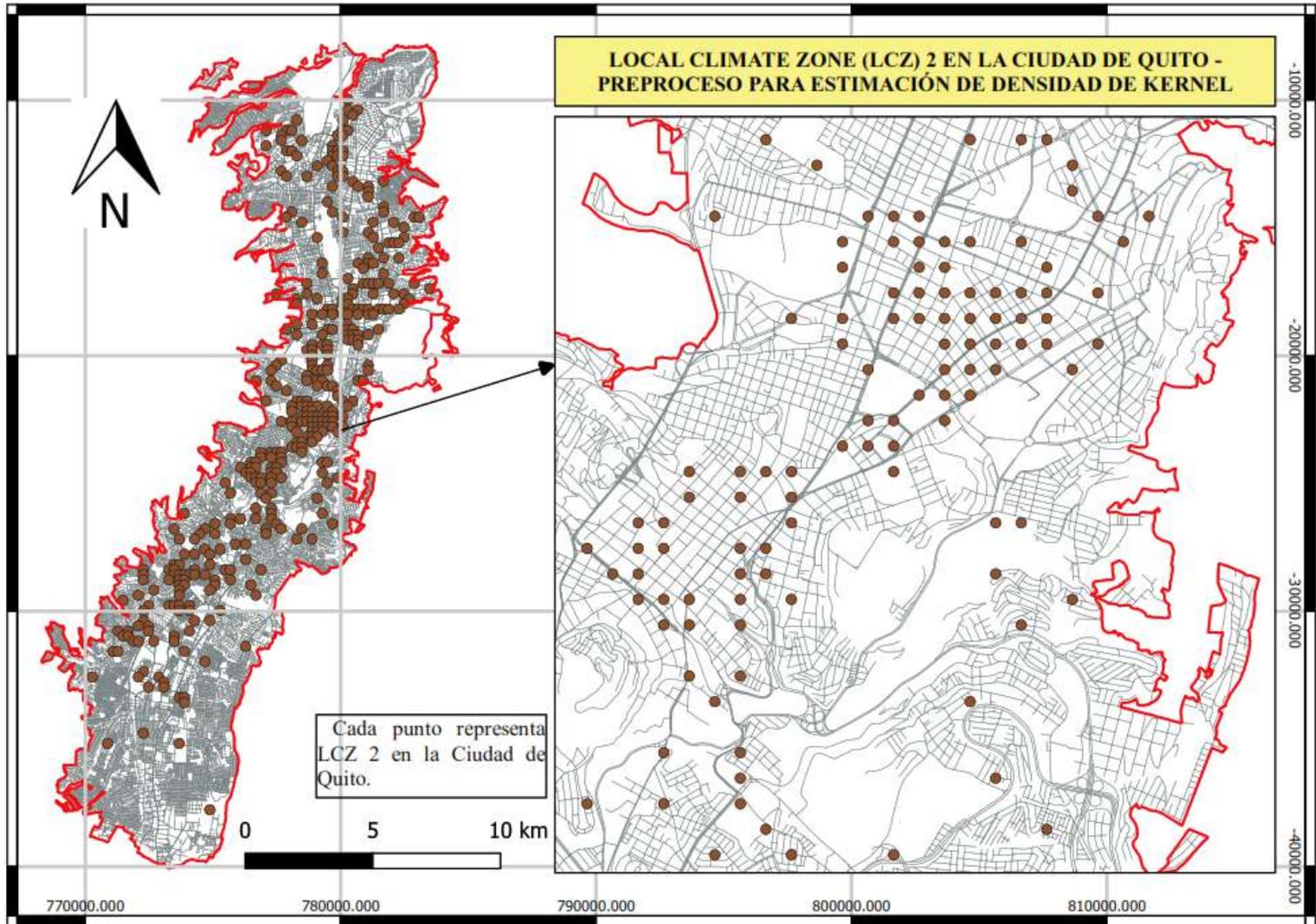
Este prototipo tiene 378 muestras y 15,12 km² en la ciudad.

Figura 111: Local Climate Zone 2 en la Ciudad de Quito



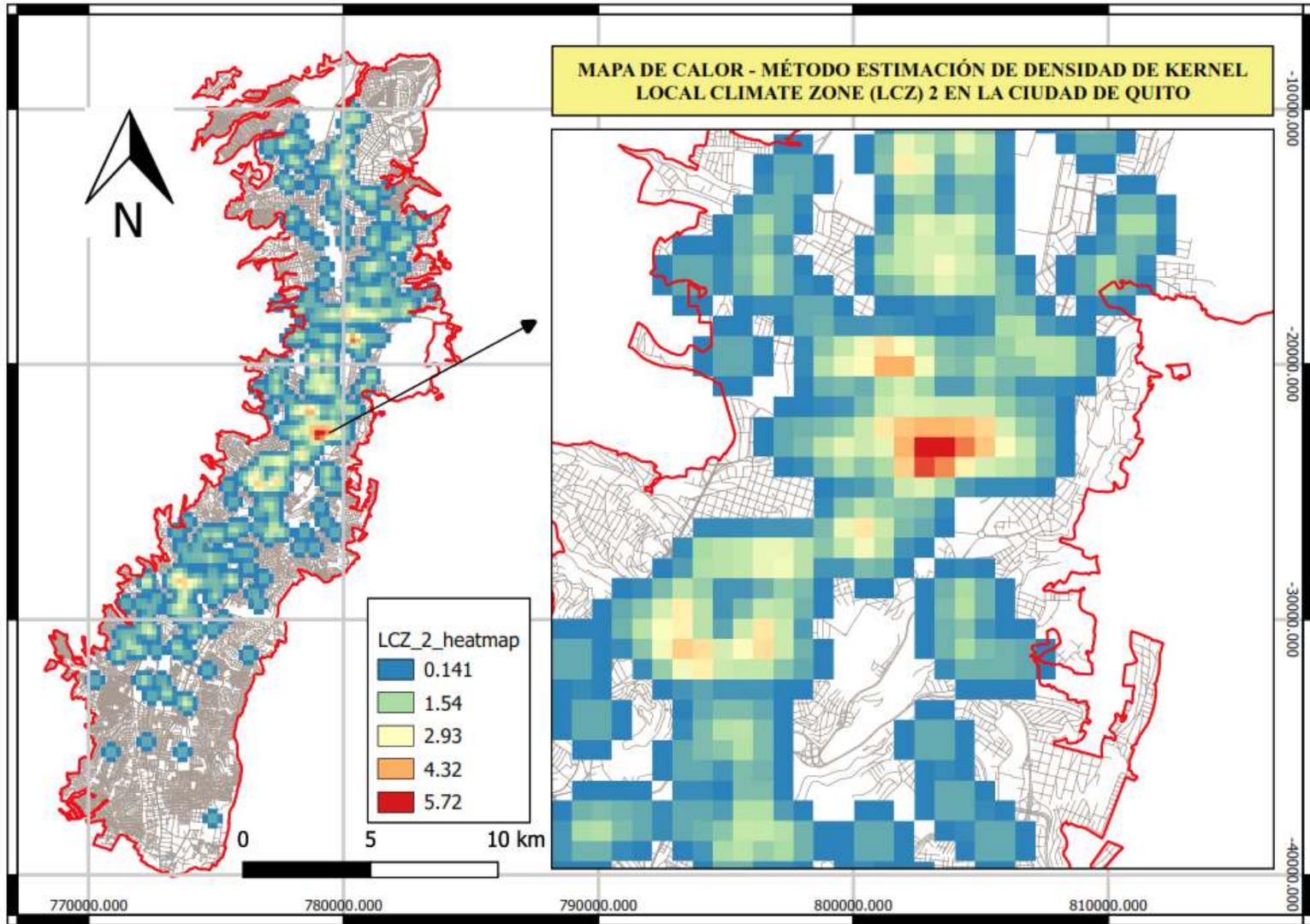
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 112: LCZ 2, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



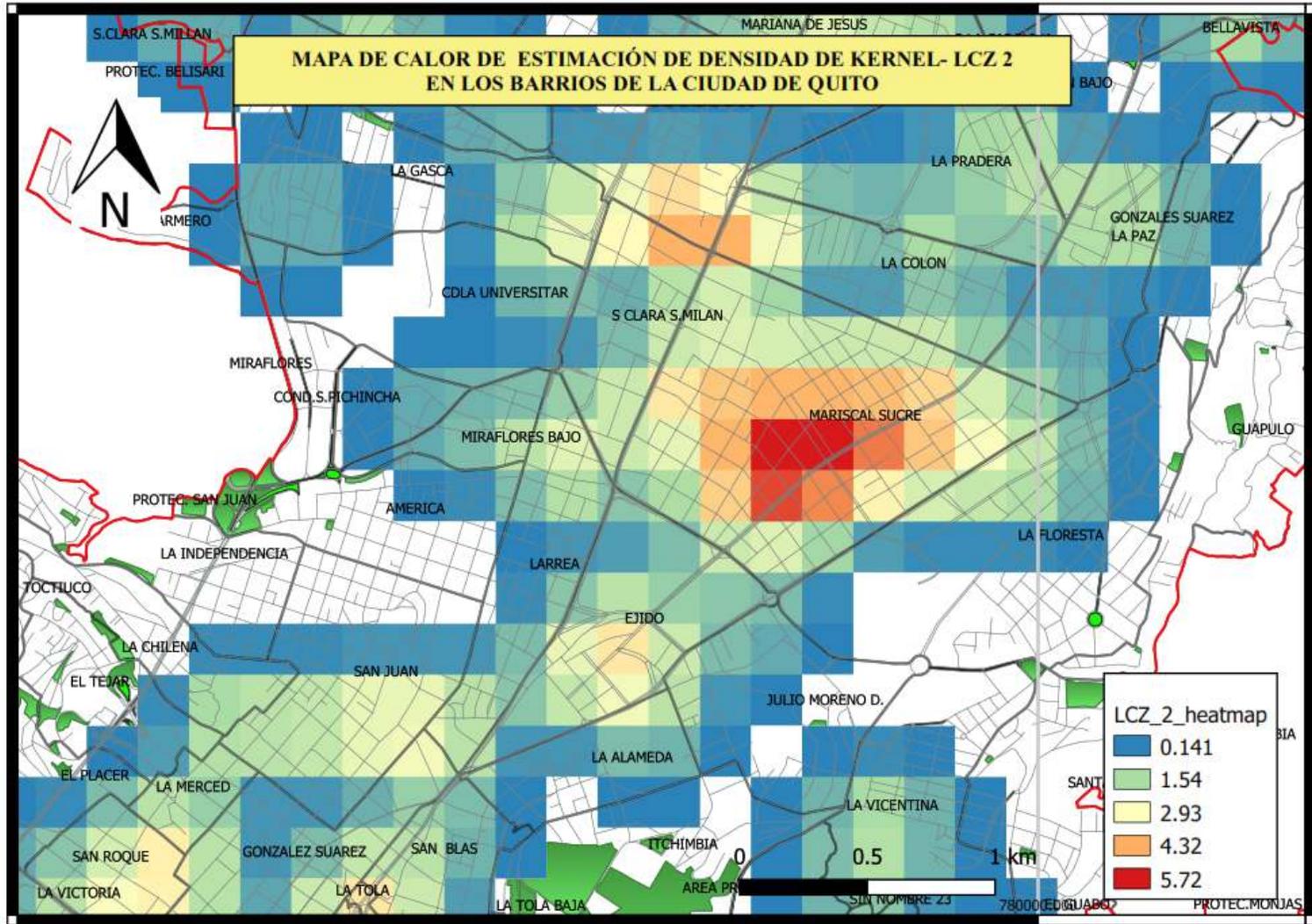
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 113: Mapa de Kernel - LCZ 2 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 114: Mapa de Kernel - LCZ 2 en los Barrios de la Ciudad

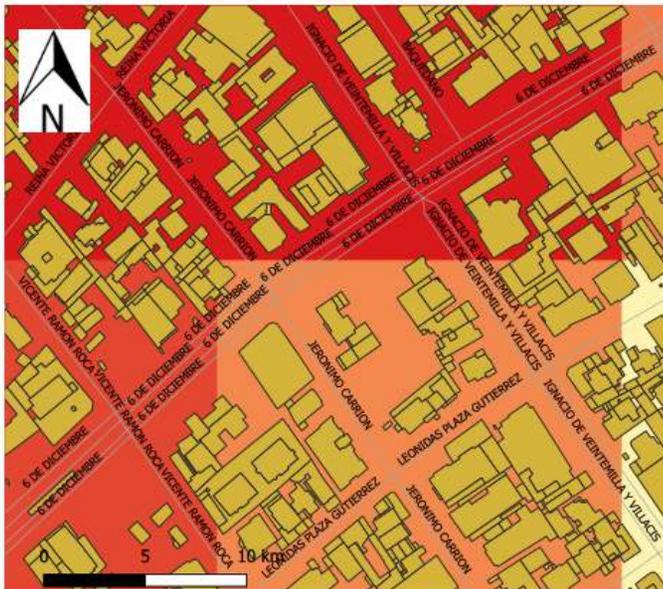


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ-2

En la figura 115, se observa el área más representativa, tiene una dimensión de 200 x 200 metros, siendo una área de 40.000 m², en esta área se cuantifica 7 coberturas de superficie en m² (Ver tabla 29) y se calcula los porcentajes (Ver figura 116). Se observa en color beige las edificaciones y las líneas de color gris representan las calles.

Figura 115: LCZ-2 más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

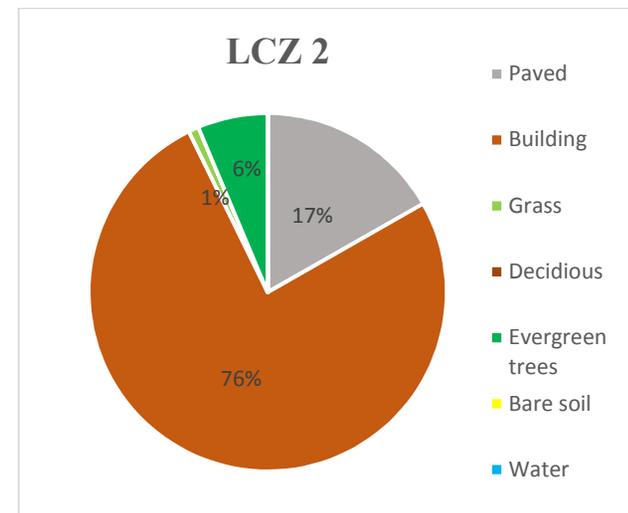
Tabla 29: Materiales que identifican a LCZ 2

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	6703,80
<i>Building (-)</i>	30390,20
<i>Grass (-)</i>	372,00
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	2534,00
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 116: Materiales de cobertura de superficie LCZ 2



Fuente: Elaborado por la autora

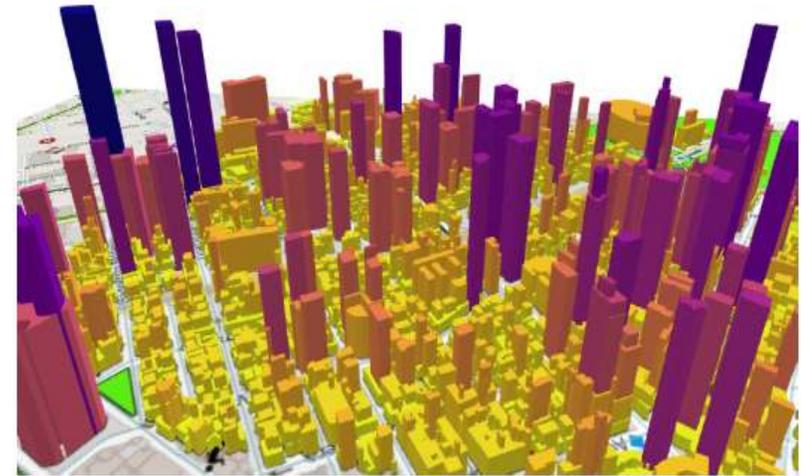
Siendo el 45% corresponde cobertura con la construcción de las edificaciones, el 48% a pavimento, el 6% a arborización, el 1% a vegetación baja (césped), en este prototipo no existe la presencia de suelo desnudo, agua y arborización de ciclo corto.

Geometría urbana de LCZ 2

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 117) con el software QGIS.

Siguiendo la metodología de Stewart y Oke (2012), se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 30); en esta tipología predominan los edificios sobre los 4 pisos, una de las características es la mezcla del tamaño de las edificaciones en donde podemos encontrar edificaciones que sobrepasan los 4 pisos junto a edificaciones de 1 piso, además, se observa la carencia de árboles frondosos.

Figura 117: LCZ 2 en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 30: Análisis de edificaciones en LCZ-2

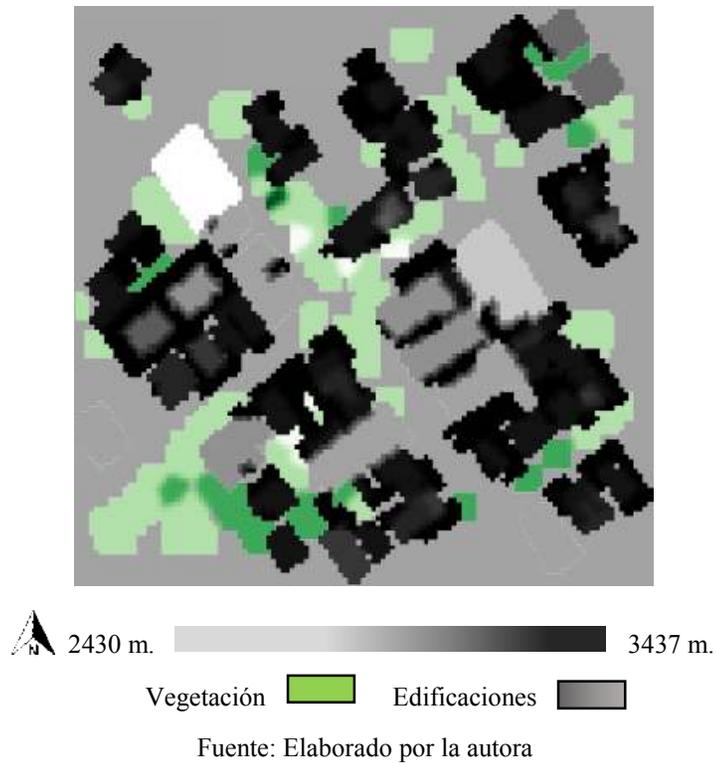
Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	10,46
<i>Mean vegetation height</i>	5,71
<i>Frontal area index buildings</i>	1,43
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,57
<i>Building height standard dev.</i>	5,17
<i>Vegetation height standard dev.</i>	1,31
<i>Maximum building height</i>	45,00
<i>Maximum vegetation height</i>	9,00

Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-2

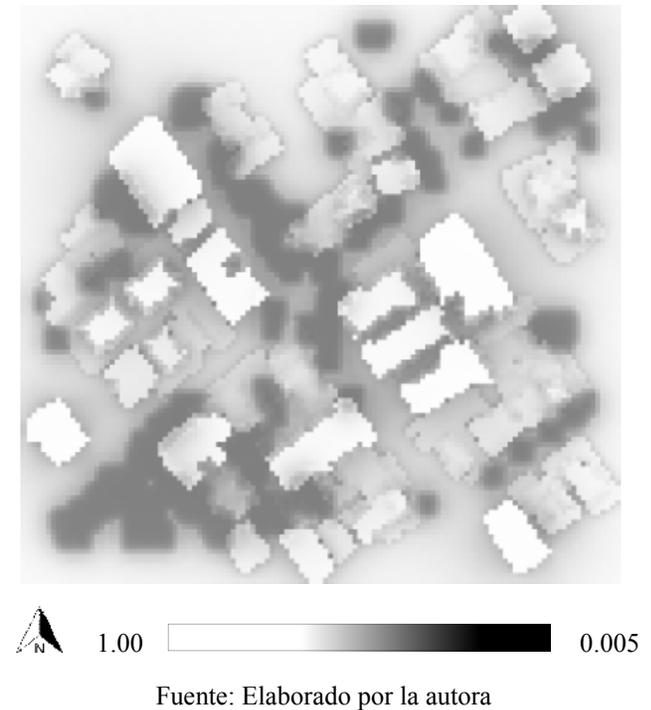
Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-2 (Ver figura 118), el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 118: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-2



Con el geoprocesamiento se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-2 de la Ciudad de Quito (Ver figura 119), siendo un intervalo de 0.005 a 1. Al comparar la figura 118 y 119 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-2 un espacio cerrado, con poca visibilidad.

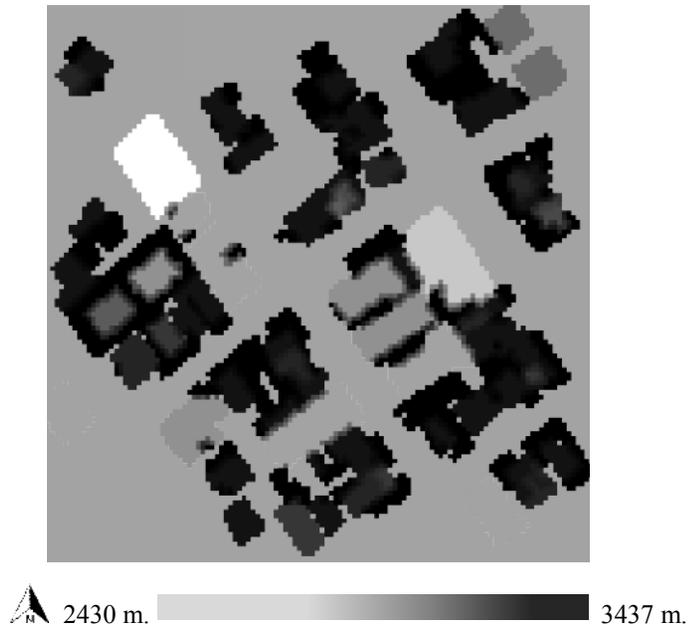
Figura 119: *Sky View Factor*, con UMEP de LCZ-2



Wall aspect en LCZ-2

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS. Para la elaboración se realizó un DSM de suelo y edificaciones (Ver figura 120).

Figura 120: DSM de las edificaciones en LCZ-2

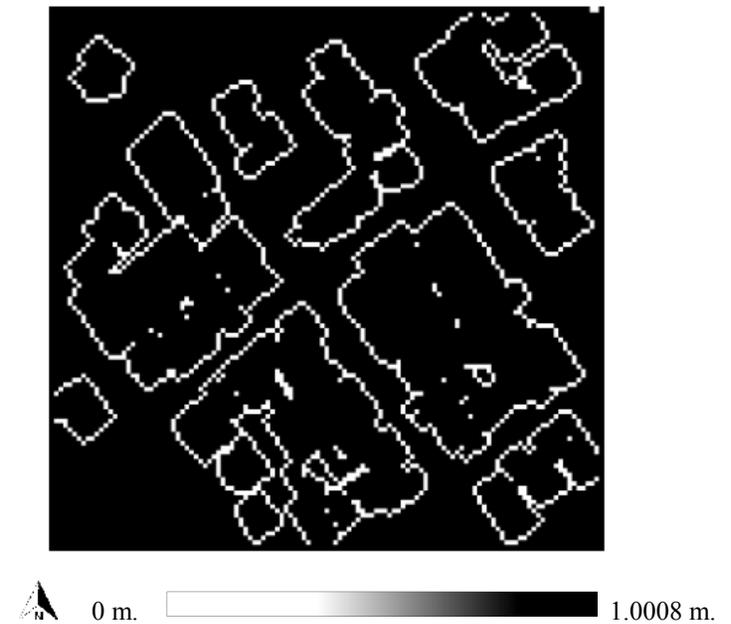


Fuente: Elaborado por la autora

Como resultado se obtiene un mapa ráster de *Wall aspect*, siendo los resultados obtenidos para LCZ-2 de la Ciudad de Quito desde

0 a 1.0008 (Ver figura 121), es un rango que se encuentra dentro del intervalo que indica la metodología de Stewart y Oke (2012).

Figura 121: *Wall aspect* de LCZ-2 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

La información de materiales de cobertura de superficie y de geometría urbana se sintetiza en una matriz (Ver tabla 31) según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie para *Local Climate Zone LCZ-2* en la Ciudad de Quito

Tabla 31: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ – 2

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-2	0.005 - 1	0 -1	44	48	7	>6	7

Fuente: Elaborado por la autora

6.4. LCZ 3 – Compacto de baja altura (*Compact low – rise*) en la Ciudad de Quito

Este prototipo se encuentra a lo largo de toda la Ciudad de Quito, la altura de las edificaciones es de 3 a 9 metros, el área más predominante esta en el sur de las ciudad en los barrios Santa Rita y Solanday al norte de la ciudad en los barrios La Pisulí, Jaime Roldós y Consejo Provincial (Ver figura 122).

Figura 122: Barrio Solanda - LCZ 3 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

El uso del suelo está destinado en su mayoría a residencial en los pisos superiores y en la planta baja a comercio (Ver figura 123).

Las edificaciones en su mayoría tienen estructura de concreto armado, las fachadas tienen un gran porcentaje de presencia de vidrio; las vías son de asfalto, la vegetación en aceras y parterre es nula. El espacio entre las edificaciones en su mayoría es nula.

Figura 123: Barrio La Pisulí - LCZ 3 de la Ciudad de Quito

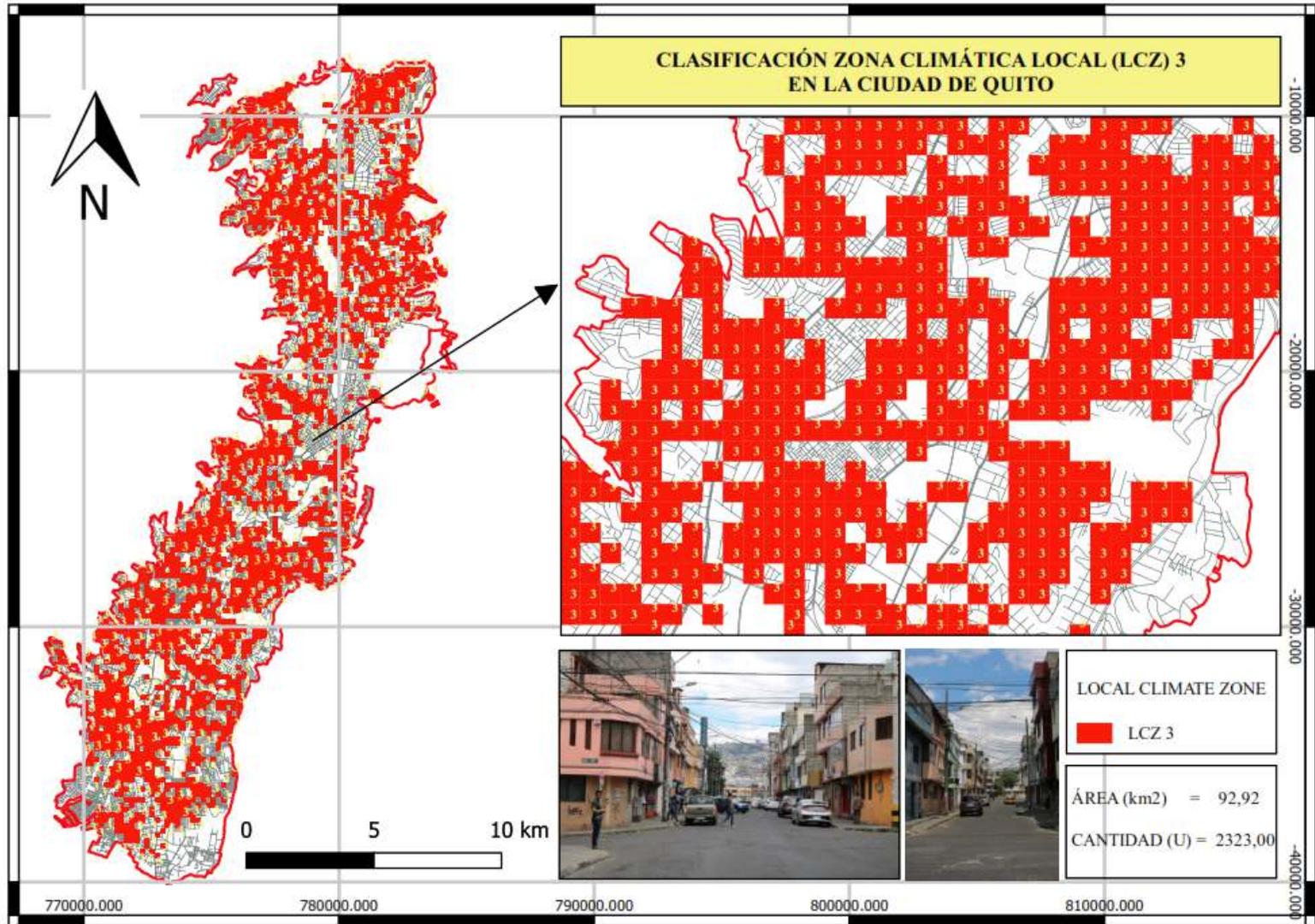


Fuente: Elaborado por la autora

Las figuras 124, 125, 126 y 127 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

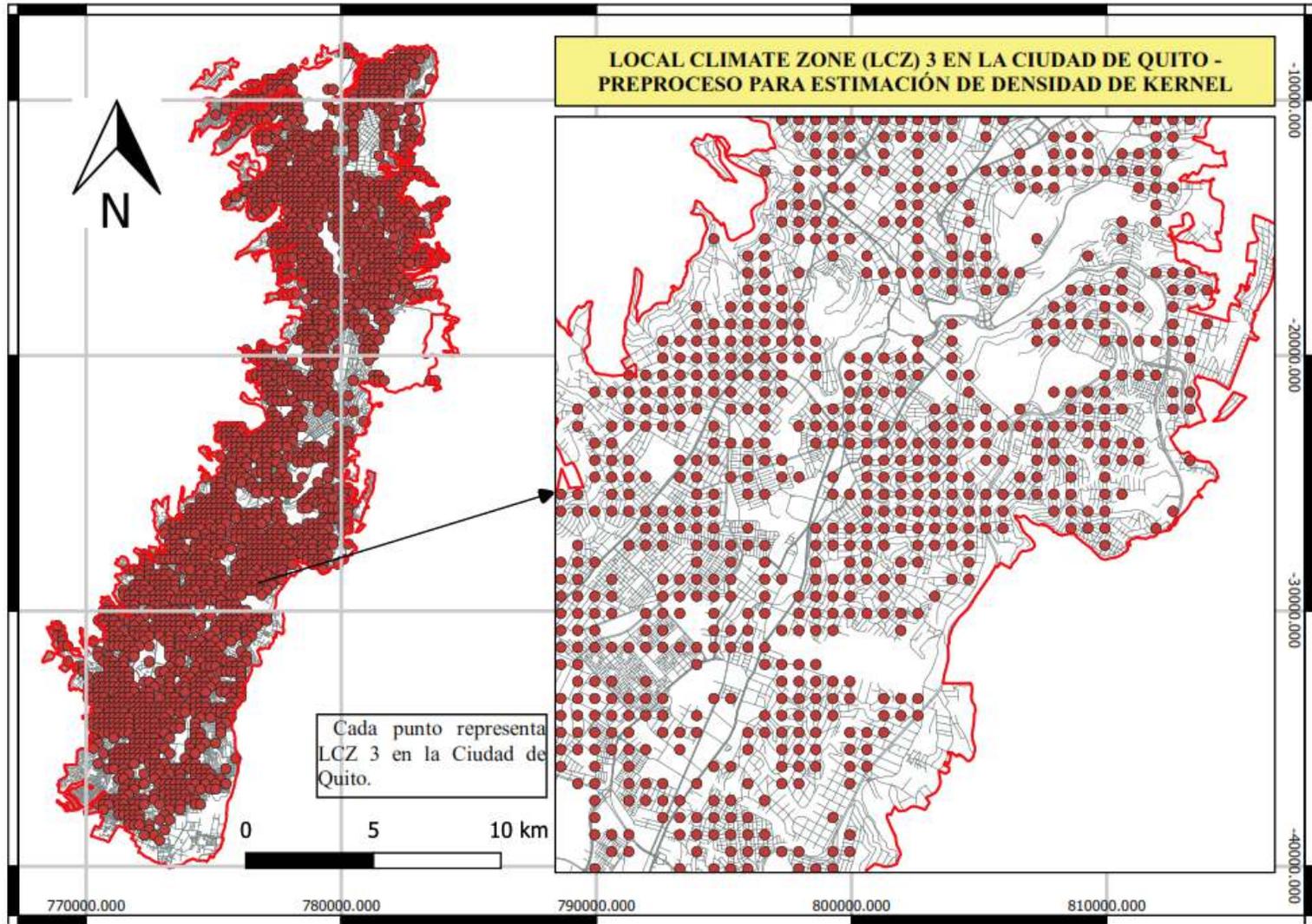
Este prototipo tiene 2.323 muestras y 92,92 km² en la ciudad, siendo el 45,78% cerca a la mitad de la superficie de la ciudad.

Figura 124: Local Climate Zone 3 en la Ciudad de Quito



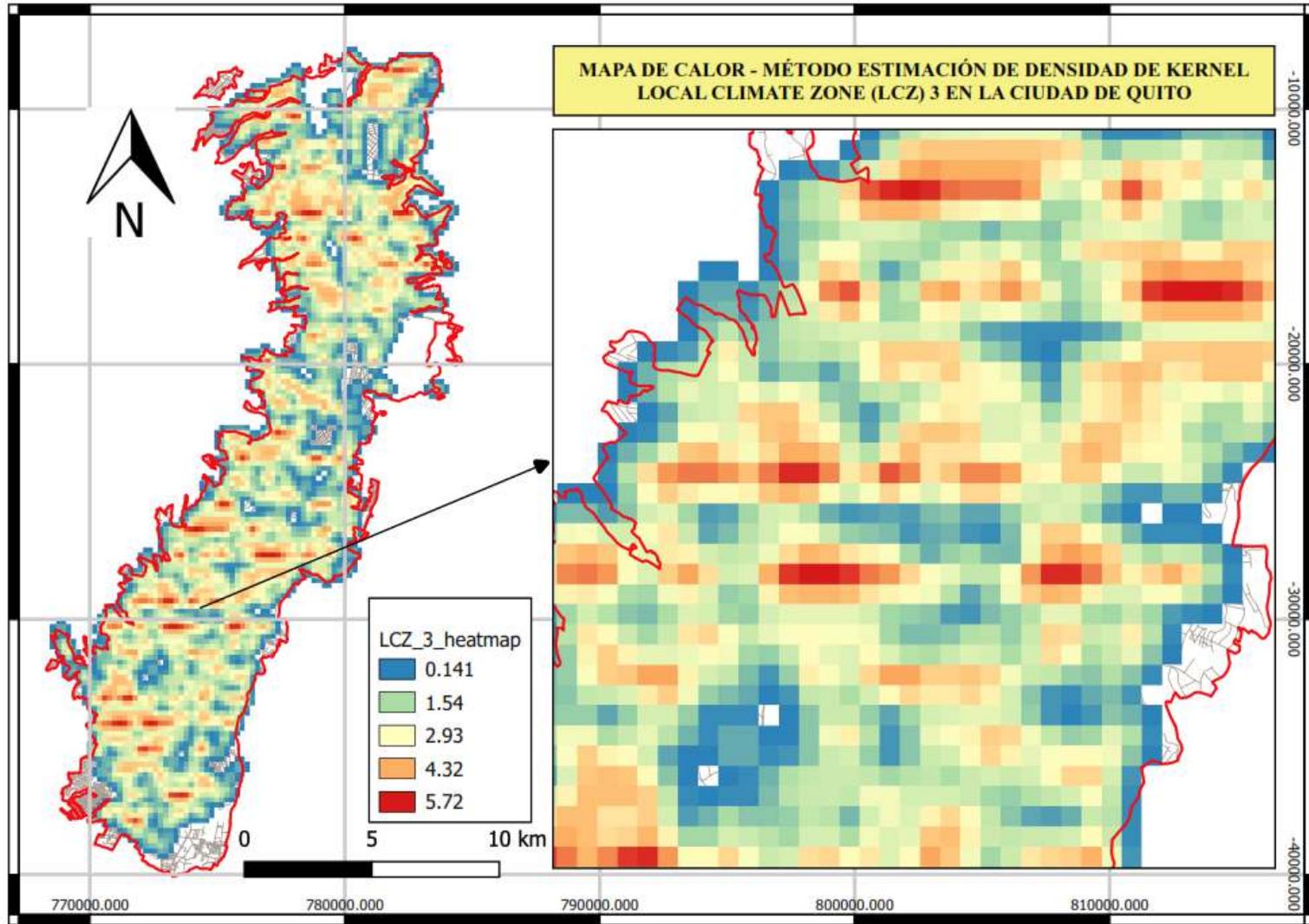
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 125: LCZ 3, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



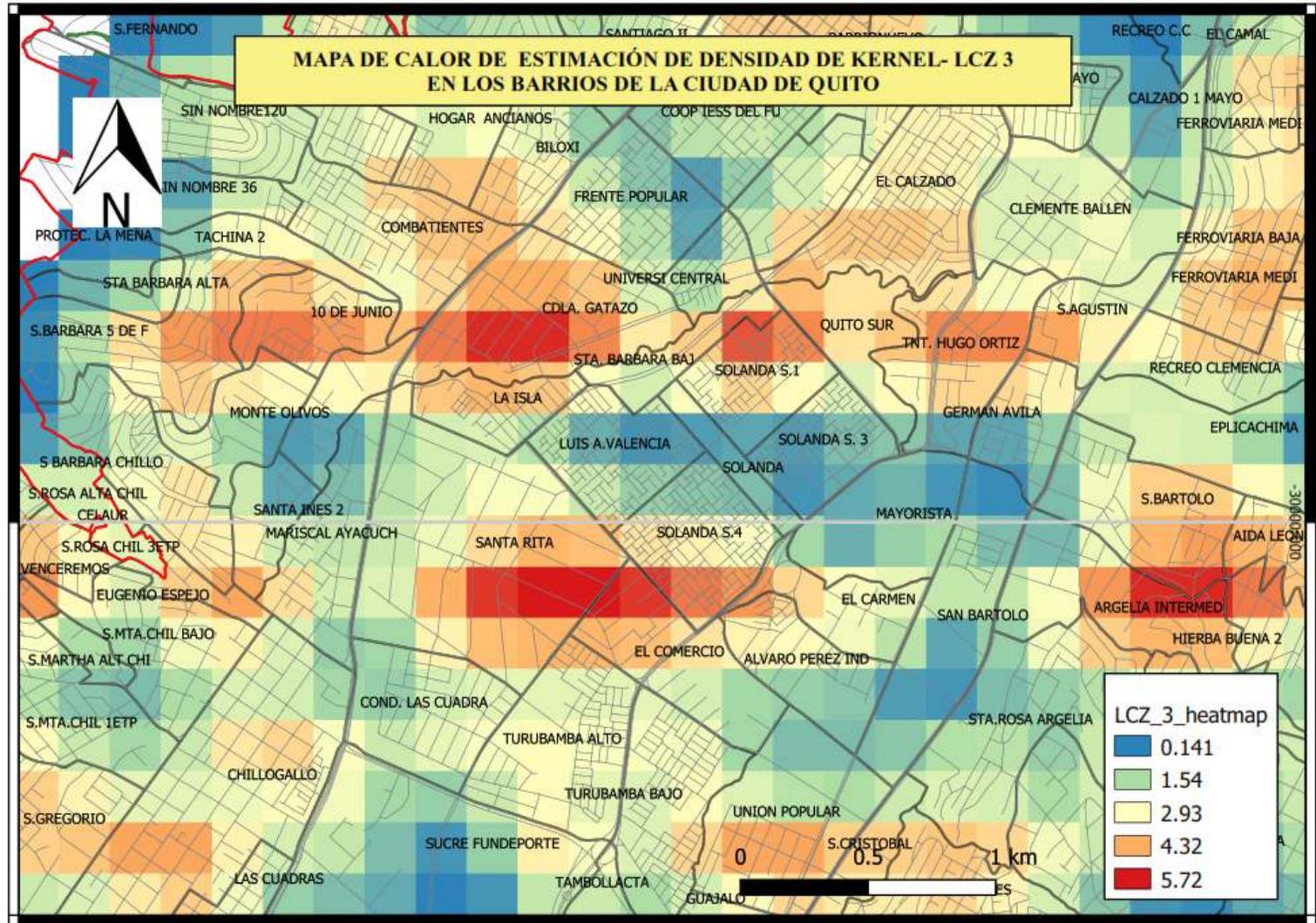
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 126: Mapa de Kernel - LCZ 3 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 127: Mapa de Kernel - LCZ 3 en los Barrios de la Ciudad

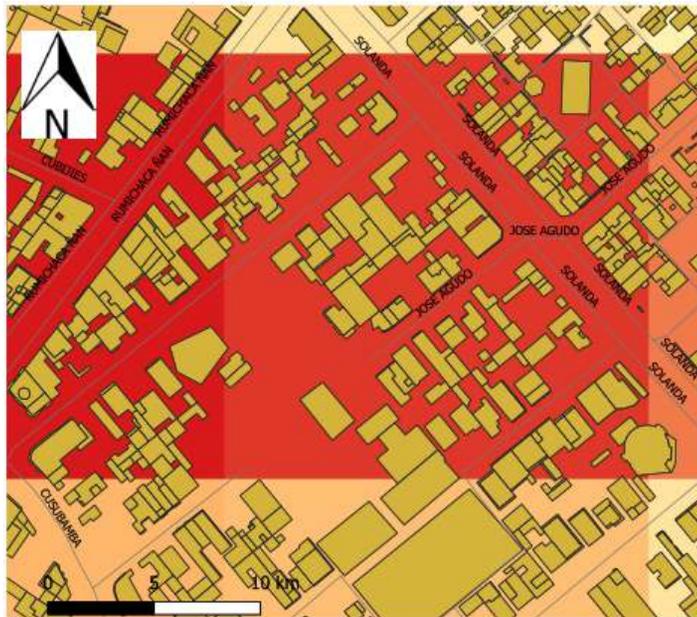


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ-3

Se observa (Ver figura 128) en color beige las edificaciones que tienen un tamaño menor en relación a LCZ 1, el concreto de las edificaciones y el pavimento es el material de construcción predominante (Ver tabla 32).

Figura 128: LCZ-3 más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

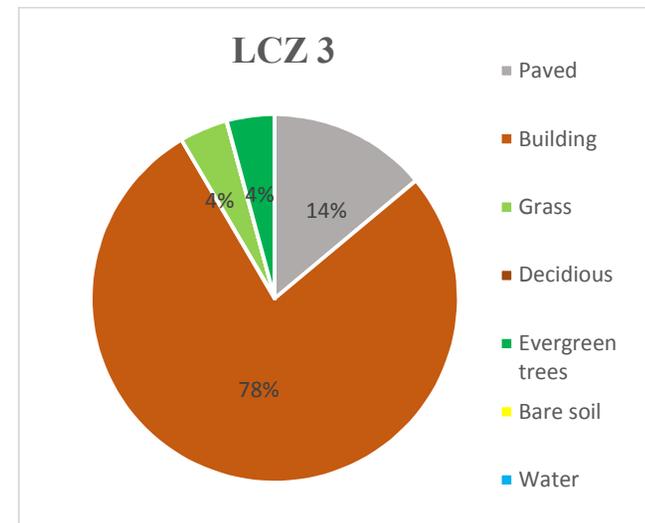
Tabla 32: Materiales que identifican a LCZ 3

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	5573,70
<i>Building (-)</i>	31038,30
<i>Grass (-)</i>	1701,00
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	1687,00
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados (Ver figura 129) son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 129: Materiales de cobertura de superficie LCZ 3



Fuente: Elaborado por la autora

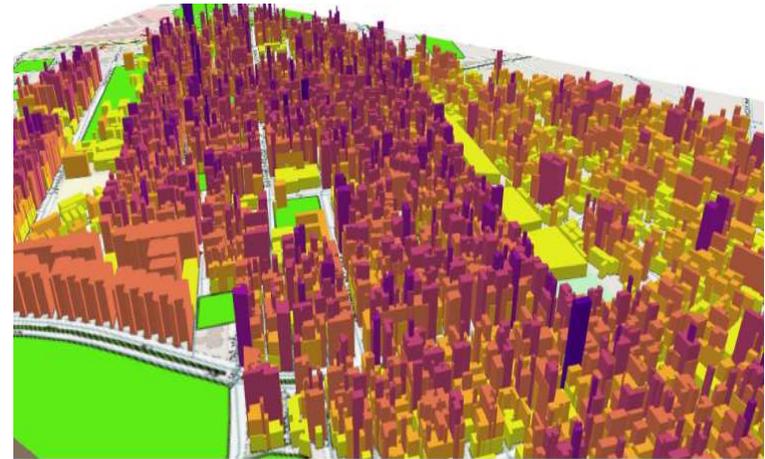
Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo como resultado que el 78% corresponde cobertura con la construcción de las edificaciones, el 14% a pavimento, el 4% a arborización, el 4% a vegetación baja (césped), en este prototipo no existe la presencia de suelo desnudo, agua y arborización de ciclo corto.

Geometría urbana de LCZ 3

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (ver figura 130) con el software QGIS.

Se puede observar que en la LCZ-3 en la Ciudad de Quito predominan los edificios de 1 a 3 pisos, una de las características es la mezcla del tamaño de las edificaciones, ya que existen dentro de este prototipo algunos edificios de 4, 5, 6, 7 pisos, la densidad de construcción es alta, son pocos los lotes vacíos, esta información es procesada en una matriz (Ver tabla 33).

Figura 130: LCZ 3 en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 33: Análisis de edificaciones en LCZ-3

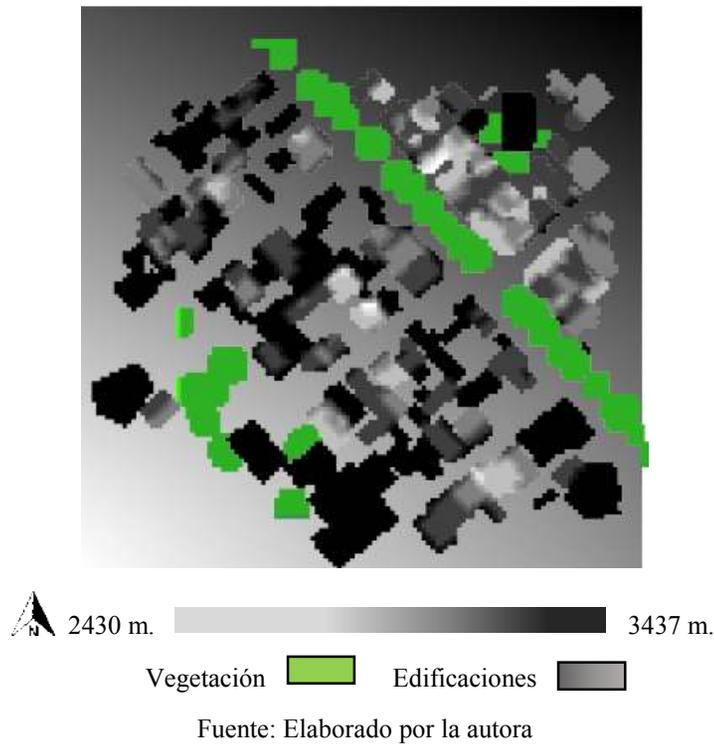
Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	6,61
<i>Mean vegetation height</i>	5,88
<i>Frontal area index buildings</i>	1,25
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,03
<i>Building height standard dev.</i>	3,29
<i>Vegetation height standard dev.</i>	1,22
<i>Maximum building height</i>	15,00
<i>Maximum vegetation height</i>	8,00

Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-3

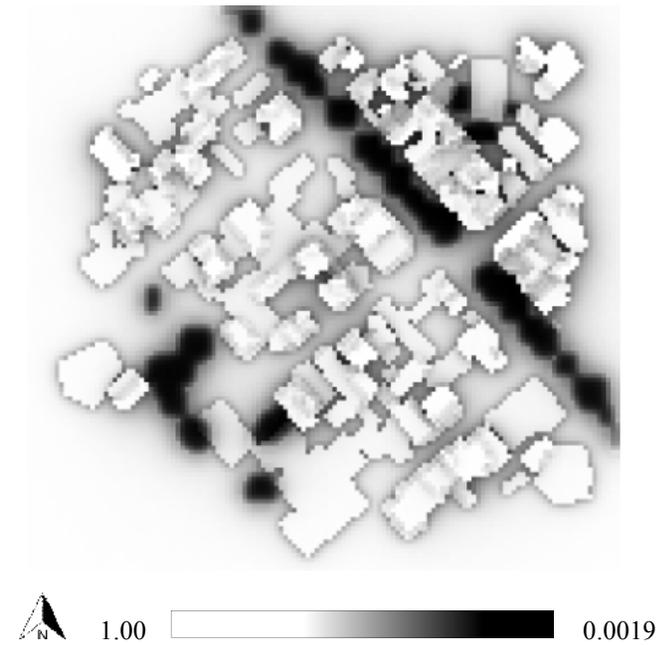
Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-3, el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde (Ver figura 131).

Figura 131: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-3



La figura 132 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-3 de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.019 a 1.

Figura 132: *Sky View Factor*, con UMEP de LCZ-3 de Quito

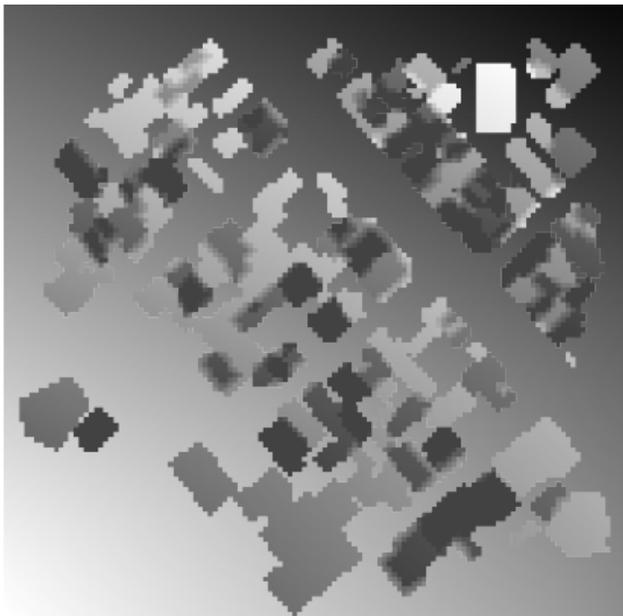


Fuente: Elaborado por la autora

Wall aspect en LCZ-3

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS, para ello se realizó un DSM de suelo y edificaciones (Ver figura 133). Los resultados obtenidos para LCZ-3 de la Ciudad de Quito va desde 0 a 3.40 (Ver figura 134).

Figura 133: DSM de las edificaciones en LCZ-3



▲ 2430 m.  3437 m.

Fuente: Elaborado por la autora

Figura 134: *Wall aspect* –LCZ-3 de la Ciudad de Quito



▲ 0 m.  3.40 m.

Fuente: Elaborado por la autora

La información de materiales de cobertura de superficie y de geometría urbana se sintetiza en una matriz (Ver tabla 34) según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-3 de la Ciudad de Quito

Tabla 34: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ 3

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-3	0.0019-1	0 – 3.40	78	14	8	>6	6

Fuente: Elaborado por la autora

6.5. LCZ 4 – Abierto de gran altura (*Open high – rise*) en la Ciudad de Quito

Este prototipo se encuentra en el centro norte de la Ciudad de Quito en el barrio Bellavista (Ver figura 135), la altura de las edificaciones fluctúan de 27 a 45 metros, su uso está destinado a residencia.

Figura 135: Paisaje urbano de LCZ 4 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

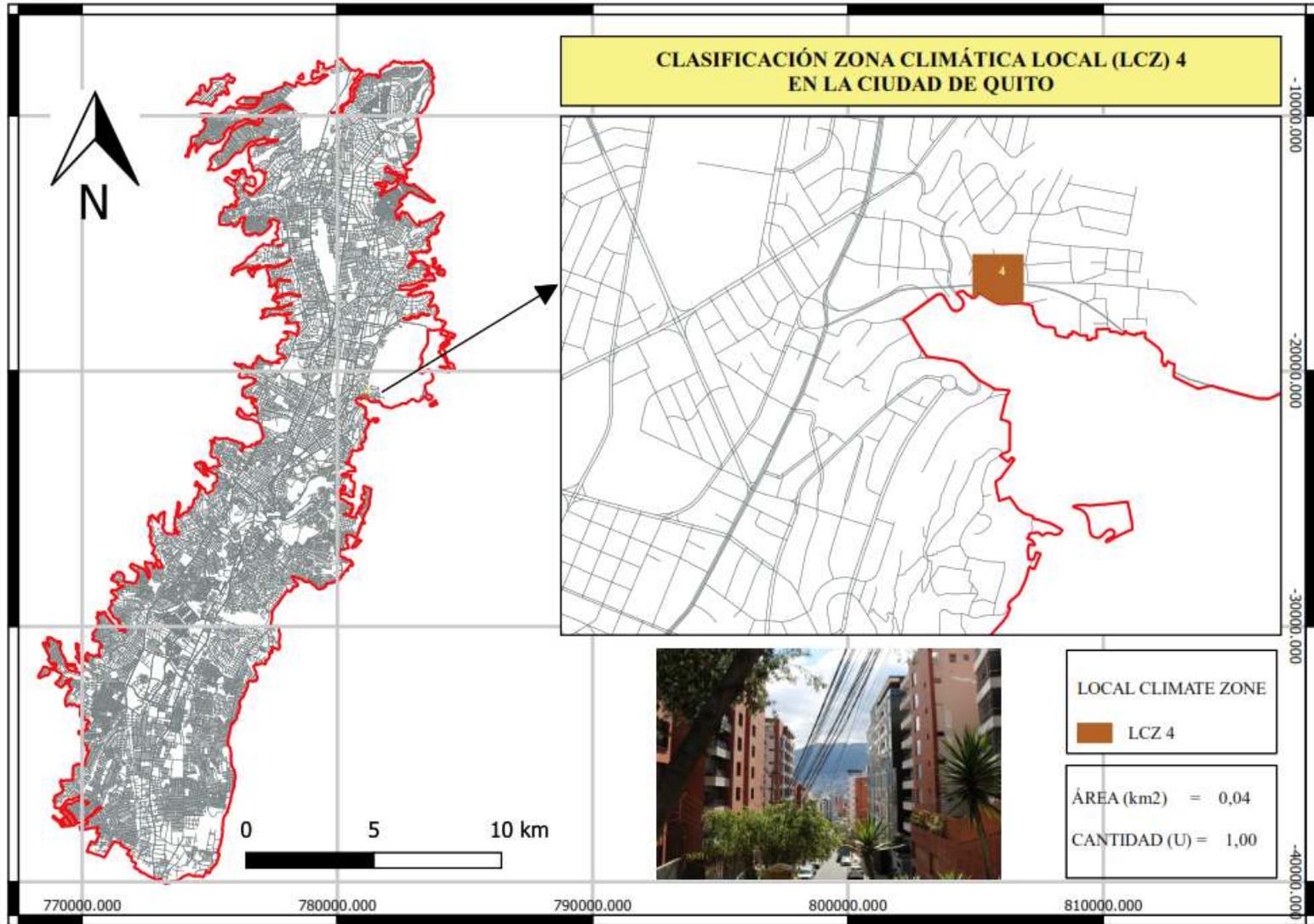
De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el Barrio Bellavista, al norte Calle Quiteño Libre, Bosmediano, al sur calle Oswaldo Guayasamin, al este calle Federico Gonzalez Suárez y al oeste calle Jose Carbo.

Las edificaciones en su mayoría tienen estructura de concreto armado, las fachadas tienen un gran porcentaje de presencia de vidrio; las vías son de asfalto, la vegetación en aceras y parterres es frondosa. El espacio entre las edificaciones en su mayoría es amplio.

Las figuras 136, 137, 138 y 139 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

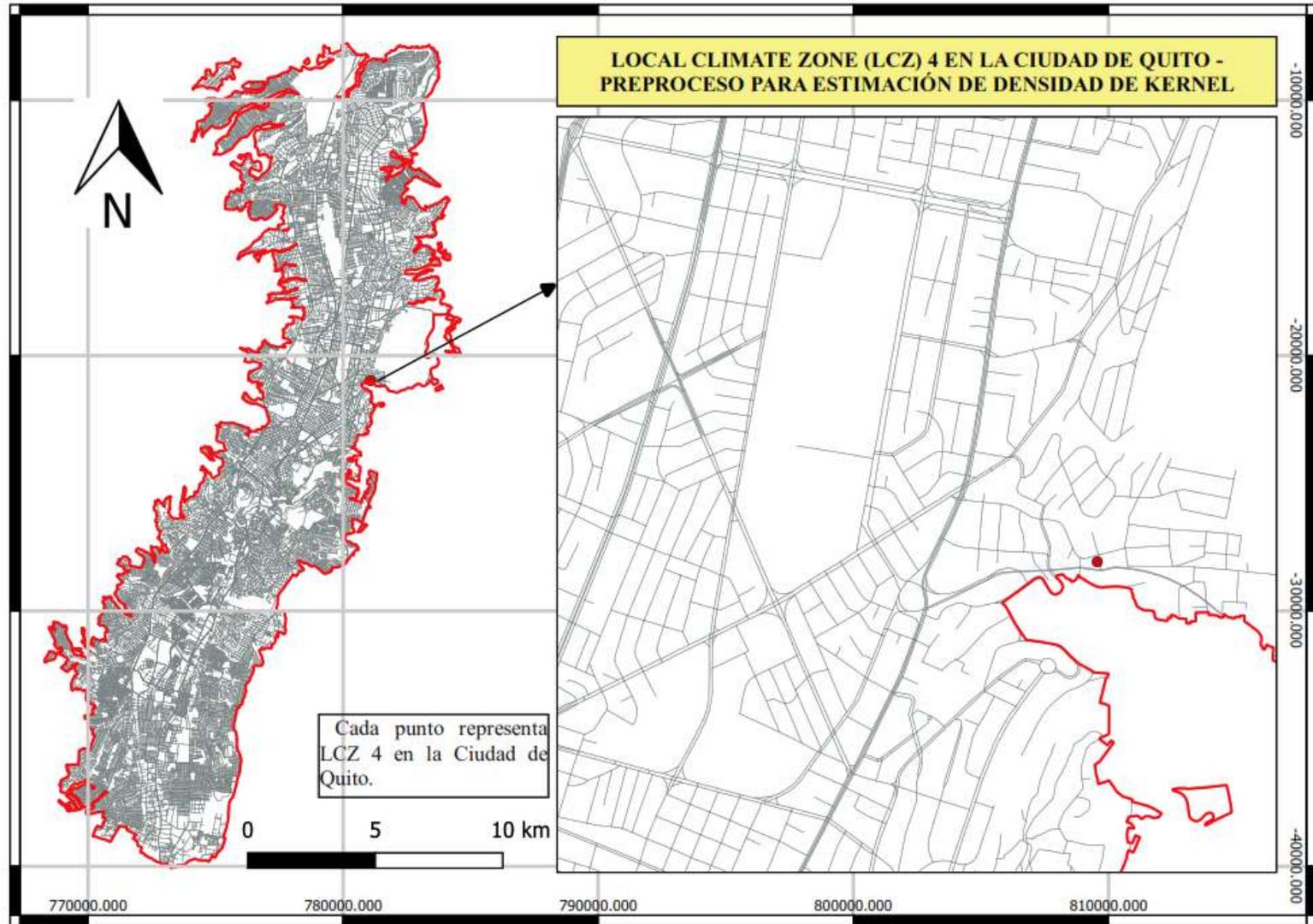
Este prototipo tiene 1 muestra y 0,04 km² en la ciudad, siendo el 0,02% de la superficie de la ciudad y el menos presente en la ciudad.

Figura 136: Local Climate Zone 4 en la Ciudad de Quito



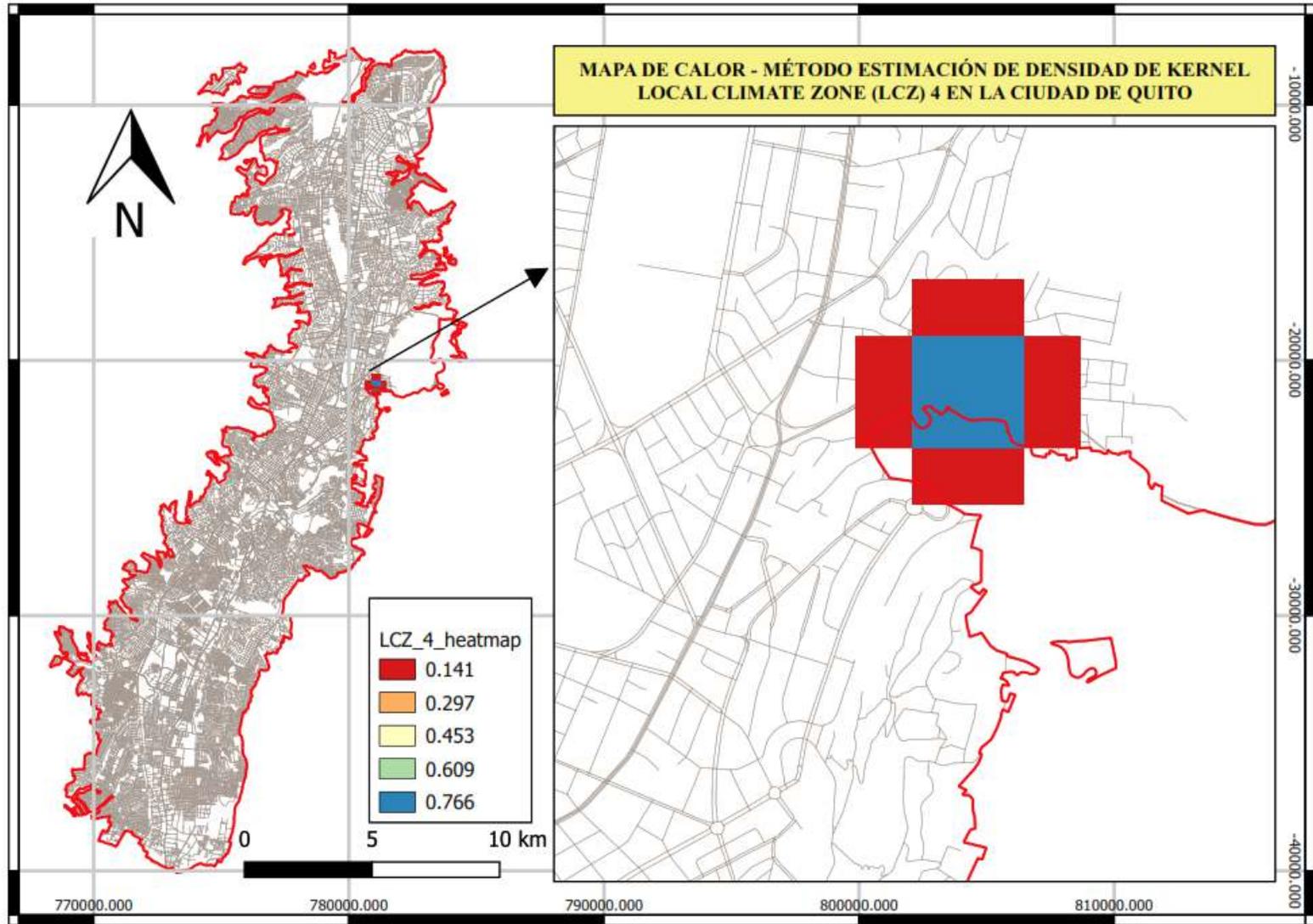
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 137: LCZ 4, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



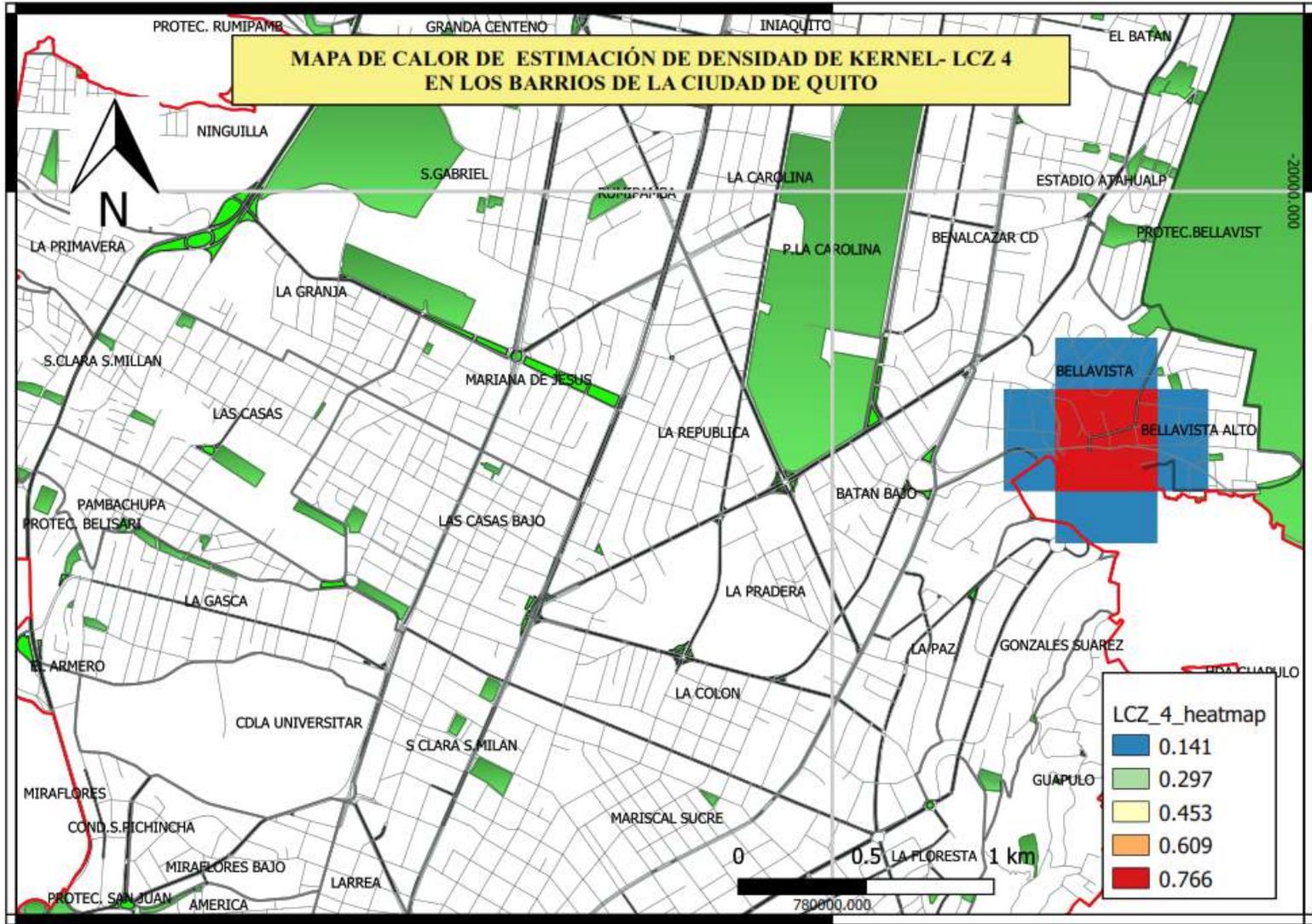
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 138: Mapa de Kernel - LCZ 4 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 139: Mapa de Kernel - LCZ 4 en los Barrios de la Ciudad

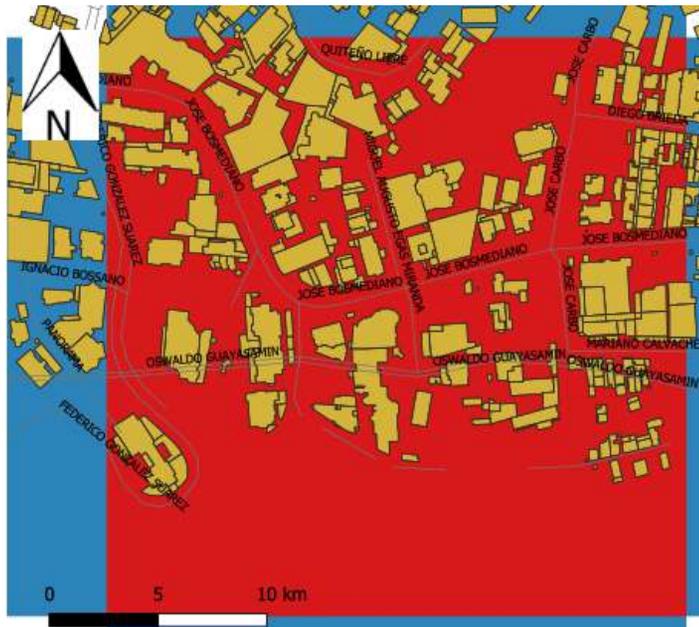


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -4

El área más representativa de LCZ 4 (Ver figura 140), tiene una dimensión de 200 x 200 metros, siendo una área de 40.000 m², en esta área se cuantifica 7 coberturas de superficie en m² (Ver figura 35) y en porcentajes (Ver figura 141), en esta figura el color beige representa las edificaciones y las líneas de color gris representan las calles.

Figura 140: LCZ-4 más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

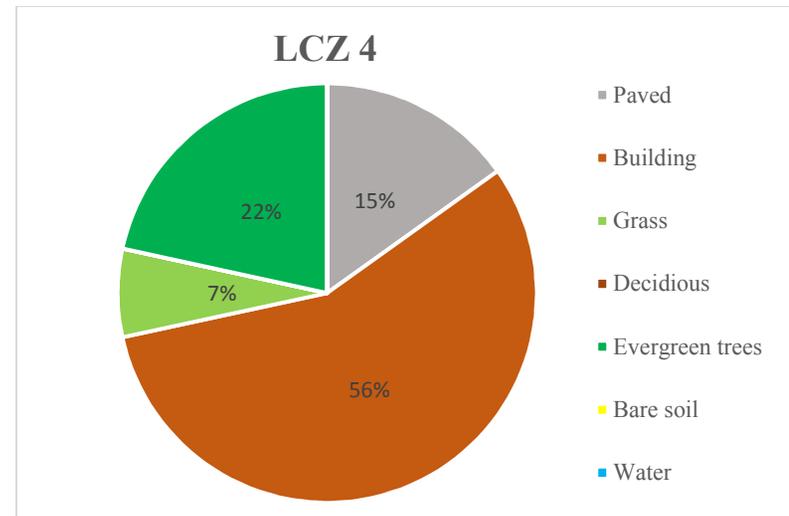
Tabla 35: Materiales que identifican a LCZ 4

Elementos de análisis	m ²
<i>Paved (-)</i>	6183,00
<i>Building (-)</i>	23101,42
<i>Grass (-)</i>	2775,60
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	8827,20
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 141: Materiales de cobertura de superficie LCZ 4



Fuente: Elaborado por la autora

Siendo el 56% corresponde a la cobertura de construcción de las edificaciones, el 15% al recubrimiento de pavimento, el 7% a la vegetación baja (césped), el 22% a la arborización, la presencia de suelo desnudo, agua y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo.

Geometría urbana de LCZ 4

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (ver figura 142) con el software QGIS.

Siguiendo la metodología de Stewart y Oke (2012), se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 36); en esta tipología predominan los edificios sobre los 9 pisos, una de las características es la homogeneidad en la altura de las edificaciones y la presencia de arborización y vegetación baja las cuales son concentradas y muy poco dispersas.

Figura 142: LCZ 4 en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 36: Análisis de edificaciones en LCZ-4

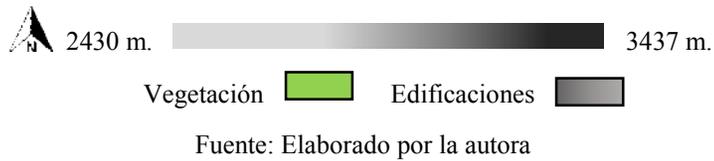
Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	5,69
<i>Mean vegetation height</i>	7,82
<i>Frontal area index buildings</i>	0,60
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,07
<i>Building height standard dev.</i>	5,95
<i>Vegetation height standard dev.</i>	1,63
<i>Maximum building height</i>	36,00
<i>Maximum vegetation height</i>	10,00

Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-4

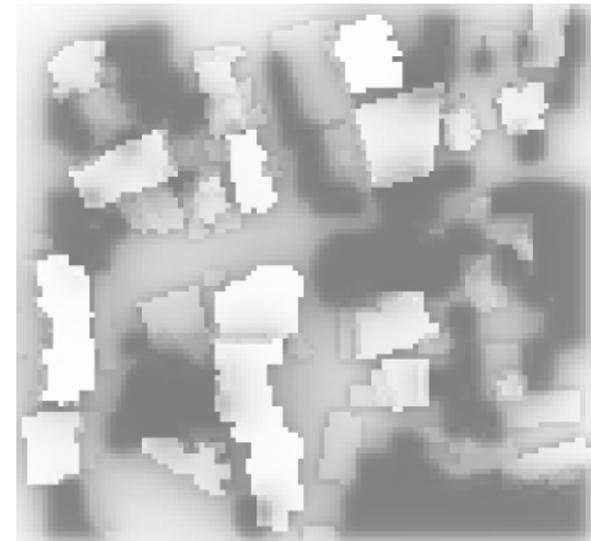
Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación (Ver figura 143) de LCZ-4, el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 143: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-4



Se realiza el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* (Ver figura 144) de LCZ-4 de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.009 a 0.999.

Figura 144: *Sky View Factor*, con UMEP de LCZ-1 de Quito

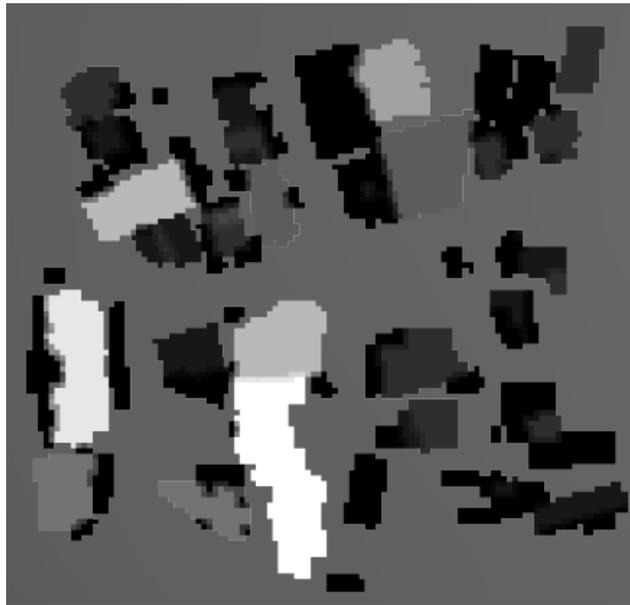


Fuente: Elaborado por la autora

Wall aspect en LCZ-4

Se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS y se elabora un DSM de edificaciones (Ver figura 145).

Figura 145: DSM de las edificaciones en LCZ-4



▲ 2430 m.  3437 m.

Fuente: Elaborado por la autora

Siendo los resultados del geoprocesamiento de *wall height* para LCZ-4 de la Ciudad de Quito (Ver figura 146) desde 0 a 1.000.

Figura 146: *Wall height* –LCZ-4 de la Ciudad de Quito



▲ 0 m.  1.0 m.

Fuente: Elaborado por la autora

La información de materiales de cobertura de superficie y de geometría urbana se sintetiza en una matriz (Ver tabla 37) según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie para LCZ-4

Tabla 37: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-4

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-4	0.009 -0.99	0- 1.00	58	15	29	>5,69	7

Fuente: Elaborado por la autora

6.6. LCZ 5 – Abierto media altura (*Open mid - rise*) en la Ciudad de Quito

Este prototipo se encuentra en el centro norte de la Ciudad de Quito en el barrio La Granja (Ver figura 147), la altura de las edificaciones es de 12 a 24 metros, el uso de suelo es residencial.

Figura 147: Barrio La Granja - LCZ 5 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

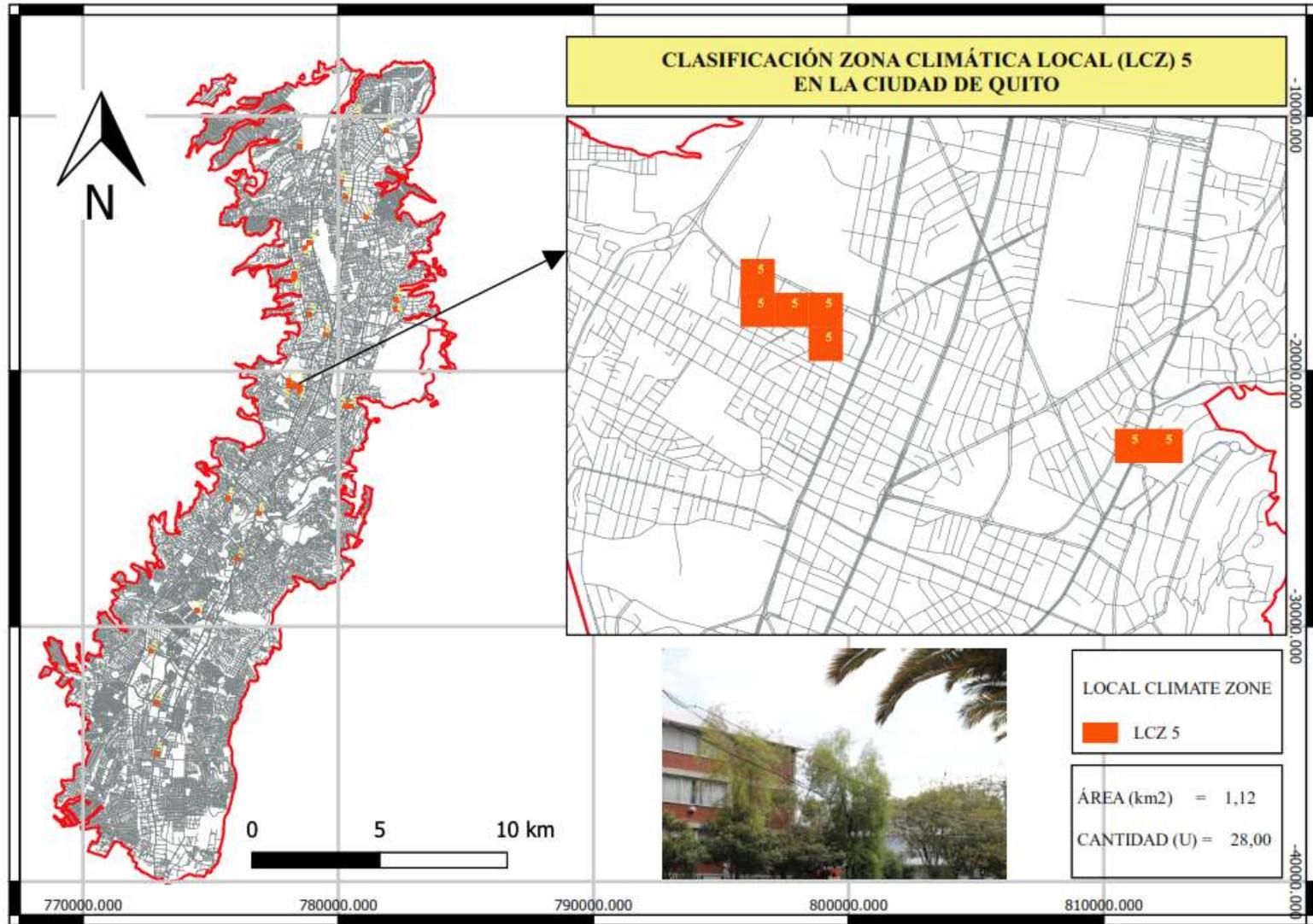
De acuerdo con el método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el Barrio La Granja y Mariana de Jesús, ubicada al norte Av. Mariana de Jesús, al sur Av. San Gabriel, al este la calle Martín Utreras y al oeste calle Gaspar de Carvajal.

Las edificaciones en su mayoría tienen estructura de concreto armado; las vías son de asfalto, la vegetación en aceras y parterre es abundante. El espacio entre las edificaciones es amplio.

Las figuras 148, 149, 150 y 151 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

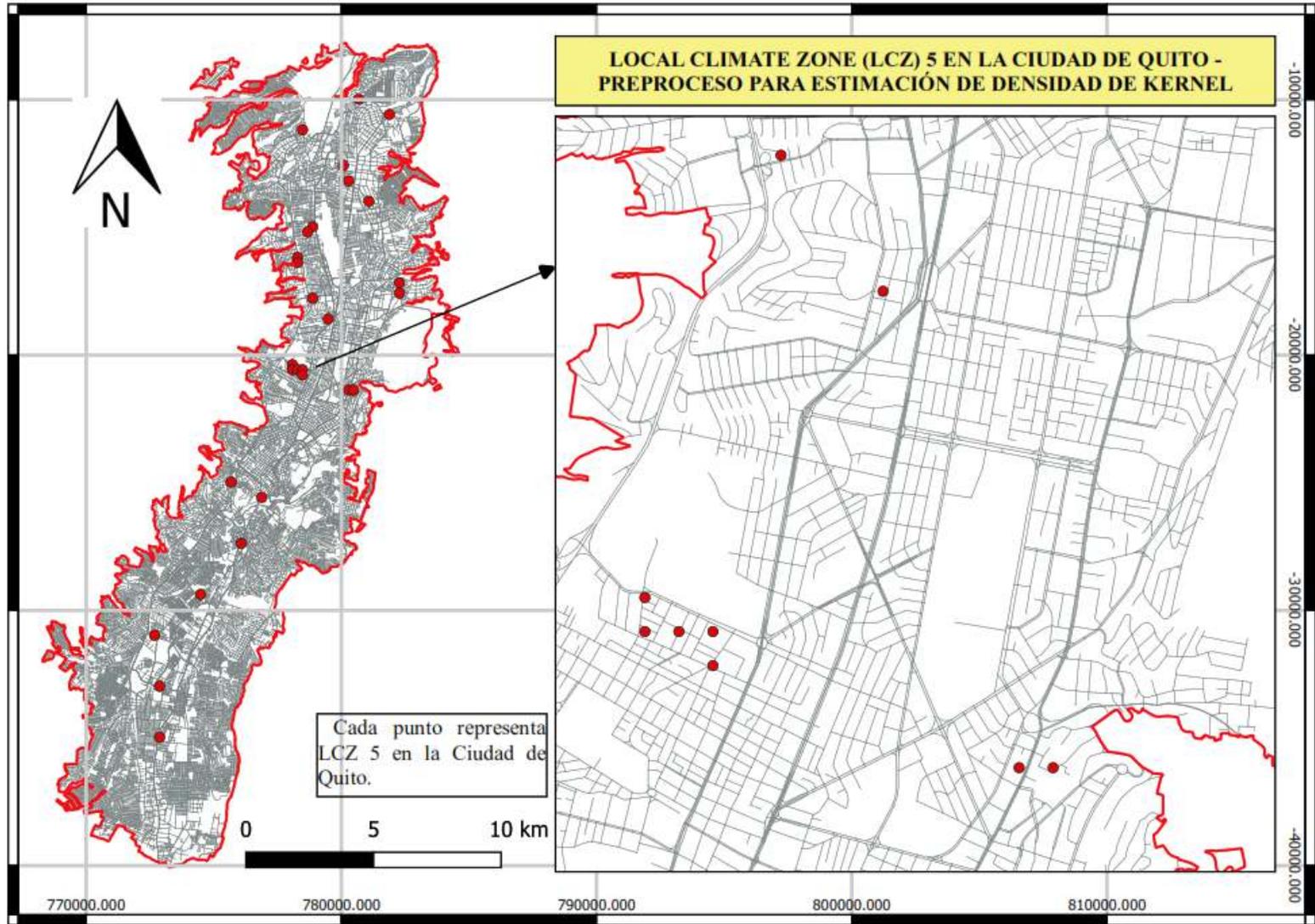
Este prototipo tiene 28 muestras y 1,12 km² en la ciudad, siendo el 0,55%, de la superficie de estudio.

Figura 148: Local Climate Zone 5 en la Ciudad de Quito



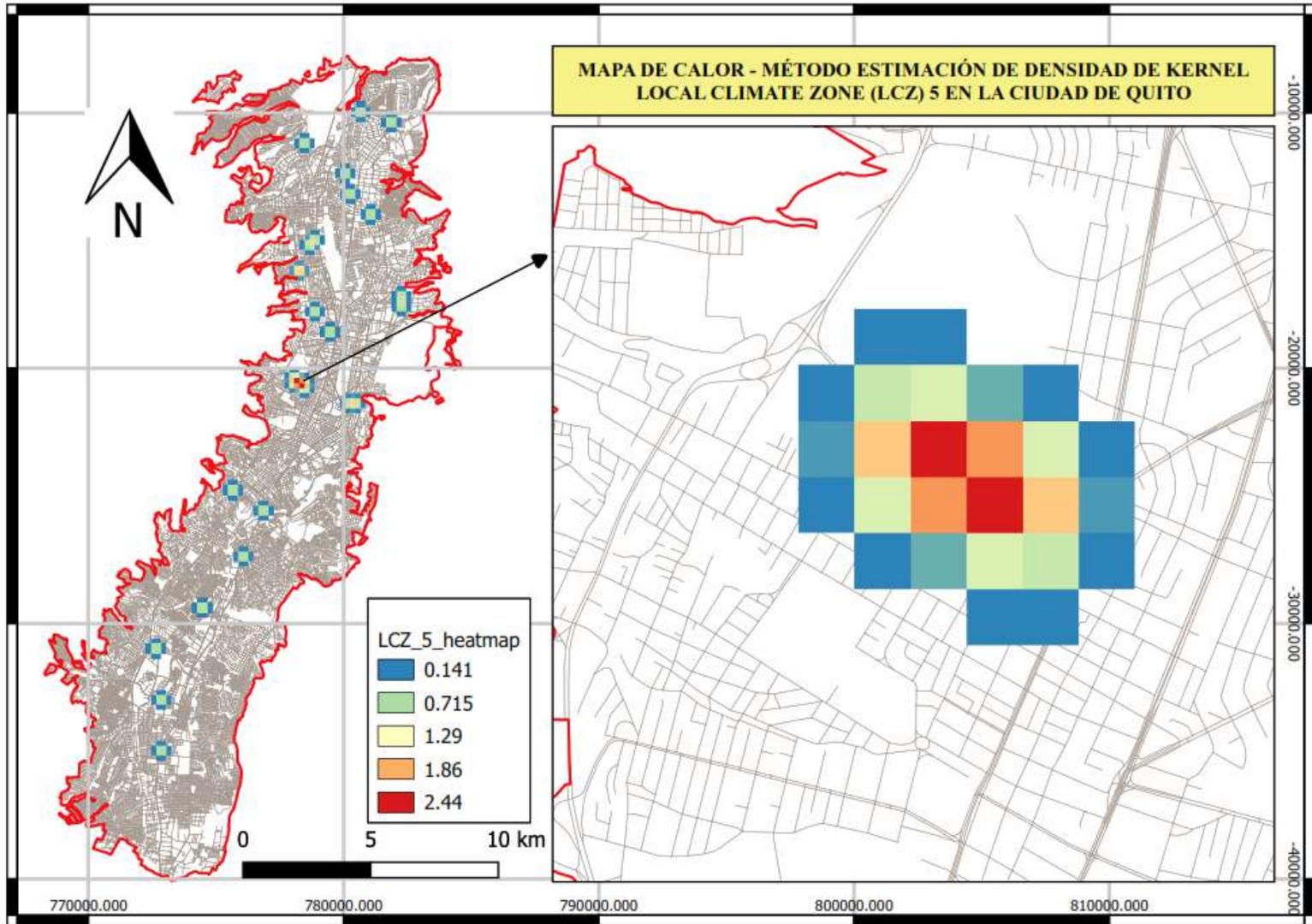
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 149: LCZ 5, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



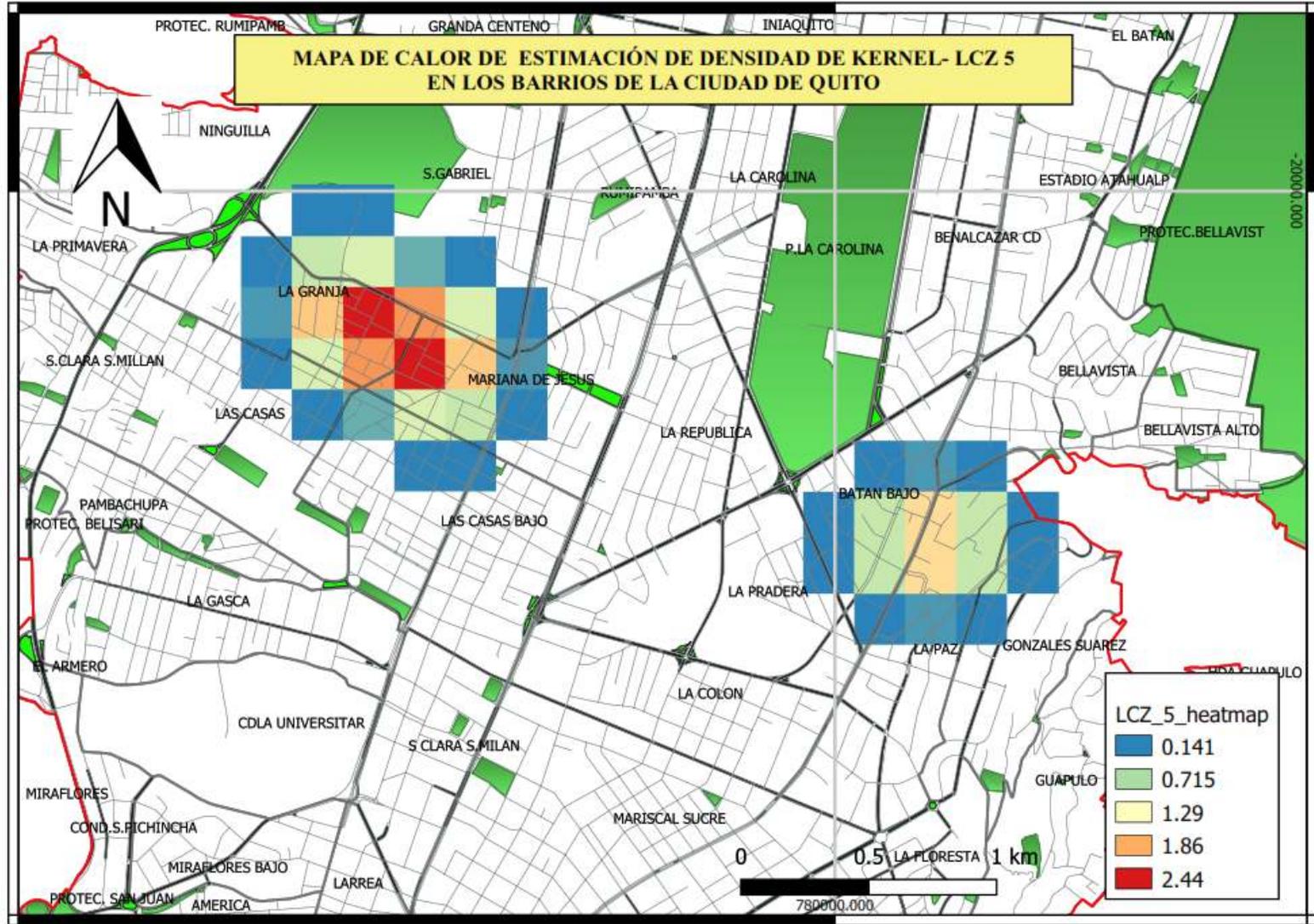
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 150: Mapa de Kernel - LCZ 5 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 151: Mapa de Kernel - LCZ 5 en la Ciudad de Quito

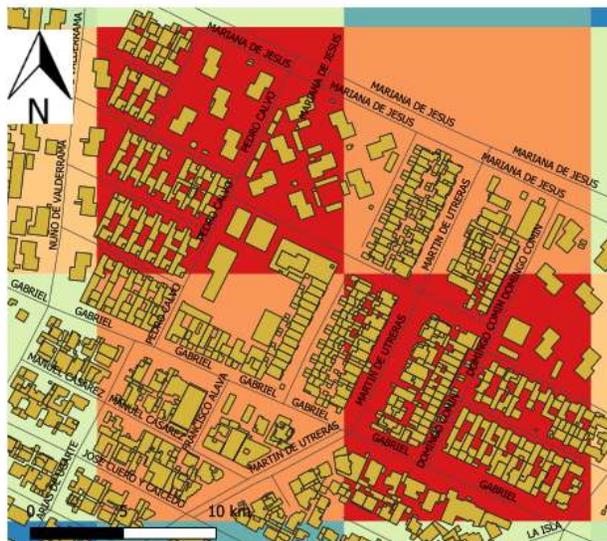


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -5

La figura 152, es el área más representativa de LCZ 5, en la cuantificación de materiales de cobertura de superficie (Ver tabla 38) tiene el 36% de cobertura de construcción de las edificaciones, el 20% al recubrimiento de pavimento, el 31% a la vegetación baja (césped), el 13% a la arborización, la presencia de suelo desnudo, agua y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo.

Figura 152: LCZ-5 más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

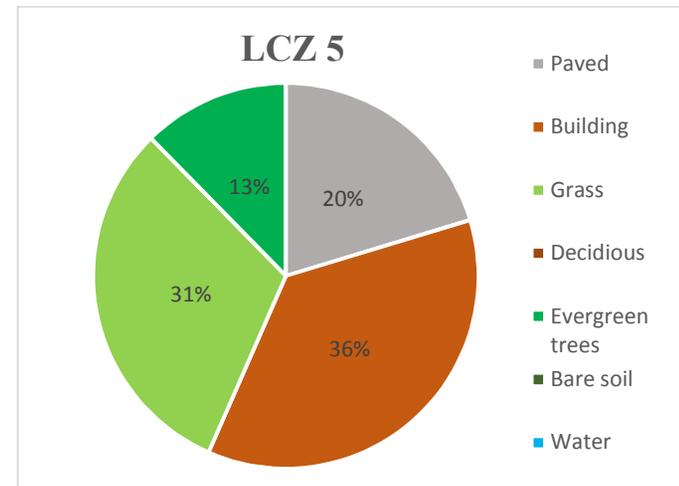
Tabla 38: Materiales que identifican a LCZ 5

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	8131,00
<i>Building (-)</i>	14501,91
<i>Grass (-)</i>	12426,73
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	4940,36
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes (Ver figura 153), obteniendo:

Figura 153: Materiales de cobertura de superficie LCZ 5

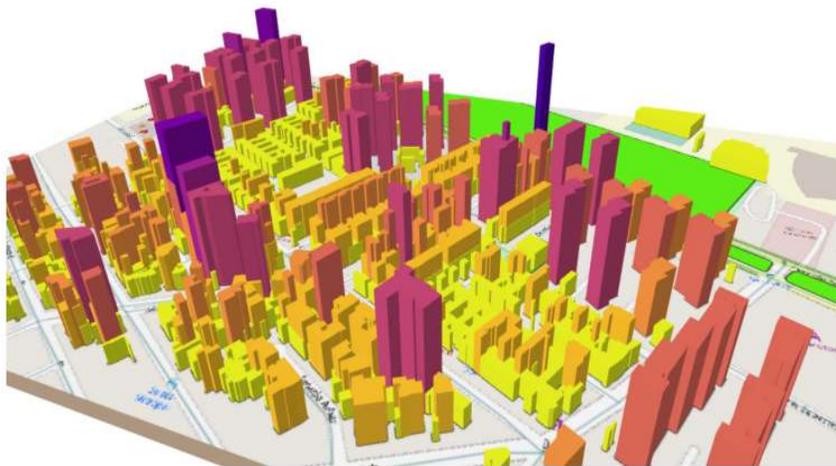


Fuente: Elaborado por la autora

Geometría urbana de LCZ 5

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 154) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 39); en esta tipología predominan los edificios de 4 a 9 pisos, existe una gran presencia de arborización y vegetación baja (césped) que sumadas son el 44% de recubrimiento superando al 36% de cobertura de construcciones.

Figura 154: LCZ 5 en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 39: Análisis de edificaciones en LCZ-5

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	4,13
<i>Mean vegetation height</i>	8,59
<i>Frontal area index buildings</i>	0,45
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,02
<i>Building height standard dev.</i>	3,10
<i>Vegetation height standard dev.</i>	1,73
<i>Maximum building height</i>	15,00
<i>Maximum vegetation height</i>	12,00

Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-5

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un mapa ráster SFV.

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-5 (Ver figura 155). El suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 155: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-5

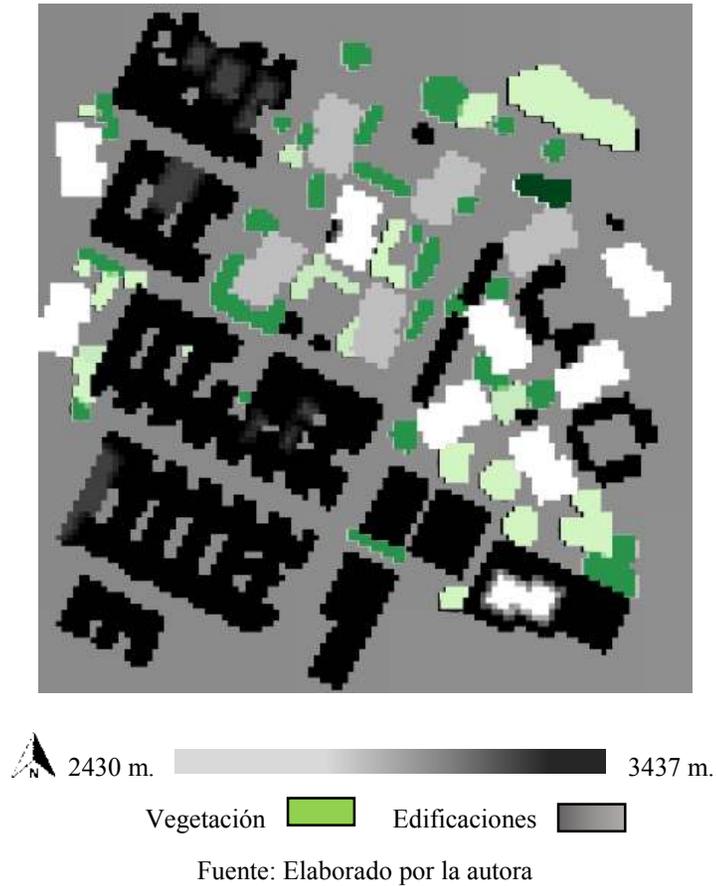
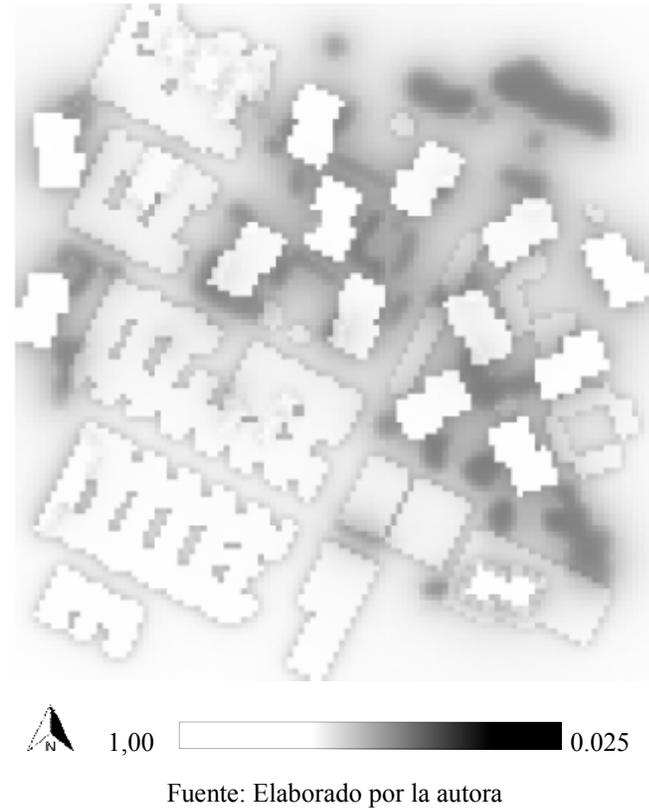


Figura 156: Sky View Factor con UMEP de LCZ-5 de Quito



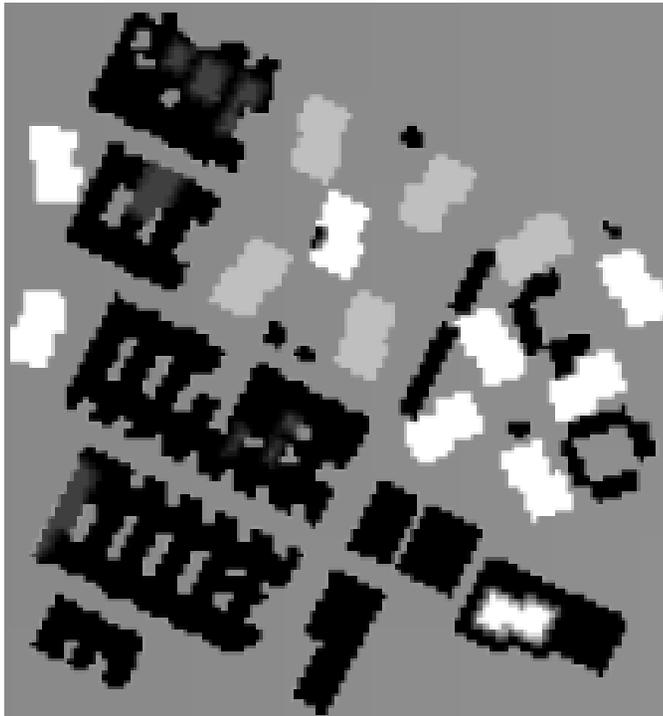
La figura 156 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-5 de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.025 a 1.

Wall aspect en LCZ-5

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS. Para la

elaboración se elaboró un DSM de suelo y edificaciones (Ver figura 157) con ello se indica el cálculo realizado.

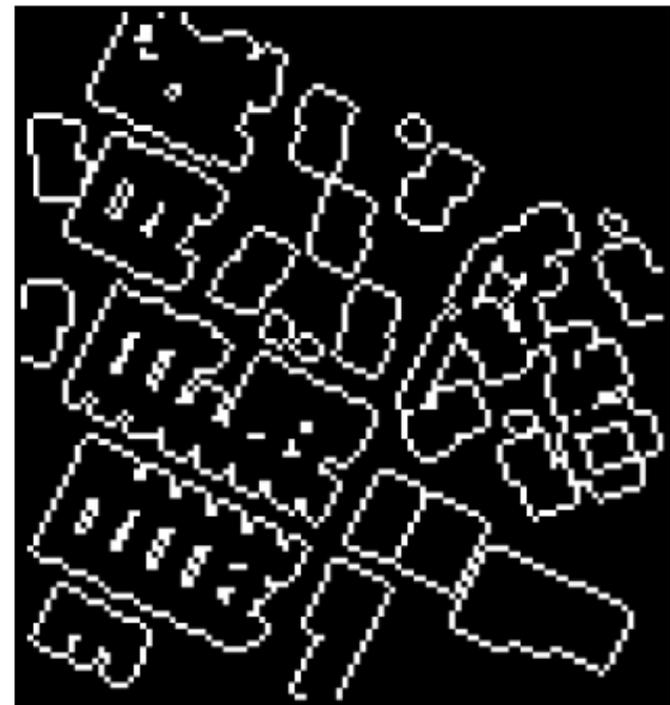
Figura 157: DSM de las edificaciones en LCZ-5



Fuente: Elaborado por la autora

Siendo los resultados obtenidos para LCZ-5 de la Ciudad de Quito desde 0 a 1.000 (Ver figura 158).

Figura 158: *Wall height* –LCZ-5 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

La información de materiales de cobertura de superficie y de geometría urbana se sintetiza en una tabla según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-5

Tabla 40: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-5

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-5	0.02 -1	0-1	36	20	43	>4,13	5

Fuente: Elaborado por la autora

6.7. LCZ 6 – Abierto de baja altura (*Open low - rise*) en la Ciudad de Quito

Este prototipo se encuentra en el centro norte de la Ciudad de Quito en el barrio Tennis Club, San Miguel Amagás y Unión Nacional, la altura de las edificaciones son de 3 a 9 metros, su uso está destinado en su mayoría a vivienda y su mayor presencia corresponde a conjuntos residenciales (Ver figura 159).

Figura 159: LCZ 6 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

El área más representativa está al norte Calle Amagás del Inca, Bosmediano, al sur calle De los Amarantos, al este calle De los Nogales y al oeste calle De los Guayacanes.

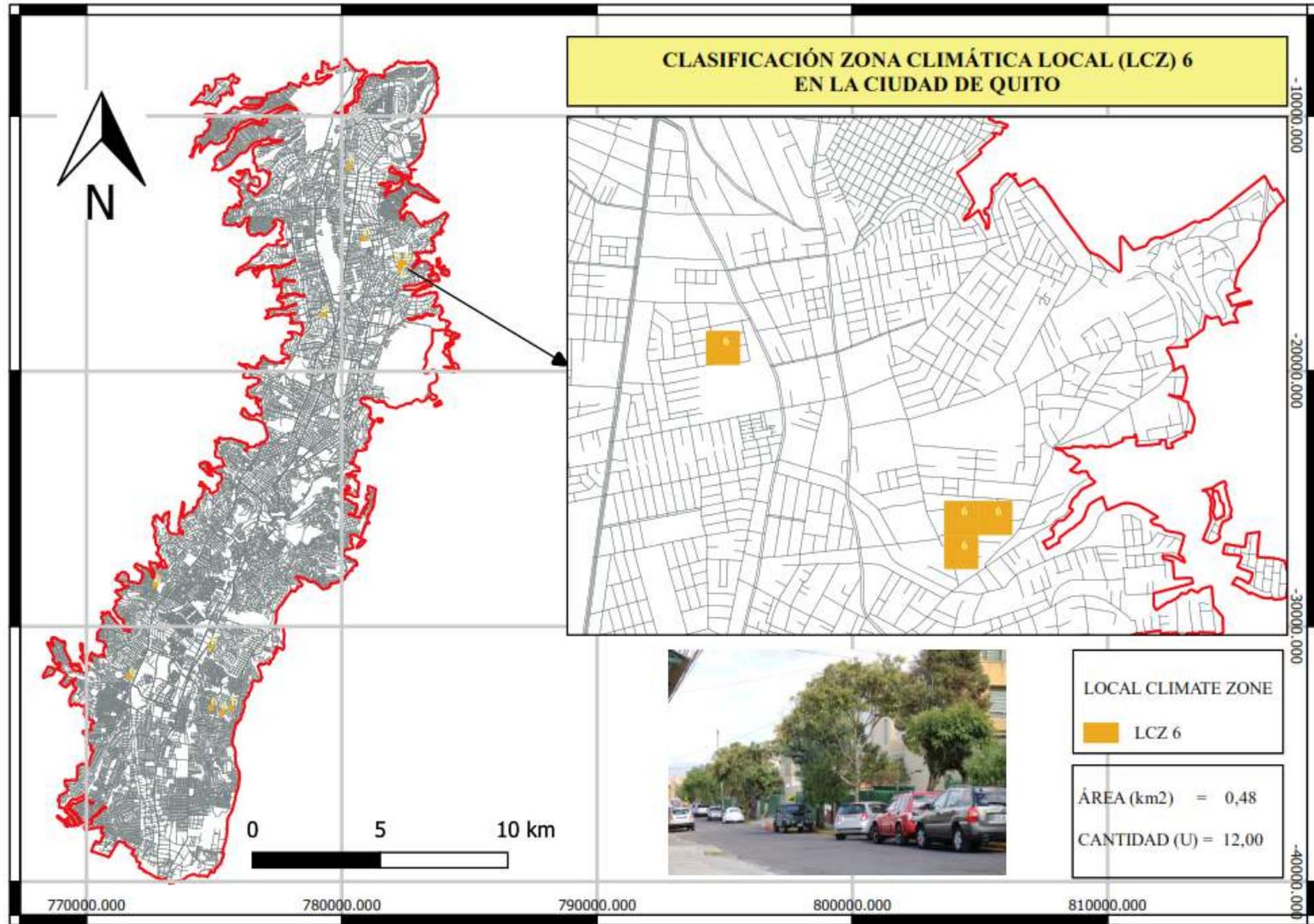
El uso del suelo está destinado en su mayoría a vivienda.

Las edificaciones tienen estructura de concreto armado; las vías son de asfalto, la vegetación en aceras y parterre es escasa. El espacio entre las edificaciones es reducido, este prototipo se encuentra en conjuntos residenciales.

Las figuras 160, 161, 162 y 163 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

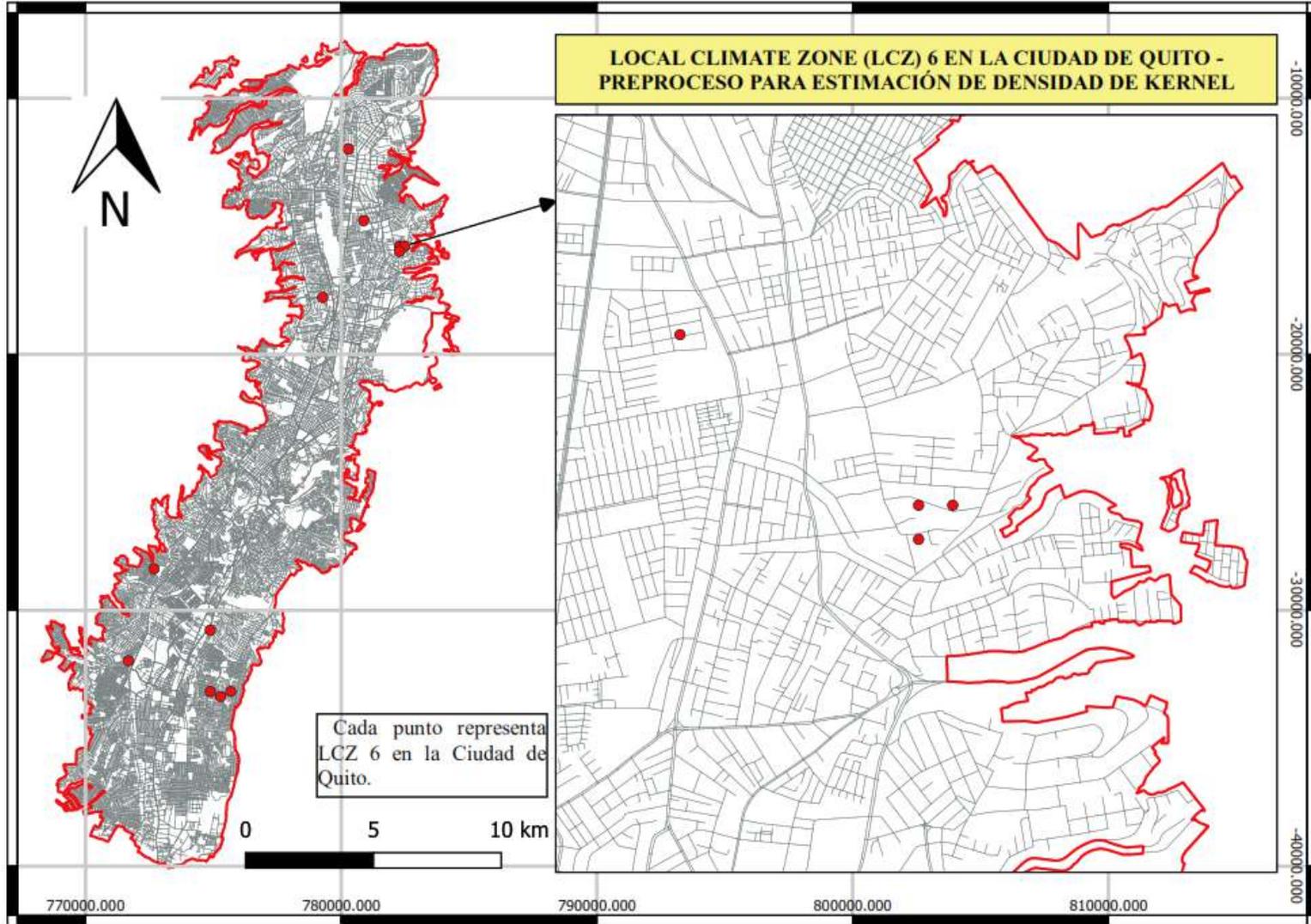
Este prototipo tiene 12 muestras y 0,48 km² en la ciudad, siendo el 0,24%, de la superficie de estudio.

Figura 160: Local Climate Zone 6 en la Ciudad de Quito



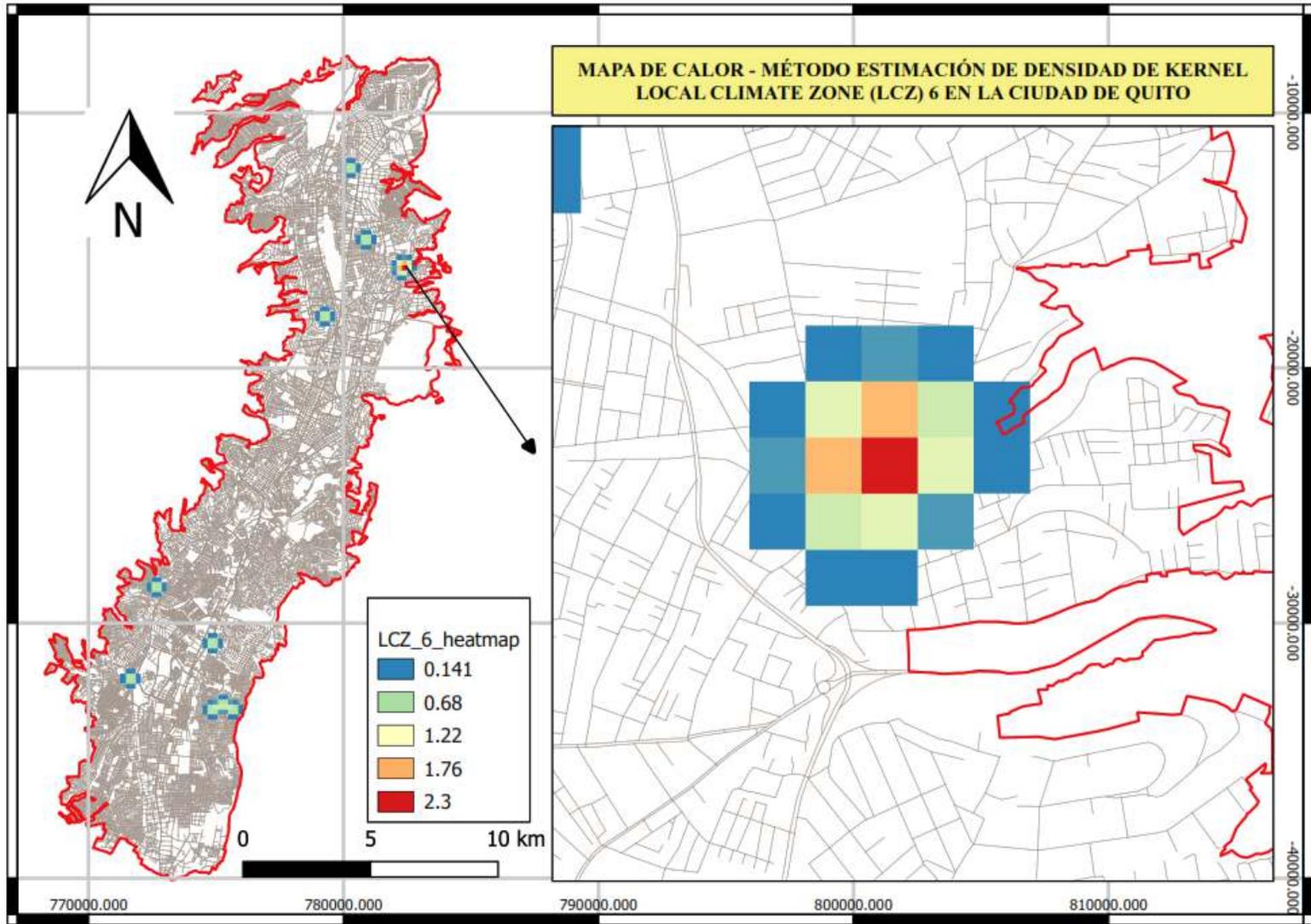
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 161: LCZ 6, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



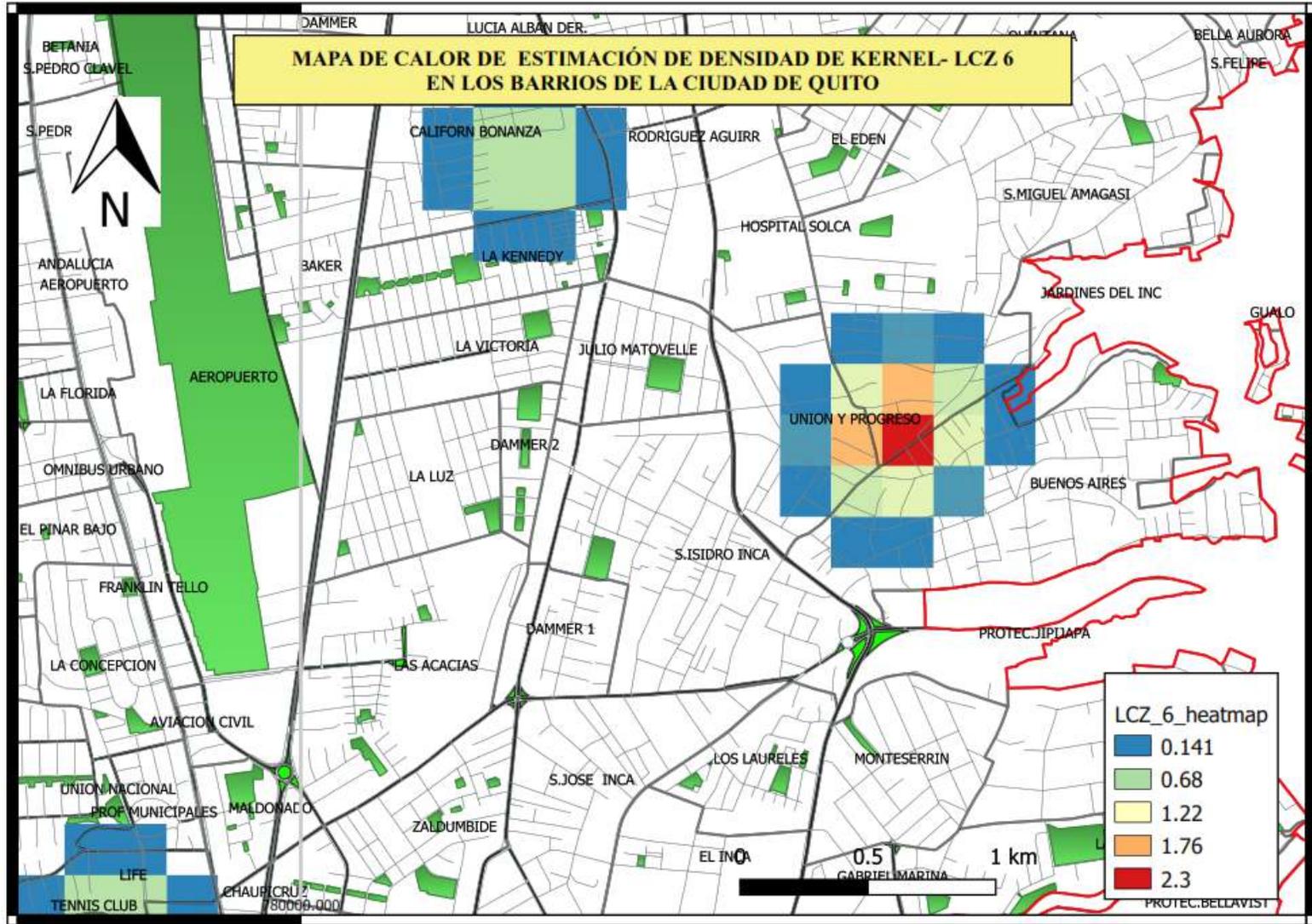
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 162: Mapa de Kernel - LCZ 6 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 163: Mapa de Kernel - LCZ 6 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -6

La figura 164, es el área más representativa de LCZ 6, en la cuantificación de materiales de cobertura de superficie (Ver tabla 41) tiene el 53% corresponde a la cobertura de construcción de las edificaciones, el 11% al recubrimiento de pavimento, el 31% a la vegetación baja (césped), el 5% a la arborización, la presencia de suelo desnudo, agua y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo (Ver figura 165).

Figura 164: LCZ-6 más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

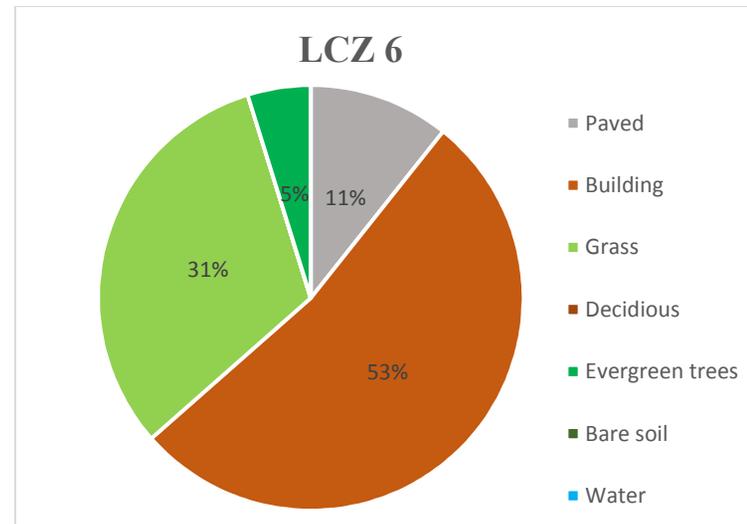
Tabla 41: Materiales que identifican a LCZ 6

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	4279,50
<i>Building (-)</i>	21121,59
<i>Grass (-)</i>	12676,91
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	1922,00
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 165: Materiales de cobertura de superficie LCZ 6

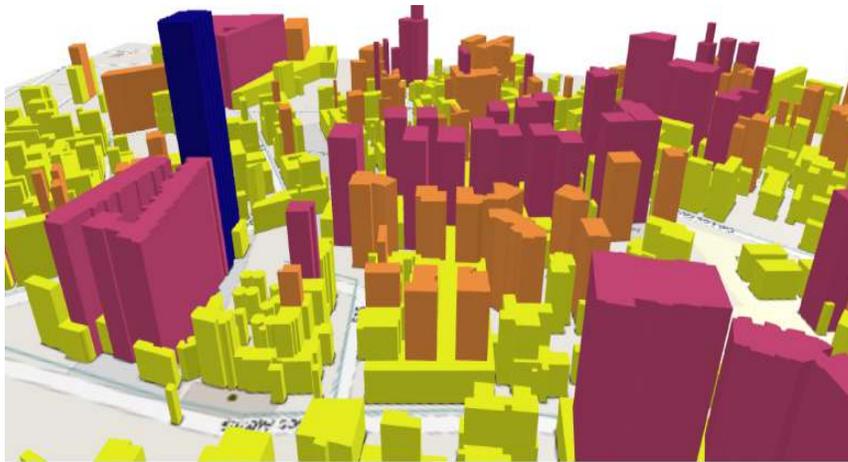


Fuente: Elaborado por la autora

Geometría urbana de LCZ 6

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 166) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 42); en esta tipología predominan los edificios de 1 a 3 pisos, existe una gran presencia de cobertura de construcción de edificaciones la cual supera a la arborización y vegetación baja (césped).

Figura 166: LCZ 6 en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 42: Análisis de edificaciones en LCZ-6

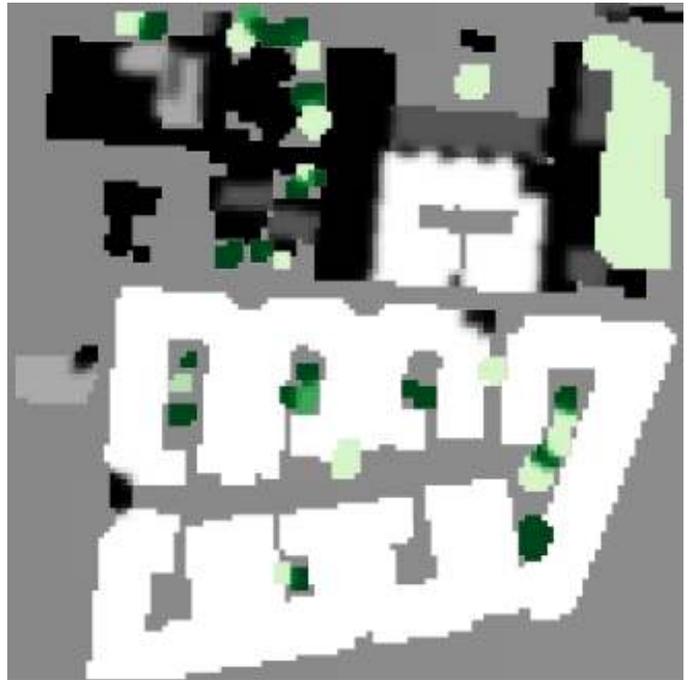
Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	4,18
<i>Mean vegetation height</i>	7,76
<i>Frontal area index buildings</i>	0,31
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,03
<i>Building height standard dev.</i>	2,53
<i>Vegetation height standard dev.</i>	1,56
<i>Maximum building height</i>	12,00
<i>Maximum vegetation height</i>	9,00

Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-6

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP. Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-6 (Ver figura 167), el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde. Esta información es geoprocesada y se obtiene un ráster en donde cada pixel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico.

Figura 167: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-6



Fuente: Elaborado por la autora

La figura 168 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-6 de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.006 a 1.

Al comparar la figura 167 y 168 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-6 un espacio abierto, con gran visibilidad.

Figura 168: *Sky View Factor* con UMEP de LCZ-6 de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Wall aspect en LCZ-6

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS. Se elabora un DSM de suelo y edificaciones (Ver figura 169).

Figura 169: DSM de las edificaciones en LCZ-6



Fuente: Elaborado por la autora

Siendo los resultados obtenidos para LCZ-6 de la Ciudad de Quito desde 0 a 1.000 (Ver figura 170).

Figura 170: *Wall aspect* –LCZ-6 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

La información de materiales de cobertura de superficie y de geometría urbana se sintetiza en una matriz (Ver tabla 43) según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-6

Tabla 43: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-6

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-6	0.006-1	0-1	53	11	36	>4,18	6

Fuente: Elaborado por la autora

6.8. LCZ 7 – Abierto de baja altura (*Lightweight low – rise*) en la Ciudad de Quito

Este prototipo se encuentra en el norte de la ciudad en los barrios Pisulí, Atucucho y al sur de la ciudad en el barrio Alma Lojana, la altura de las edificaciones fluctúan entre 3 a 9 metros, su uso está destinado a vivienda (Ver figura 171).

Figura 171: Paisaje urbano de LCZ 7 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Se ubica al norte calle Ontario, al sur calle sin nombre, al este calle sin nombre y al oeste calle Ontario

De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el Barrio Pisulí,

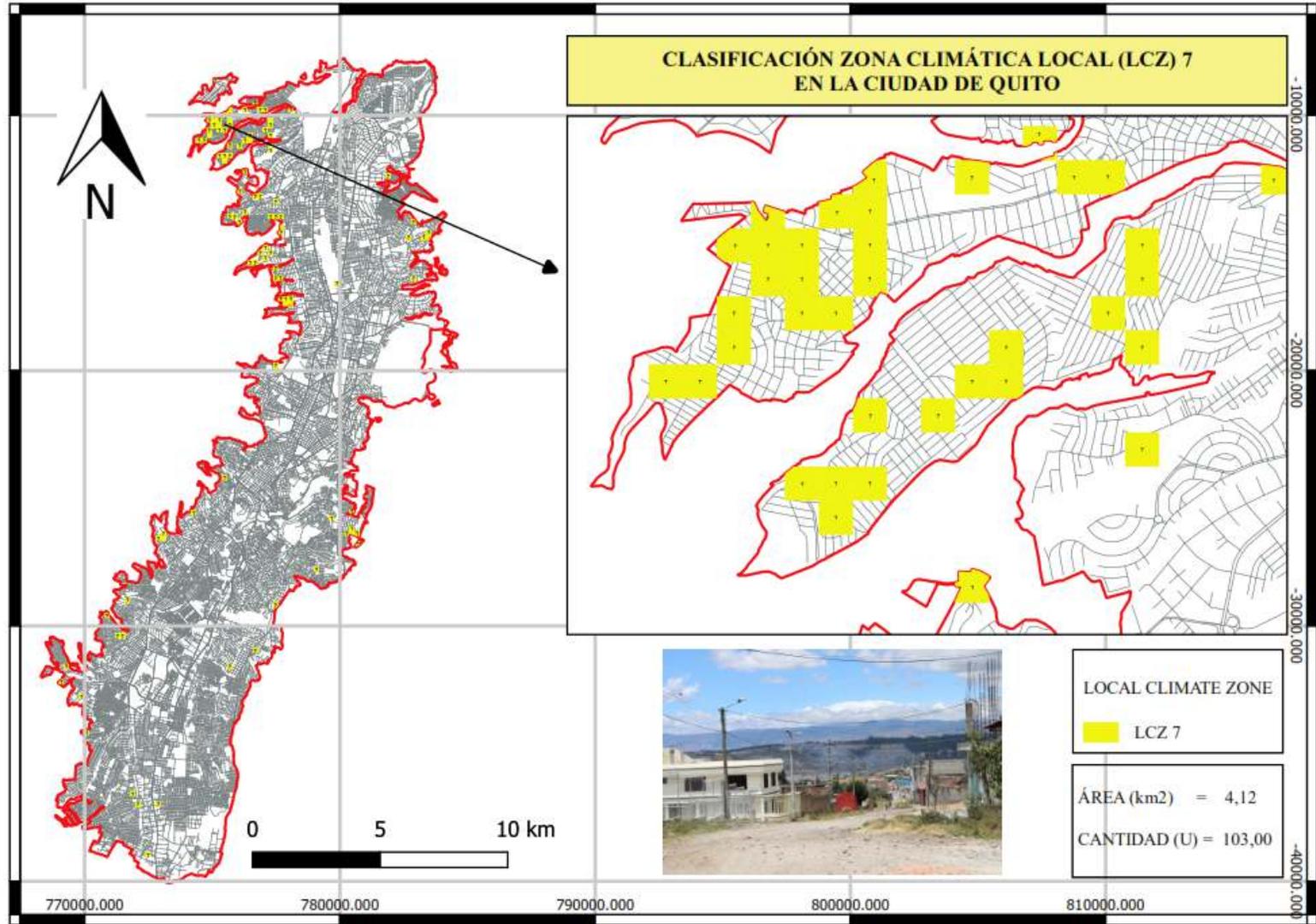
El uso del suelo está destinado en su mayoría a vivienda, sin embargo en las avenidas principales en planta baja existe comercio y en los pisos superiores su uso es de vivienda.

Las edificaciones en su mayoría tienen estructura de concreto armado, cubierta de concreto y metal, las vías son de asfalto, la vegetación en aceras y parterre es nula. El espacio entre las reducidos.

Las figuras 172, 173, 174 y 175 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

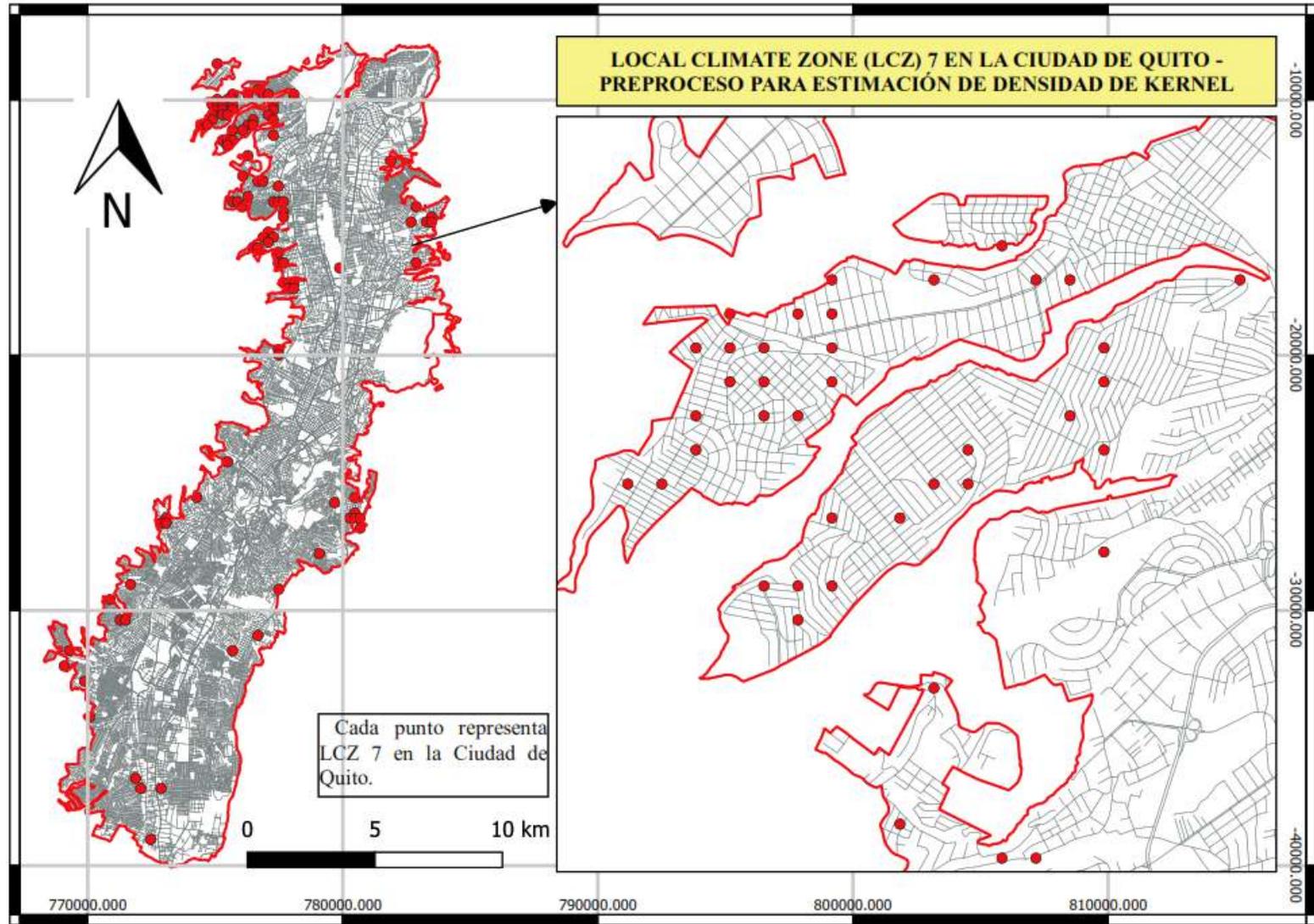
Este prototipo tiene 103 muestras y 4,12 km² en la ciudad, siendo el 2,03%, de la superficie de estudio.

Figura 172: Local Climate Zone 7 en la Ciudad de Quito



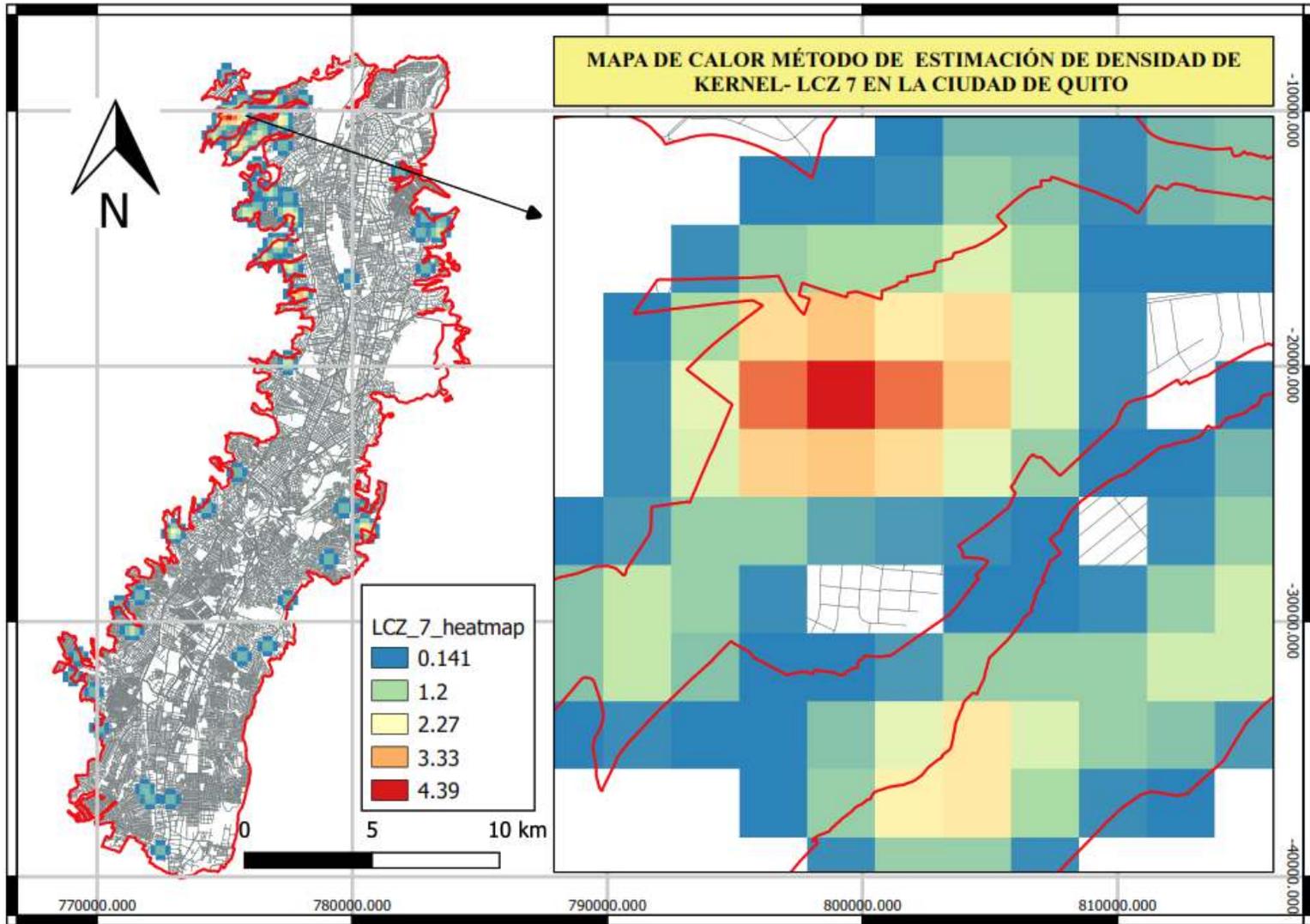
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 173: LCZ 7, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



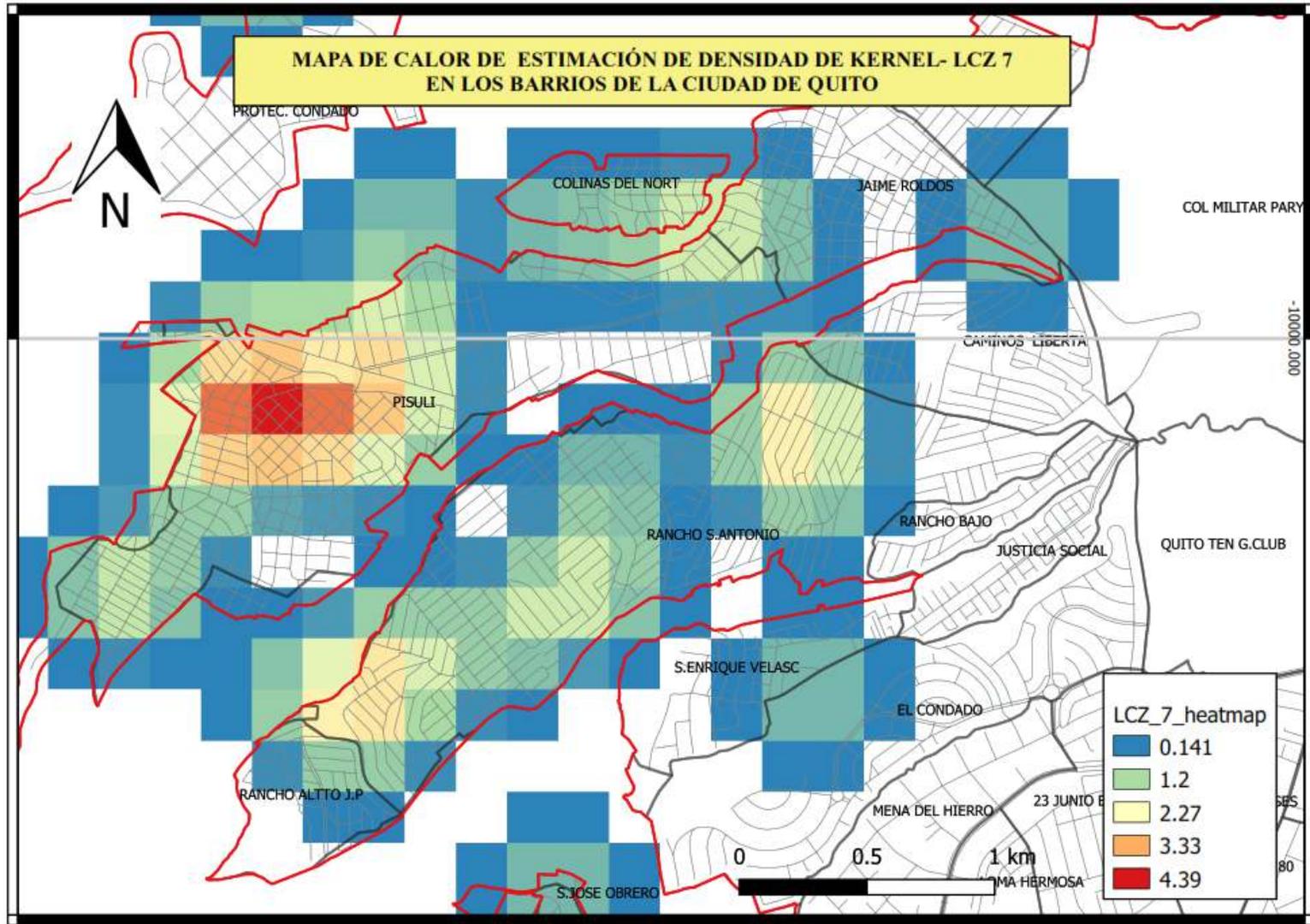
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 174: Mapa de Kernel - LCZ 7 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 175: Mapa de Kernel - LCZ 7 en los Barrios de la Ciudad

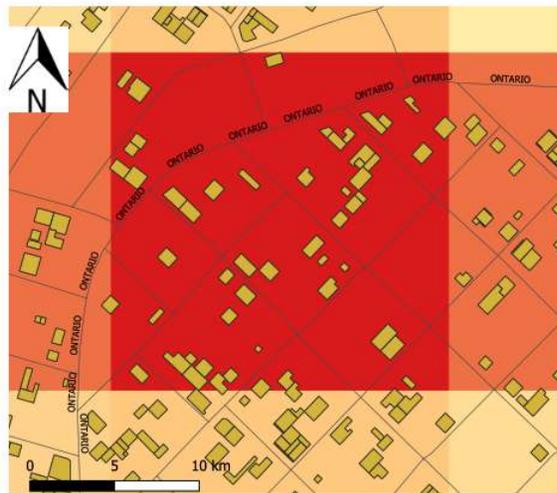


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -7

El área más representativa de LCZ 7 (Ver figura 176) se extrae el área en m2 de los materiales de cobertura (Ver tabla 44) y el porcentaje (Ver figura 177) siendo el 67% en la cobertura de suelo descubierto, el 21% recubrimiento de pavimento, el 10% de cobertura de construcción de edificaciones, 1% vegetación baja (césped), el 1% de arborización, la presencia de agua y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo

Figura 176: LCZ-7 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

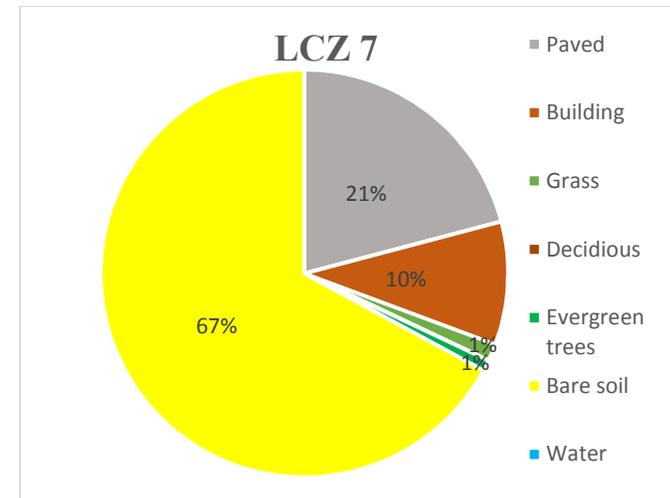
Tabla 44: Materiales que identifican a LCZ 7

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	8358,00
<i>Building (-)</i>	3908,89
<i>Grass (-)</i>	545,00
<i>deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	346,00
<i>Bare soil (-)</i>	26842,11
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 177: Materiales de cobertura de superficie LCZ 7

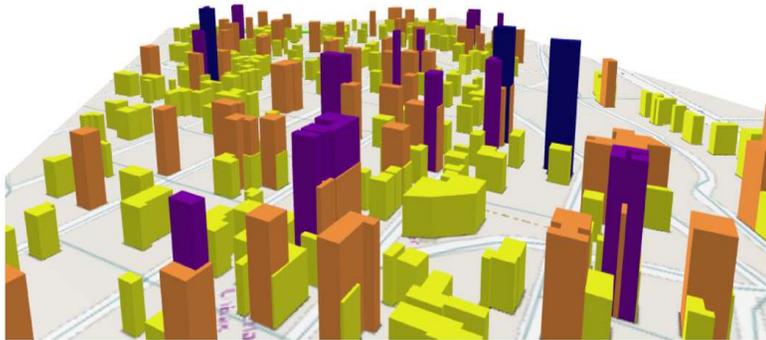


Fuente: Elaborado por la autora

Geometría urbana de LCZ 7

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 178) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 45); en esta tipología predominan los edificios de 1 a 3 pisos, existe una gran presencia de cobertura de construcción de edificaciones y pavimento, la arborización y vegetación baja (césped) es casi nula. Esta tipología es muy escasa en la Ciudad de Quito y se encuentra en la periferia de la ciudad.

Figura 178: LCZ 7 en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 45: Análisis de edificaciones en LCZ-7

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	3,71
<i>Mean vegetation height</i>	6,76
<i>Frontal area index buildings</i>	0,50
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,05
<i>Building height standard dev.</i>	1,51
<i>Vegetation height standard dev.</i>	2,05
<i>Maximum building height</i>	9,00
<i>Maximum vegetation height</i>	8,00

Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-7

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS. Se elabora un DSM de suelo y edificaciones (Ver figura 179) con ello queda indicado el cálculo realizado.

Figura 179: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-7

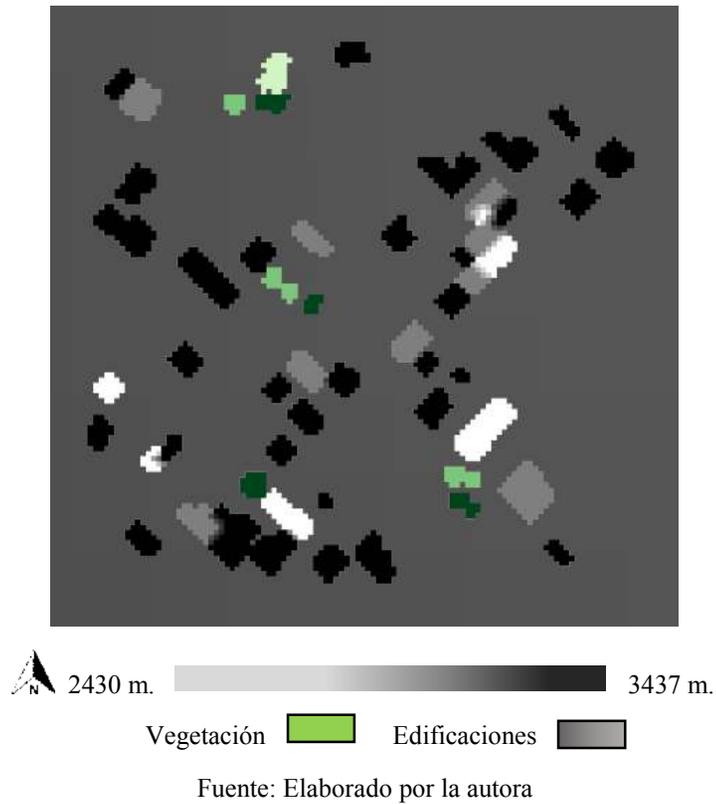
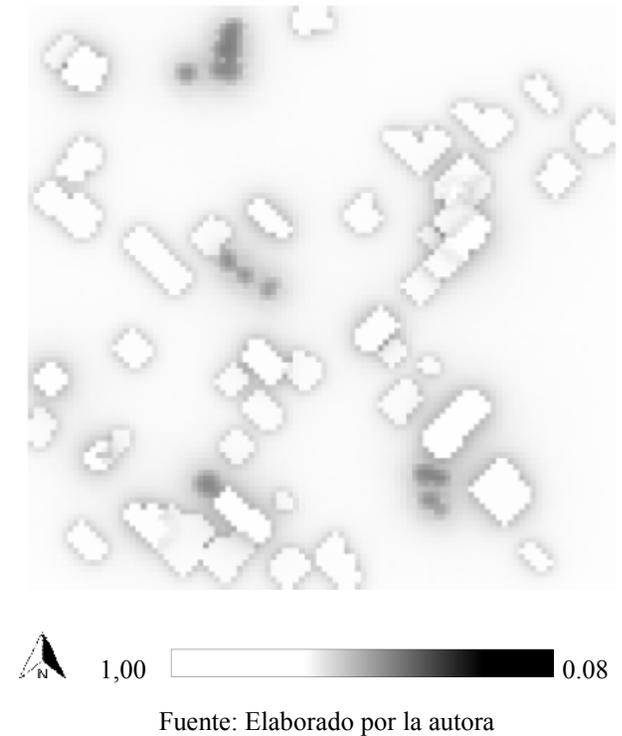


Figura 180: Sky View Factor con UMEP de LCZ-7 de Quito



La figura 180 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-7 de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.08 a 1.

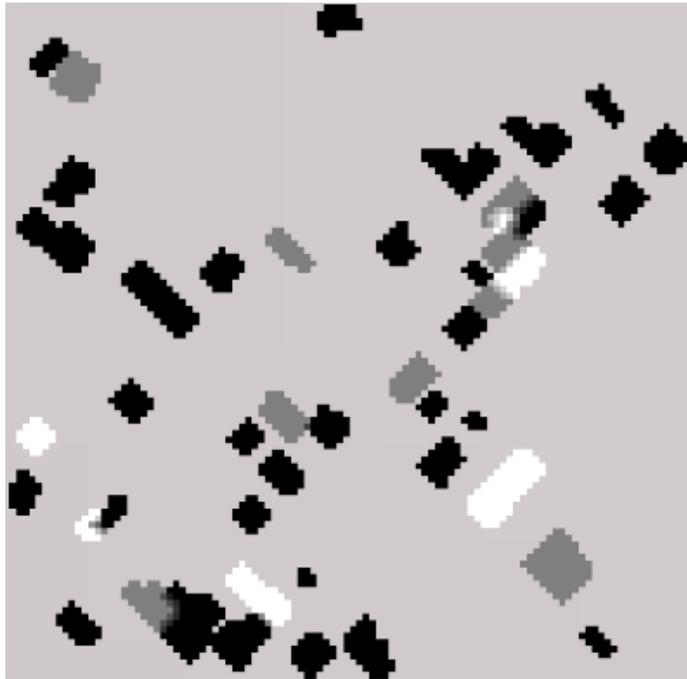
Al comparar la figura 179 y 180 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-7 un espacio abierto, con gran visibilidad.

Wall aspect en LCZ-7

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS, siendo los resultados obtenidos para LCZ-7 de la Ciudad de Quito desde 0 a 3.48, se encuentra dentro del intervalo que indica la

metodología. Se elabora un DSM de suelo y edificaciones con ello queda indicado el cálculo realizado.

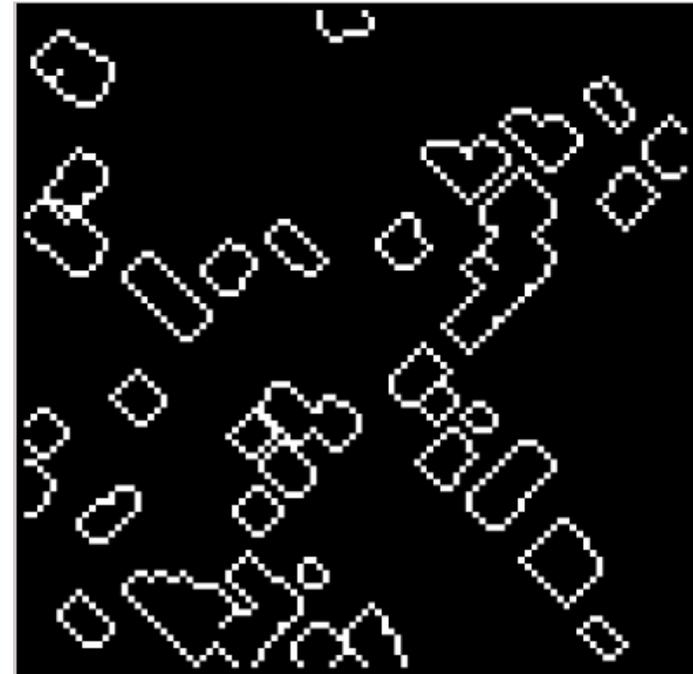
Figura 181: DSM de las edificaciones en LCZ-7



2430 m. 3437 m.

Fuente: Elaborado por la autora

Figura 182: *Wall aspect* –LCZ-7 de la Ciudad de Quito



0 m. 3.48 m.

Fuente: Elaborado por la autora

La información de materiales de cobertura de superficie y de geometría urbana se sintetiza en una matriz (Ver tabla 46) según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-7

Tabla 46: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-7

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-7	0.08-1	0-1	10	21	69	>3,71	4

Fuente: Elaborado por la autora

6.9. LCZ 8 – Alargado de baja altura (*Large low – rise*) en la Ciudad de Quito

La mayor presencia de este prototipo se encuentra al norte de la ciudad en los barrios Monge Donoso, Marisol, Santa Lucía baja, Carretas, Cristiania, San Eduardo y al sur de Quito en los barrios La Argelia, Mayorista, la altura de las edificaciones es de 3 a 9 metros (Ver figura 183).

Figura 183: Paisaje urbano de LCZ 8 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

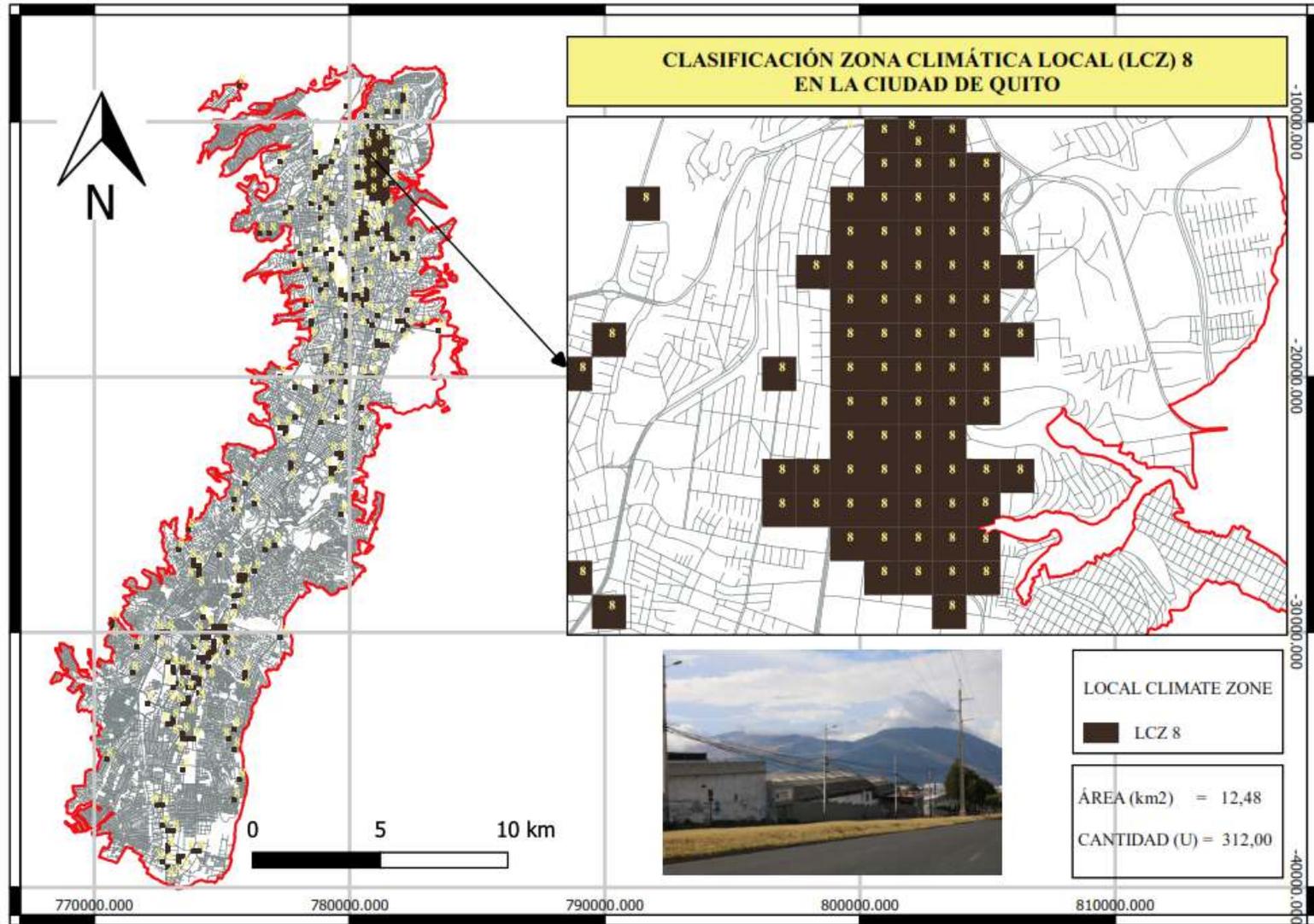
De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra al norte calle Antonio Basantes, al sur calle José Larrea y Jijón, al este calle Bartolomé Sánchez y al oeste calle Galo Plaza.

El uso está destinado para bodegas (almacenamiento), su presencia se caracteriza por la construcción de galpones con cubierta de asbesto-cemento, zinc y policarbonato. El espacio entre las edificaciones es amplio.

Las figuras 184, 185, 186 y 187 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

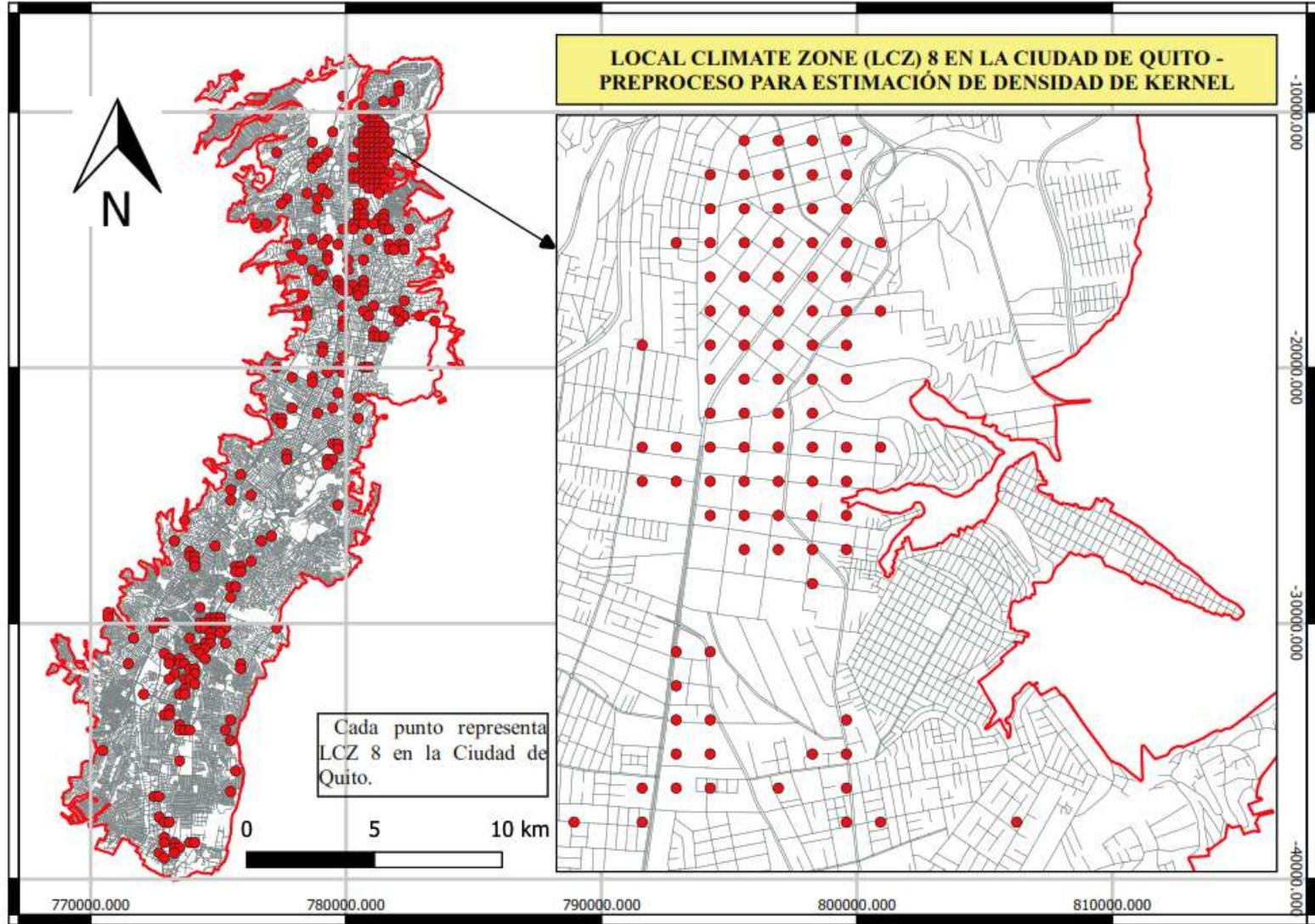
Este prototipo tiene 312 muestras y 12,48 km² en la ciudad, siendo el 6,15%, de la superficie de estudio.

Figura 184: Local Climate Zone 8 en la Ciudad de Quito



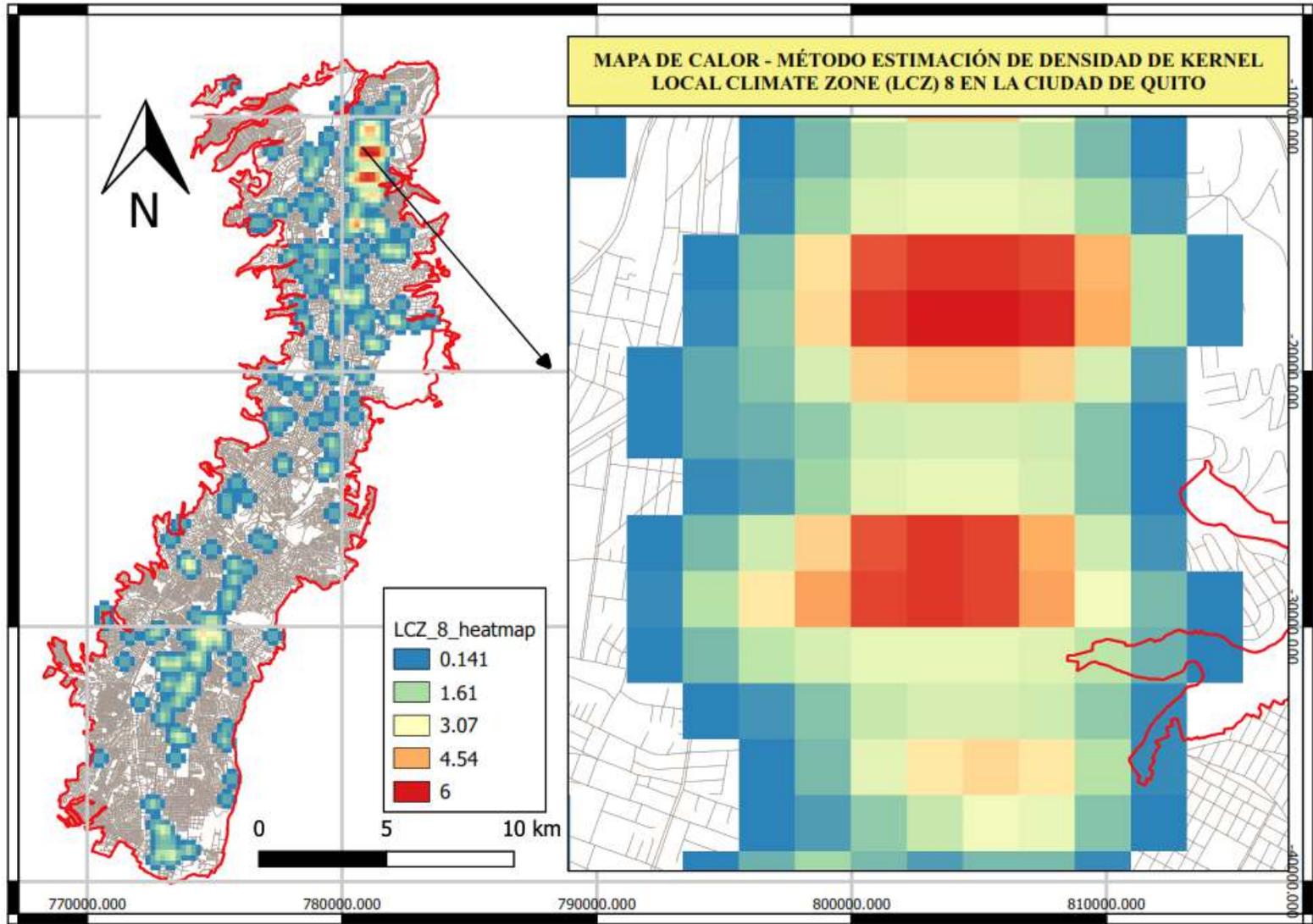
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 185: LCZ 8, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



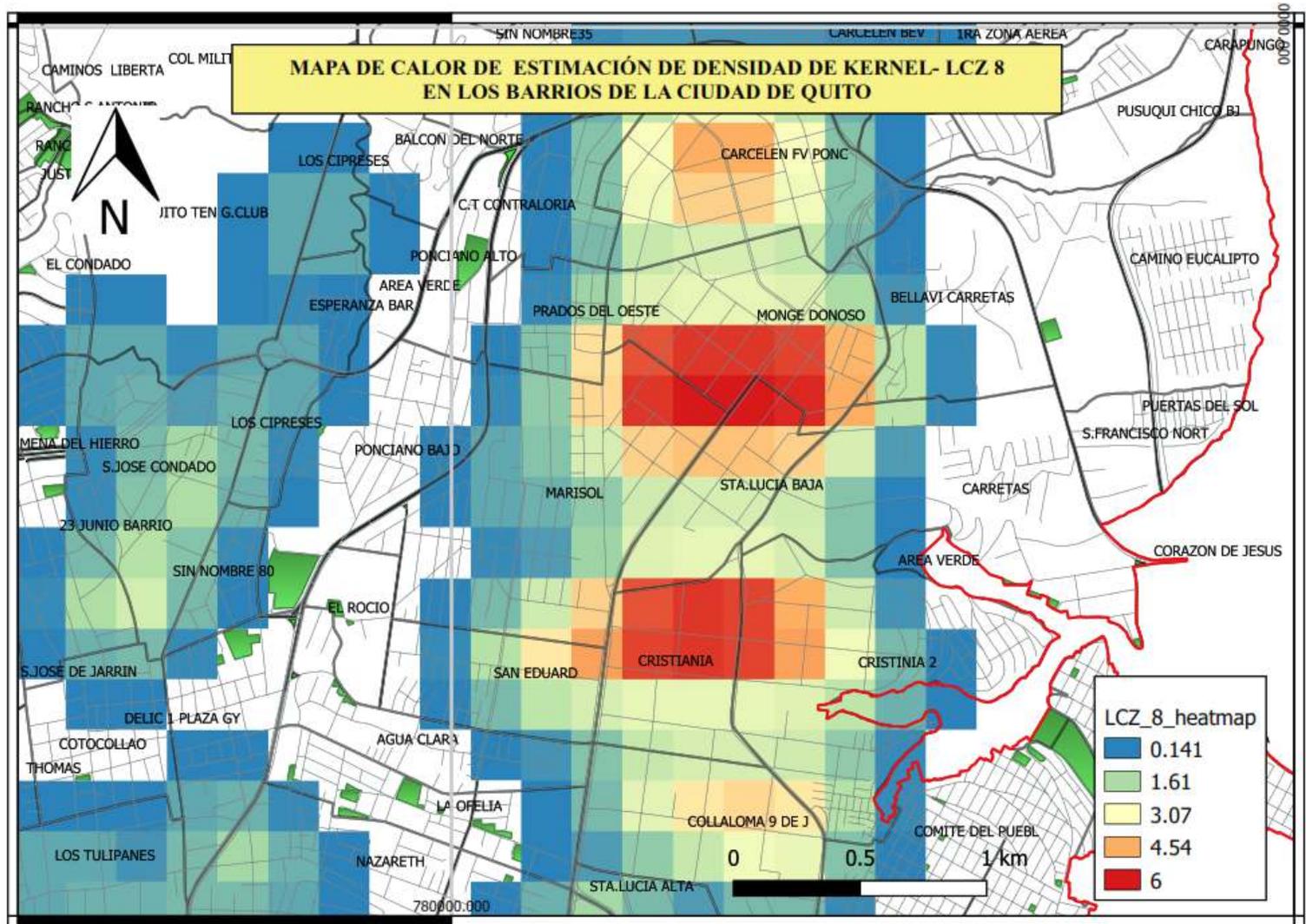
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 186: Mapa de Kernel - LCZ 8 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 187: Mapa de Kernel - LCZ 8 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -8

En el área más representativa de LCZ 8 (Ver figura 188) se cuantificación de materiales de cobertura (Ver tabla 47) y se extrae el porcentaje (Ver figura 189), siendo el 71% de cobertura de construcción de las edificaciones, el 29% al recubrimiento de pavimento, la presencia de suelo desnudo, vegetación baja, agua, arborización de ciclo corto y permanente no existe en este prototipo.

Tabla 47: Materiales que identifican a LCZ 8

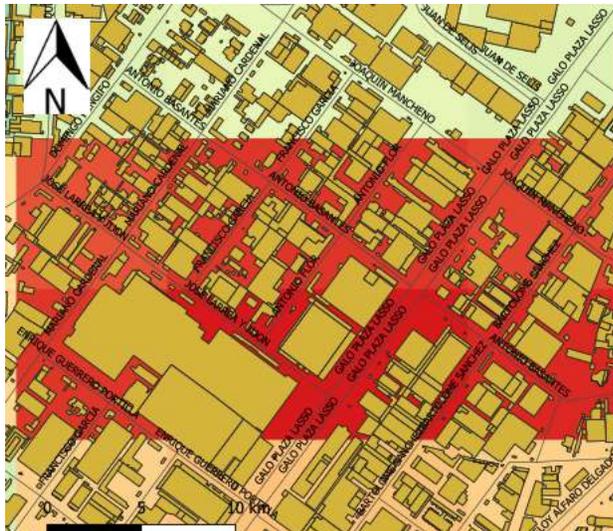
Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	11630,00
<i>Building (-)</i>	28293,54
<i>Grass (-)</i>	0,00
<i>deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	76,46
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

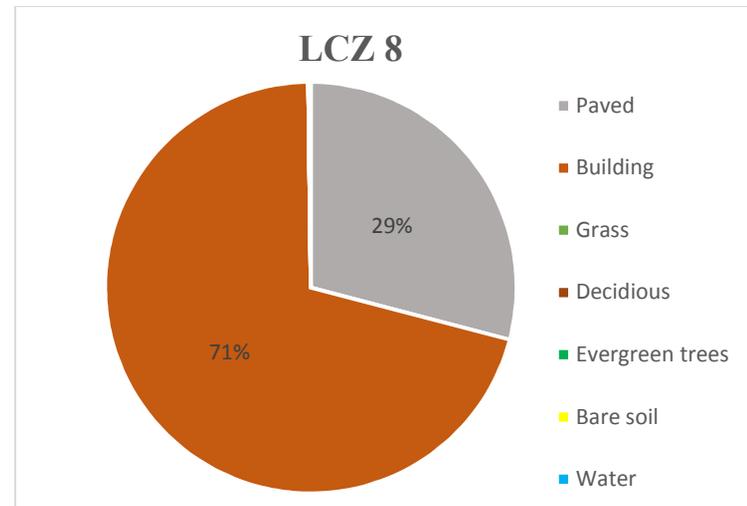
Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 189: Materiales de cobertura de superficie LCZ 8

Figura 188: LCZ-8 más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

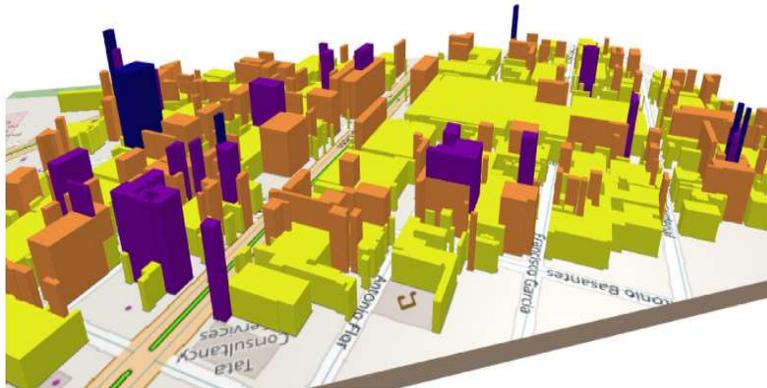


Fuente: Elaborado por la autora

Geometría urbana de LCZ 8

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 190) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 48); en esta tipología predominan los edificios de 1 a 3 pisos, existe una gran presencia de cobertura de construcción de edificaciones y pavimento, la arborización y vegetación baja (césped) es nula. Esta tipología es muy escasa en la Ciudad de Quito y se encuentra al norte de la ciudad.

Figura 190: LCZ 8 en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 48: Análisis de edificaciones en LCZ-8

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	3,49
<i>Mean vegetation height</i>	2,06
<i>Frontal area index buildings</i>	0,55
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,63
<i>Building height standard dev.</i>	1,12
<i>Vegetation height standard dev.</i>	2,01
<i>Maximum building height</i>	6,00
<i>Maximum vegetation height</i>	4,00

Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-8

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP. Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-8 (Ver figura 191), el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 191: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-8



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 192: *Sky View Factor* con UMEP de LCZ-8 de Quito

Fuente: Elaborado por la autora

La figura 192 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-8 de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.076 a 1.

Al comparar la figura 191 y 192 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-8 un espacio cerrado, con poca visibilidad.

***Wall aspect* en LCZ-8**

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS. Se elabora un DSM de suelo y edificaciones (Ver figura 193) con ello queda indicado el cálculo realizado.

Figura 193: DSM de las edificaciones en LCZ-8



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 194: *Wall aspect* –LCZ-8 de la Ciudad de Quito

Fuente: Elaborado por la autora

Siendo los resultados obtenidos para LCZ-8 de la Ciudad de Quito (Ver figura 194) desde 0 a 3.48 siendo un rango que se encuentra dentro del intervalo que indica la metodología de Stewart y Oke (2012).

La información de materiales de cobertura de superficie y de morfología urbana se sintetiza en una matriz (Ver tabla 49) según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-8

Tabla 49: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-8

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-8	0.076-1	0-1	71	29	0	>3,49	5

Fuente: Elaborado por la autora

6.10. LCZ 9 – Construcciones dispersas (*sparsely built*) en la Ciudad de Quito

La mayor presencia de este prototipo se encuentra al sur de la ciudad en los barrios Los Pedestales, Protección Guamaní, Héroes de Paquisha, Matilde Álvarez y Victoria Central, la altura de las edificaciones son de 3 a 9 metros, su uso está destinado a vivienda. (Ver figura 195)

Figura 195: Paisaje urbano de LCZ 9 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

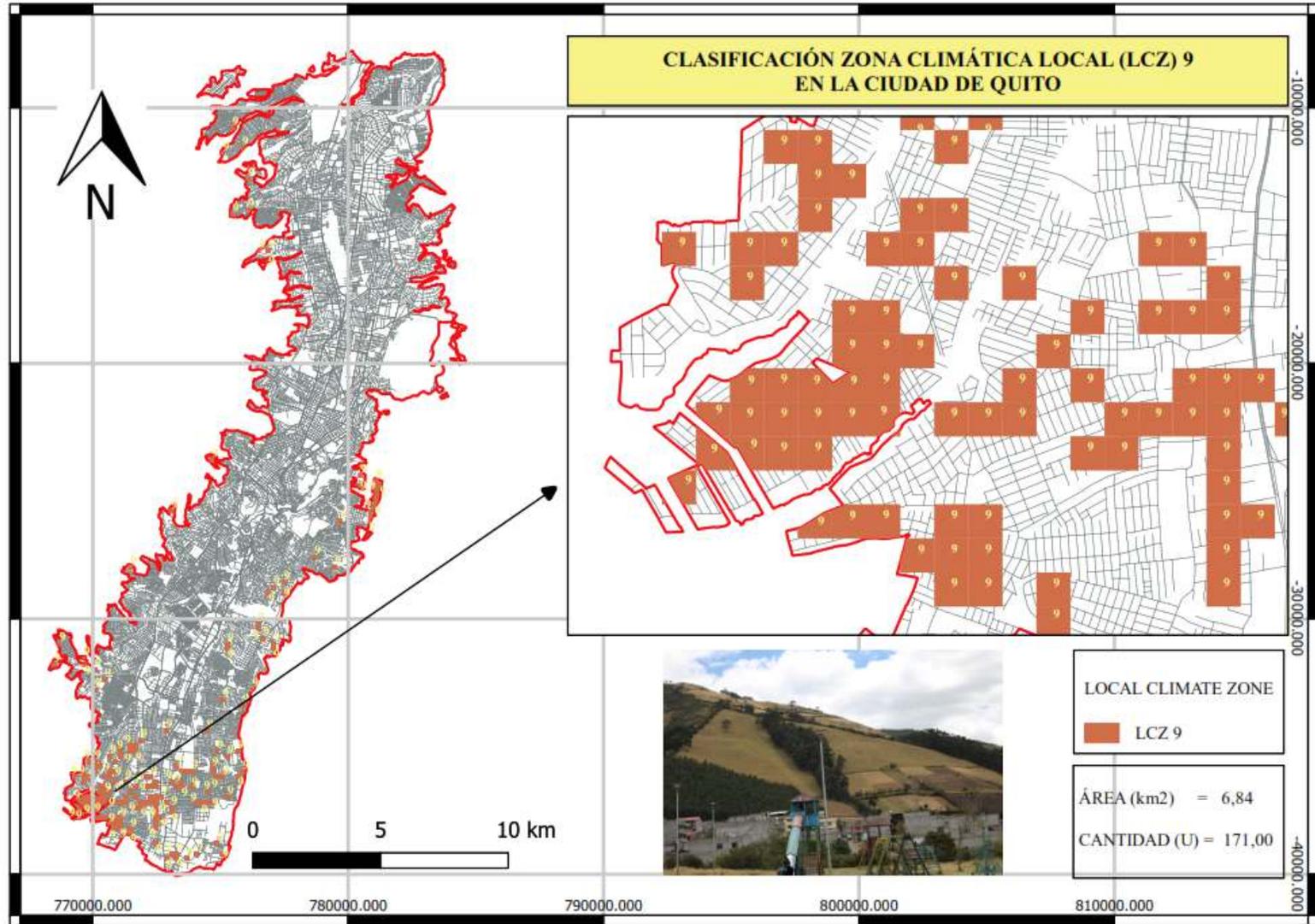
De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el Sur de la Ciudad, en el Barrio Sin nombre 62, al norte la calle Camilo Orejuela, al sur calle Sin nombre, al este calle Sin nombre y al oeste calle Sin nombre.

El uso está destinado a vivienda, el material utilizado en la construcción es el concreto, se encuentra al extremo sur de la ciudad en donde existen grandes áreas verdes y en ellas aún se cultiva. El espacio entre las edificaciones es amplio, existen muchos lotes vacíos, es un área de expansión urbana.

Las figuras 196, 197, 198 y 199 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

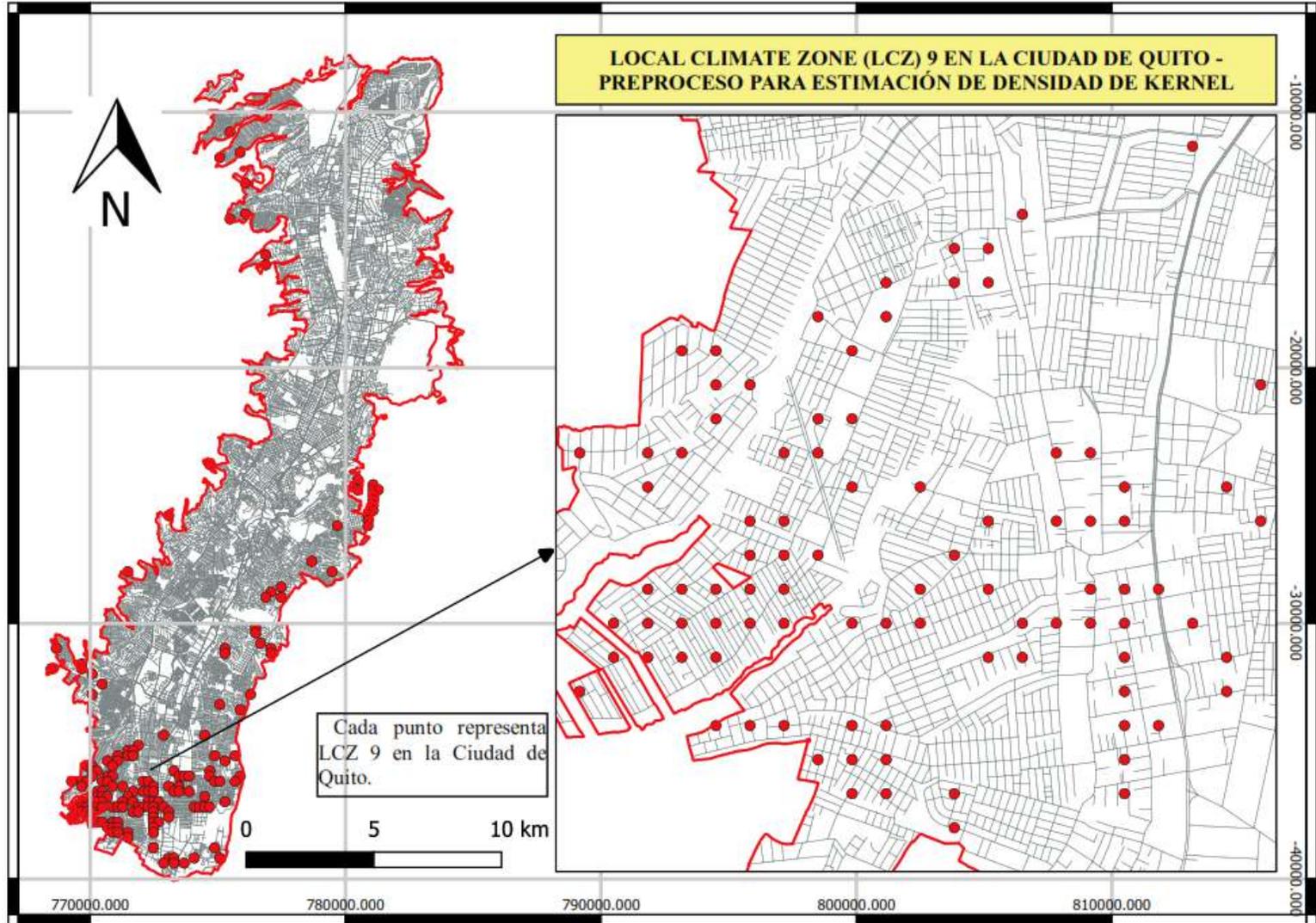
Este prototipo tiene 171 muestras y 6,84 km² en la ciudad, siendo el 3,37%, de la superficie de estudio.

Figura 196: Local Climate Zone 9 en la Ciudad de Quito



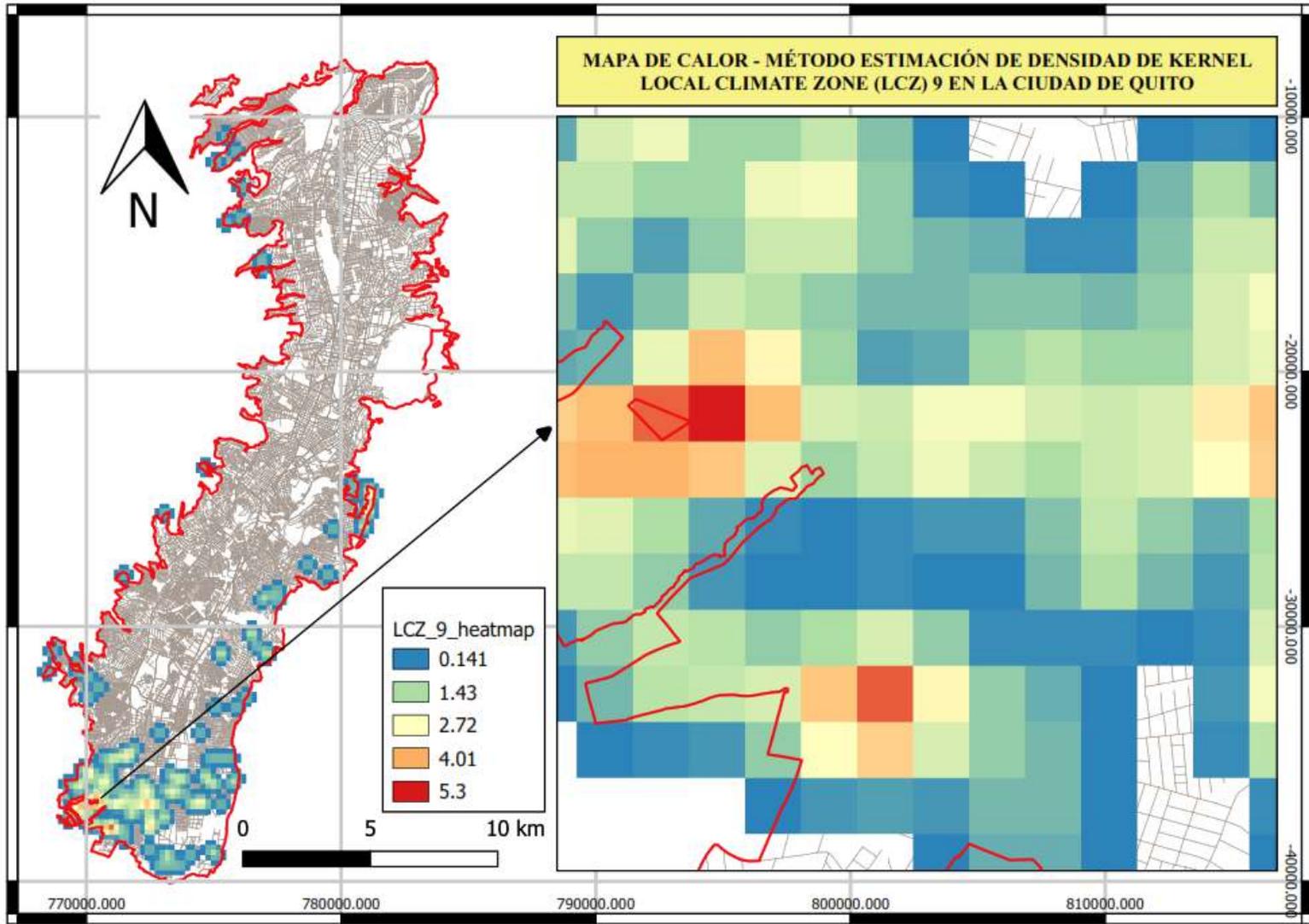
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 197: LCZ 9, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



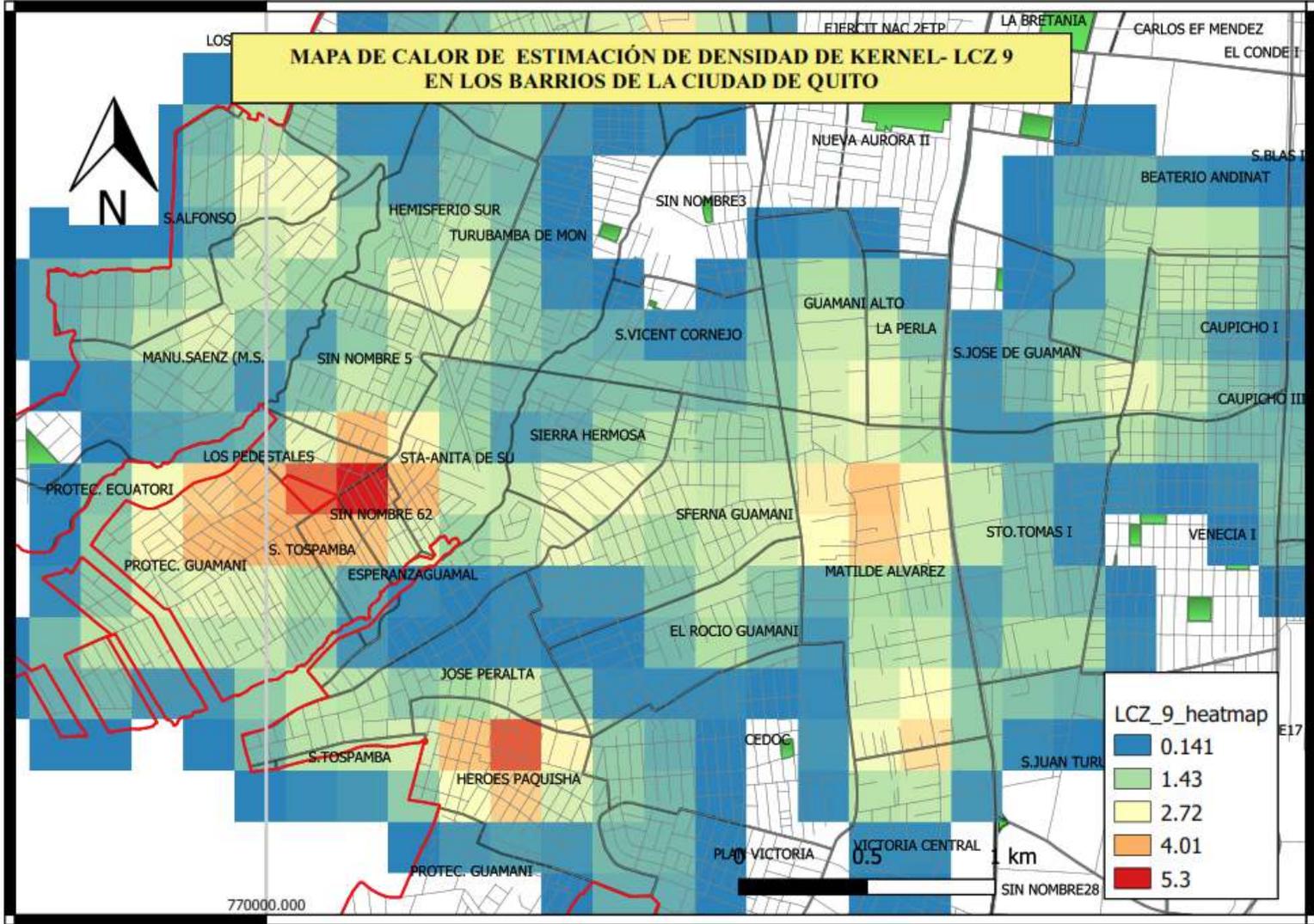
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 198: Mapa de Kernel - LCZ 9 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 199: Mapa de Kernel - LCZ 9 en los Barrios de la Ciudad

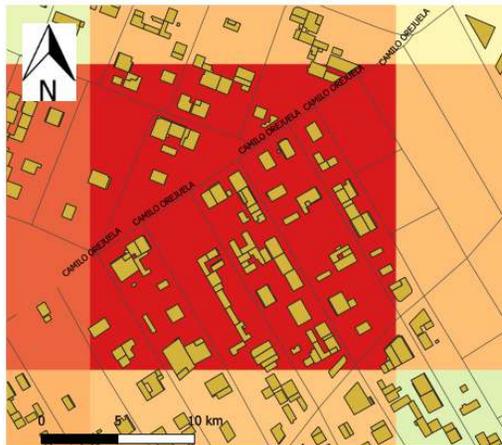


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -9

En el área más representativa de LCZ 9 (Ver figura 200) se cuantifica los materiales de cobertura de superficie (Ver tabla 50) y el porcentaje (Ver figura 201) en donde el 18% corresponde a la cobertura de construcción de las edificaciones, el 20% al recubrimiento de pavimento, el 62% a la vegetación baja (césped), la presencia de suelo desnudo, arborización, agua, arborización de ciclo corto y permanente no existe en este prototipo.

Figura 200: LCZ-9 más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

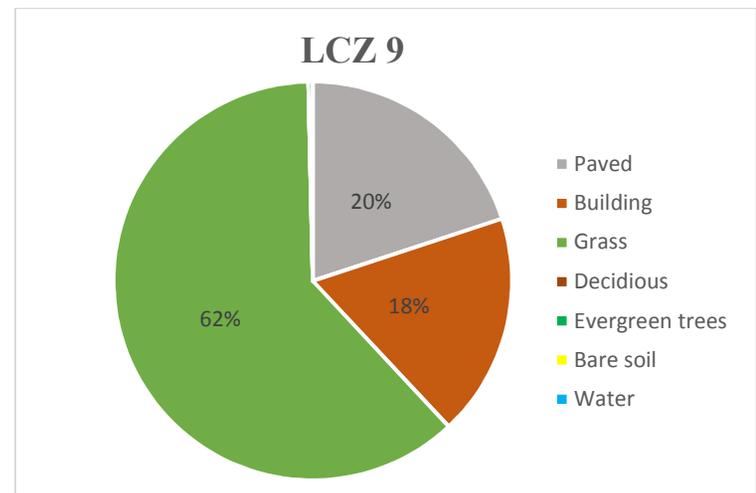
Tabla 50: Materiales que identifican a LCZ 9

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	7982,00
<i>Building (-)</i>	7237,33
<i>Grass (-)</i>	24642,67
<i>deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	138,00
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 201: Materiales de cobertura de superficie LCZ 9



Fuente: Elaborado por la autora

Geometría urbana de LCZ 9

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 202) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 51); en esta tipología predominan los edificios de 1 a 3 pisos, existe una gran presencia de arborización y vegetación baja (césped).

Esta tipología es muy escasa en la Ciudad de Quito y se encuentra al sur de la ciudad.

Figura 202: LCZ 9 en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 51: Análisis de edificaciones en LCZ-9

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	4,00
<i>Mean vegetation height</i>	7,76
<i>Frontal area index buildings</i>	0,51
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,07
<i>Building height standard dev.</i>	1,79
<i>Vegetation height standard dev.</i>	1,56
<i>Maximum building height</i>	12,00
<i>Maximum vegetation height</i>	9,00

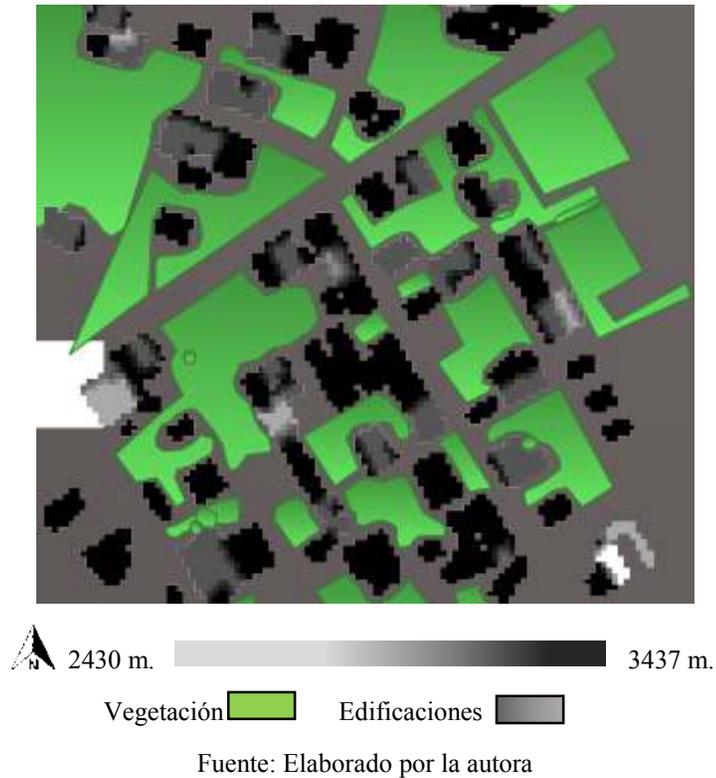
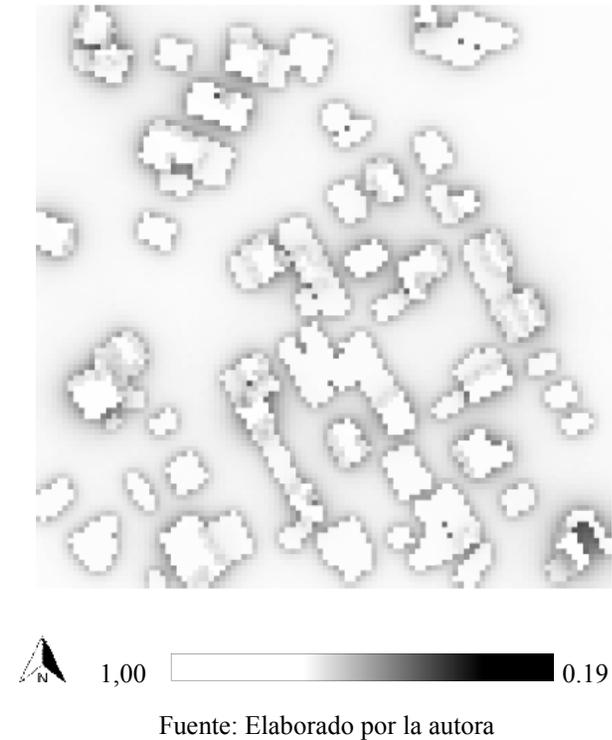
Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-9

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un ráster en donde cada pixel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico.

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-9, el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 203: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-9

Figura 204: *Sky View Factor* con UMEP de LCZ-9 de Quito

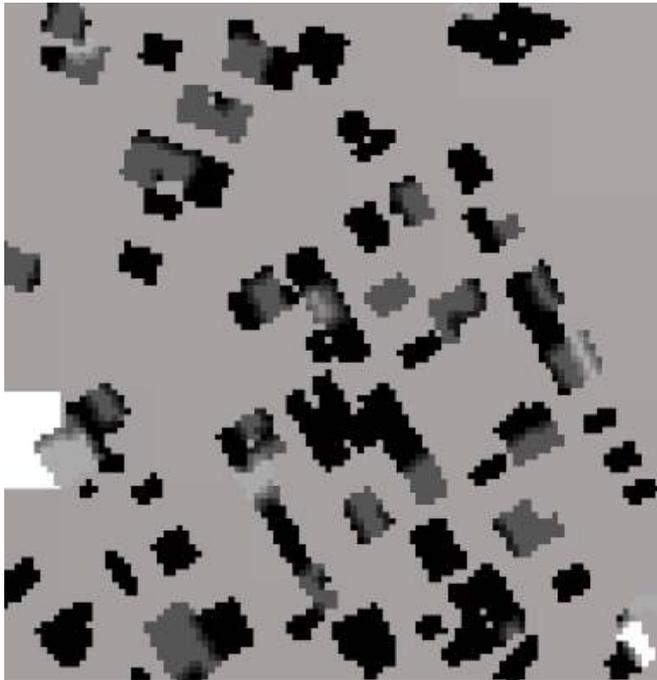
La figura 204 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-9 de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.19 a 1.

Al comparar la figura 203 y 204 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-9 un espacio abierto, con gran visibilidad.

Wall aspect en LCZ-9

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS. Para la elaboración se realizó un DSM de suelo y edificaciones como se indica en la figura 205.

Figura 205: DSM de las edificaciones en LCZ-9



▲ 2430 m.  3437 m.

Fuente: Elaborado por la autora

Figura 206: *Wall aspect* –LCZ-9 de la Ciudad de Quito

▲ 0 m.  1.0 m.

Fuente: Elaborado por la autora

Siendo los resultados obtenidos para LCZ-9 de la Ciudad de Quito (Ver figura 206) desde 0 a 1 es un rango que se encuentra dentro del intervalo que indica la metodología de Stewart y Oke (2012).

La información de materiales de cobertura de superficie y de geometría urbana se sintetiza en una matriz (Ver tabla 52) según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-9

Tabla 52: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-9

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-9	0.19-1	0-1	18	20	62	>4	6

Fuente: Elaborado por la autora

6.11. LCZ 10 – Industria pesada (*Heavy industry*) en la Ciudad de Quito

La mayor presencia de este prototipo se encuentra al sur de la ciudad en los barrios Caupicho y Beaterio (Ver figura 207), la altura de las edificaciones es de 6 a 12 metros., su uso está destinado a vivienda

Figura 207: Paisaje urbano de LCZ 10 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el Sur de la Ciudad, en el Barrio San Juan de Turubamba, al norte la calle Sin nombre, al sur calle S60, al este calle E3G y al oeste calle C.

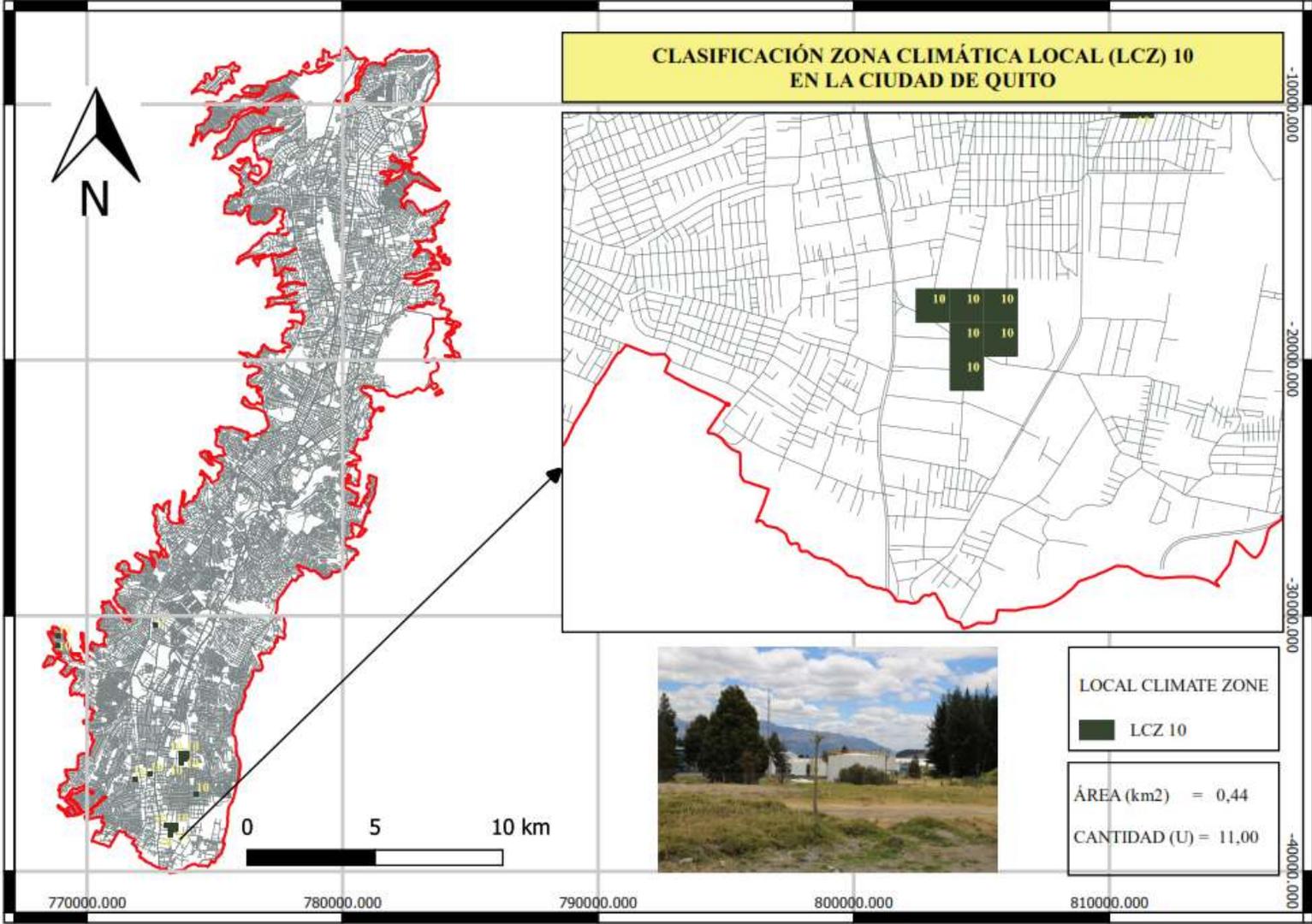
El uso está destinado a la industria de bajo impacto, su presencia se caracteriza por la construcción de galpones con cubierta de asbesto-cemento, zinc y policarbonato. El espacio entre las edificaciones es amplio.

El espacio entre las edificaciones es amplio, existen muchos lotes vacíos, es un área de expansión urbana.

Las figuras 208, 209, 210 y 211 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

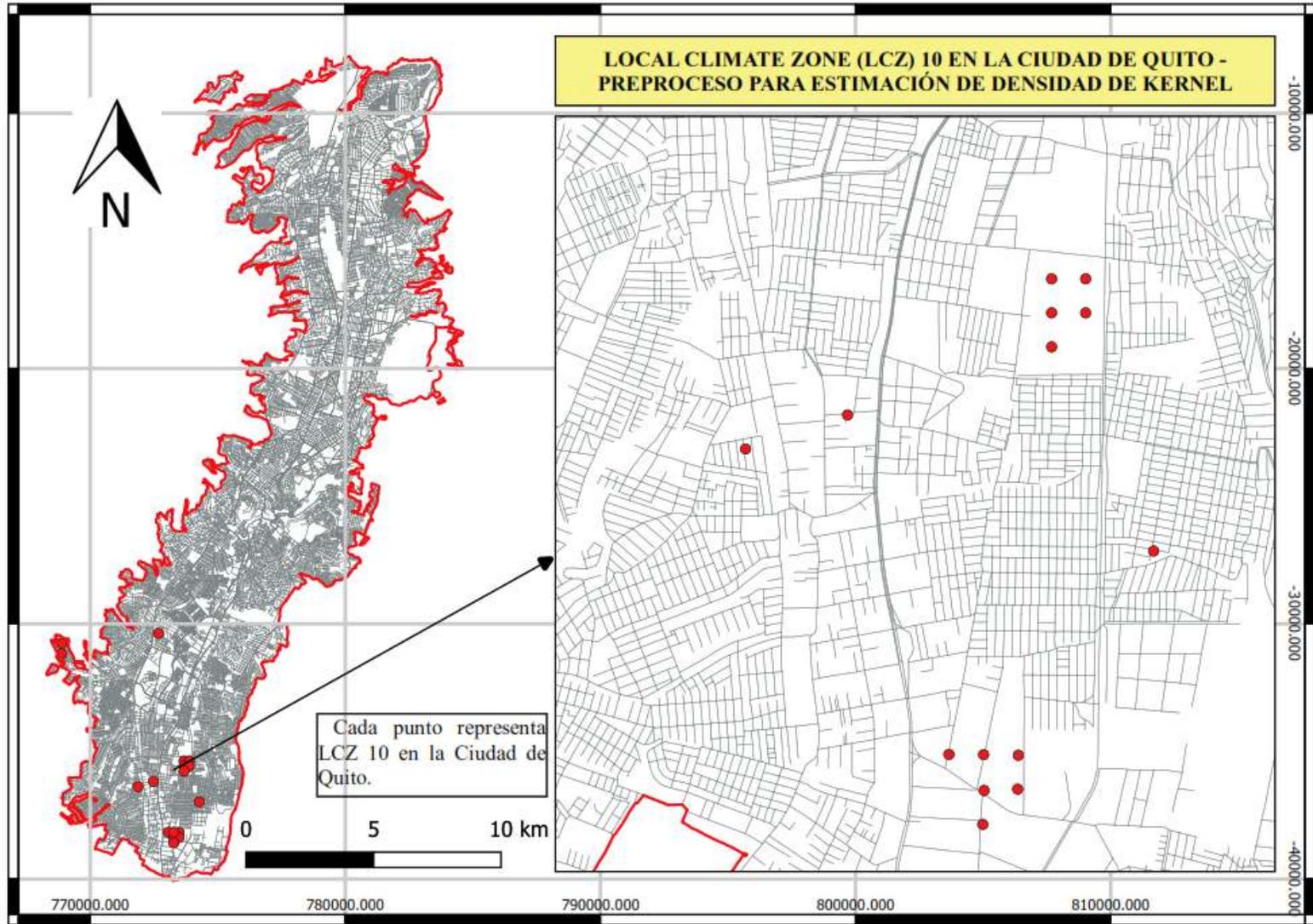
Este prototipo tiene 11 muestras y 0,44 km² en la ciudad, siendo el 0,22% de la superficie de estudio.

Figura 208: Local Climate Zone 10 en la Ciudad de Quito



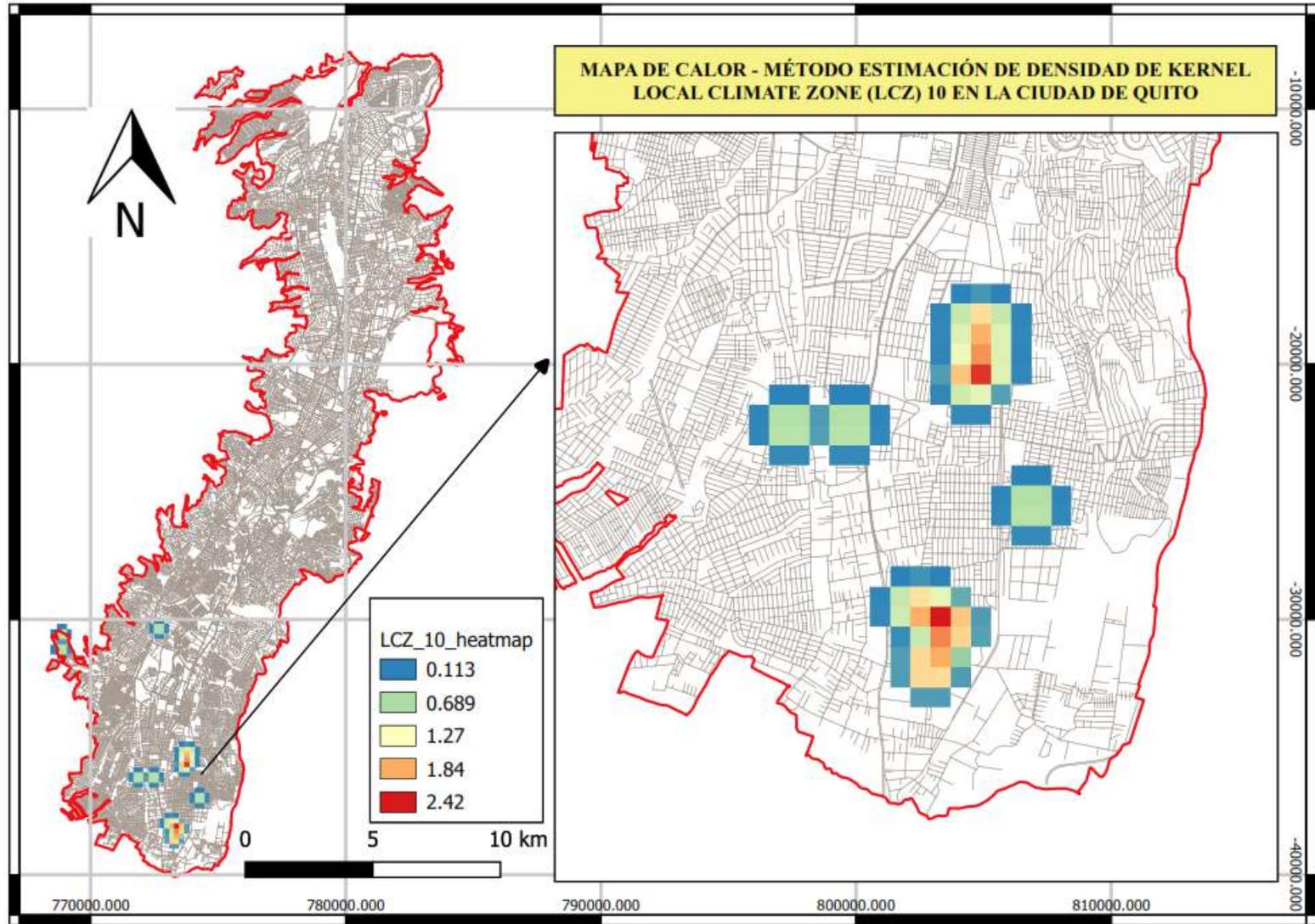
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 209: LCZ 10, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



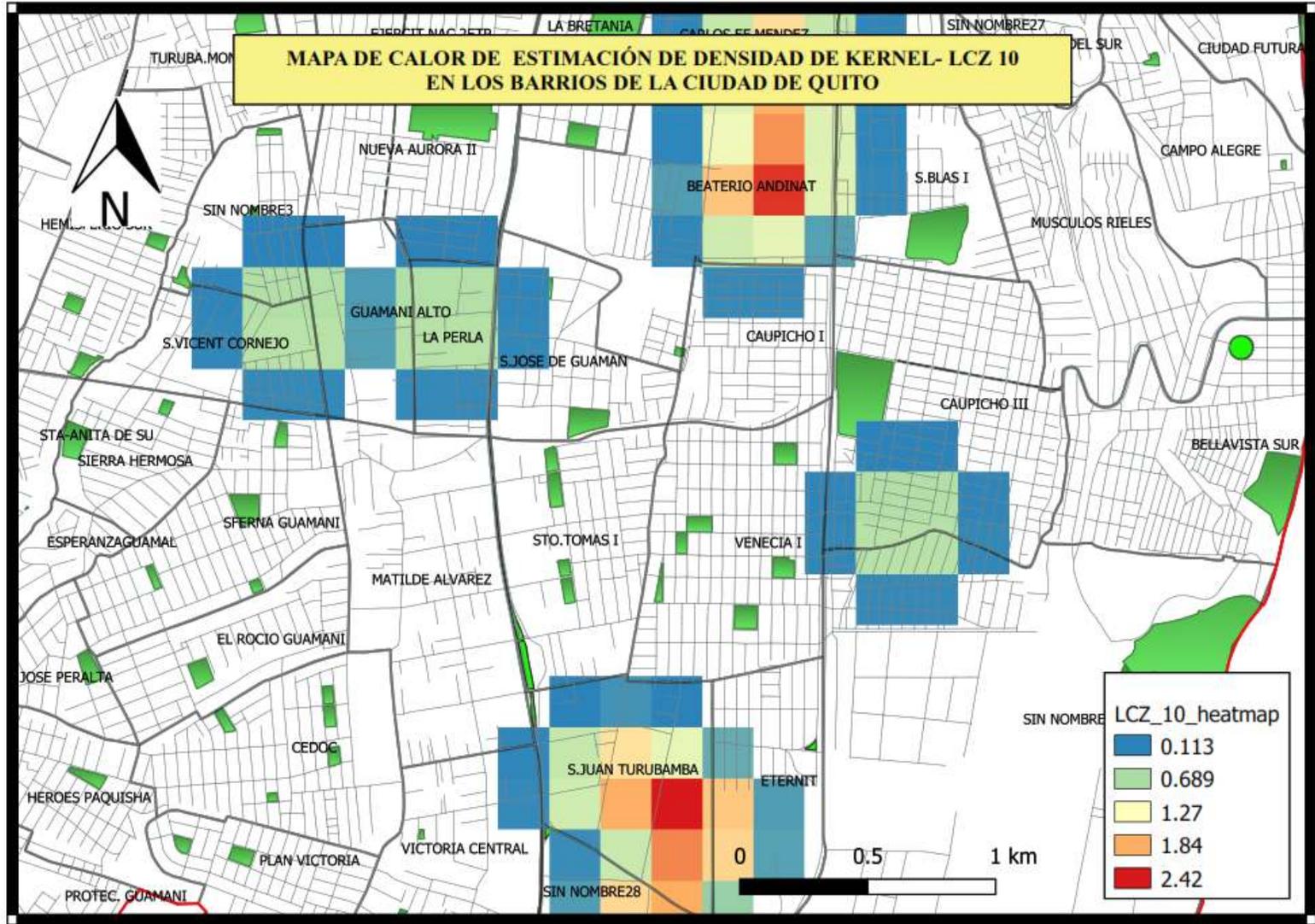
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 210: Mapa de Kernel - LCZ 10 en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 211: Mapa de Kernel - LCZ 10 en los Barrios de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -10

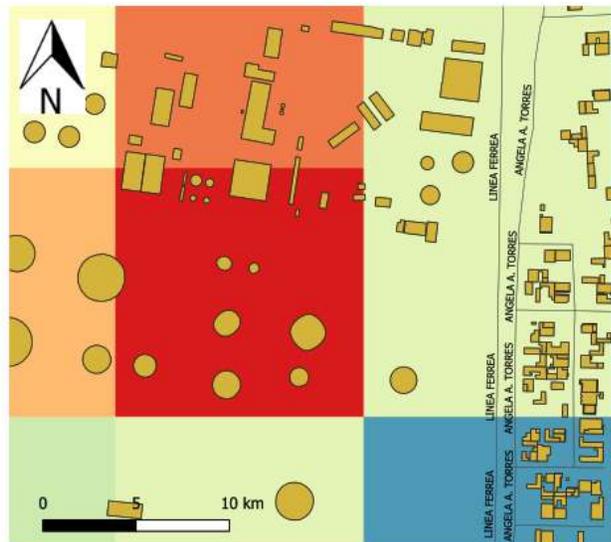
En el área más representativa de LCZ 10 (Ver figura 212) se cuantifica el área de cobertura de superficie (Ver tabla 53) y el porcentaje (Ver figura 213), siendo el 73% correspondiente a la cobertura de construcción de las edificaciones, 16% a la vegetación baja (césped), 6% a la arborización, 5% al recubrimiento de pavimento, la presencia de suelo desnudo, agua y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo.

Tabla 53: Materiales que identifican a LCZ 10

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	2030,00
<i>Building (-)</i>	29024,00
<i>Grass (-)</i>	6486,00
<i>deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	2460,00
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

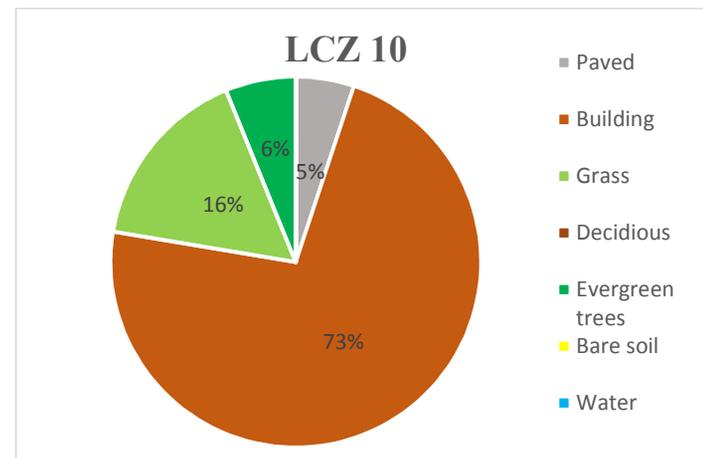
Figura 212: LCZ-10 más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 213: Materiales de cobertura de superficie LCZ 10

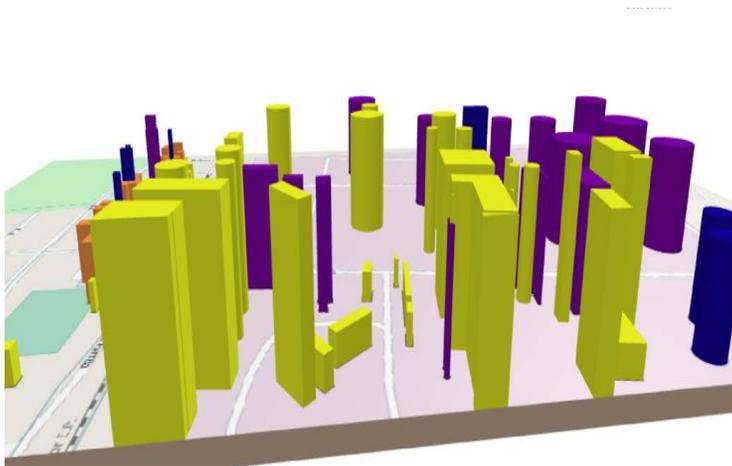


Fuente: Elaborado por la autora

Geometría urbana de LCZ 10

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 214) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 54); en esta tipología predominan los edificios de 1 a 3 pisos, sin embargo, su uso es destinado a la industria de bajo impacto en la Ciudad de Quito, los materiales de construcción utilizados en las edificaciones son el asbesto cemento y metal en la cubierta. Esta tipología es muy escasa en la Ciudad de Quito y se encuentra al sur de la ciudad.

Figura 214: LCZ 10 en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 54: Análisis de edificaciones en LCZ-10

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	14,20
<i>Mean vegetation height</i>	2,06
<i>Frontal area index buildings</i>	0,25
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,02
<i>Building height standard dev.</i>	2,49
<i>Vegetation height standard dev.</i>	2,01
<i>Maximum building height</i>	18,00
<i>Maximum vegetation height</i>	4,00

Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-10

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un ráster en donde cada pixel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico.

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-10 (Ver figura 215), el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 215: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-10



Fuente: Elaborado por la autora

La figura 216 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-10 de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.01 a 1.

Al comparar la figura 215 y 216 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-10 un espacio abierto, con gran visibilidad.

Figura 216: *Sky View Factor* con UMEP de LCZ-10 de Quito

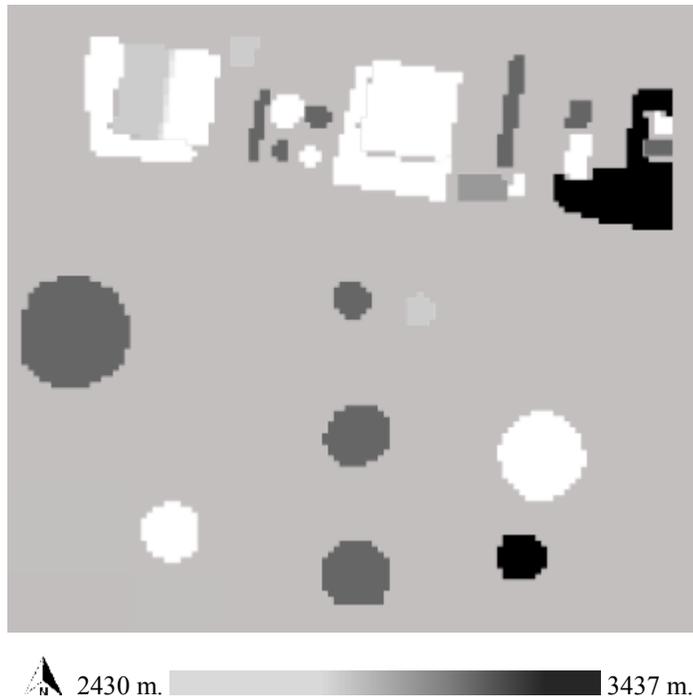


Fuente: Elaborado por la autora

Wall aspect en LCZ-10

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS. Para la elaboración se elaboró un DSM de suelo y edificaciones con ello queda indicado el cálculo realizado (Ver figura 217).

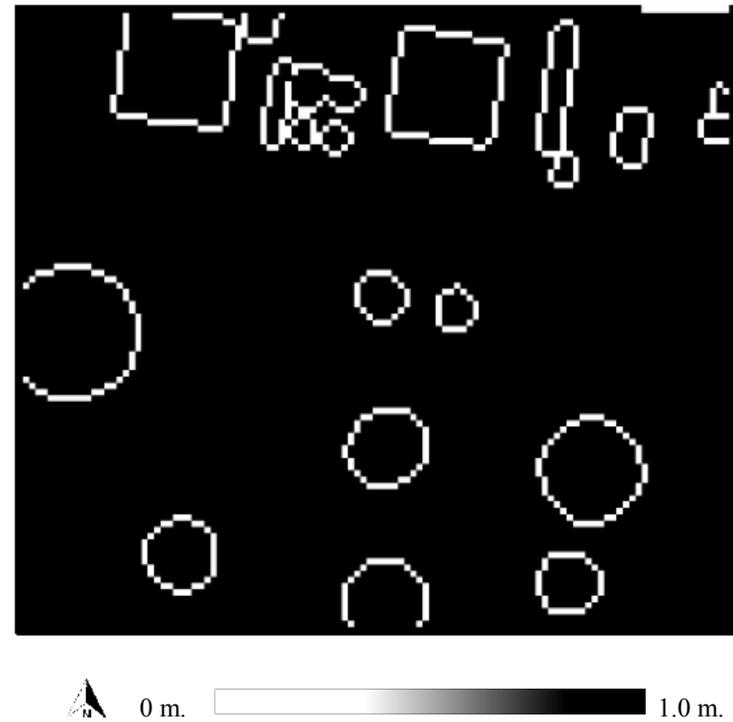
Figura 217: DSM de las edificaciones en LCZ-10



Fuente: Elaborado por la autora

Siendo los resultados obtenidos para LCZ-10 de la Ciudad de Quito (Ver figura 218) desde 0 a 1 siendo un rango que se encuentra dentro del intervalo que indica la metodología de Stewart y Oke (2012).

Figura 218: Wall aspect –LCZ-10 de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

La información de materiales de cobertura de superficie y de geometría urbana se sintetiza en una matriz (Ver tabla 55) según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-10

Tabla 55: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-10

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-10	0.015 -1	0-1	73	5	22	>14,20	5

Fuente: Elaborado por la autora

6.12. LCZ A – arborización densa (*dense trees*) en la Ciudad de Quito

La mayor presencia de este prototipo se encuentra en el norte, centro y sur de la ciudad, en los parques metropolitanos, su destinado a la recreación (Ver figura 219).

Figura 219: Paisaje urbano de LCZ A de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Después de ello se aplica el método de estimación de densidad de Kernel como se observa en la figura 222, a la derecha se

encuentra el mapa de calor y a la derecha una aproximación de la concentración de la densidad de este prototipo, siendo el más representativo el que indica el color rojo más intenso.

De acuerdo con el método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el Barrio Bellavista, parque Metropolitano.

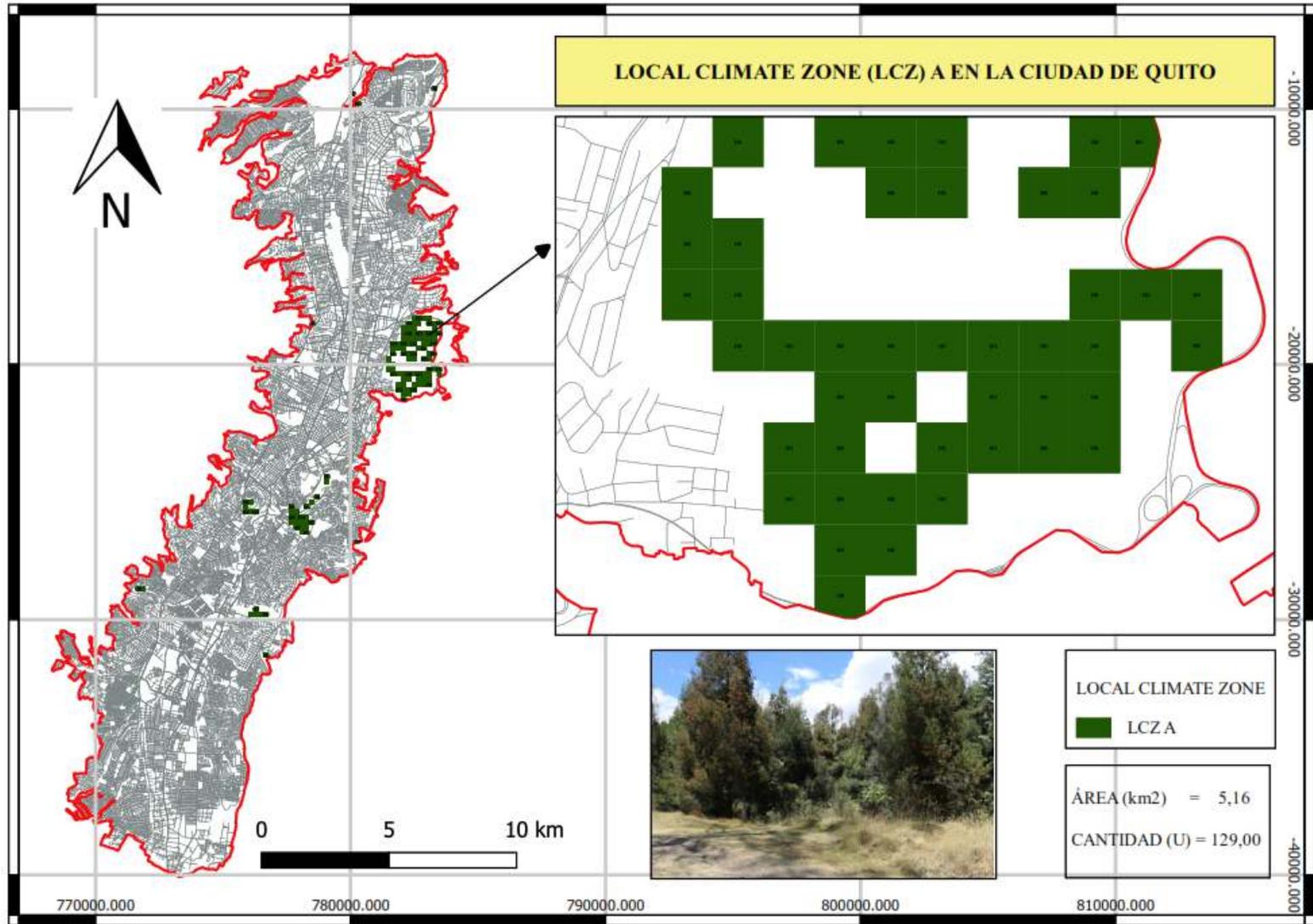
El uso del suelo está destinado para la recreación.

Se encuentran bosques densos y frondosos de gran altura, son espacios de recreación, canchas deportivas, aquí predomina la vegetación.

Las figuras 220, 221, 222 y 223 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

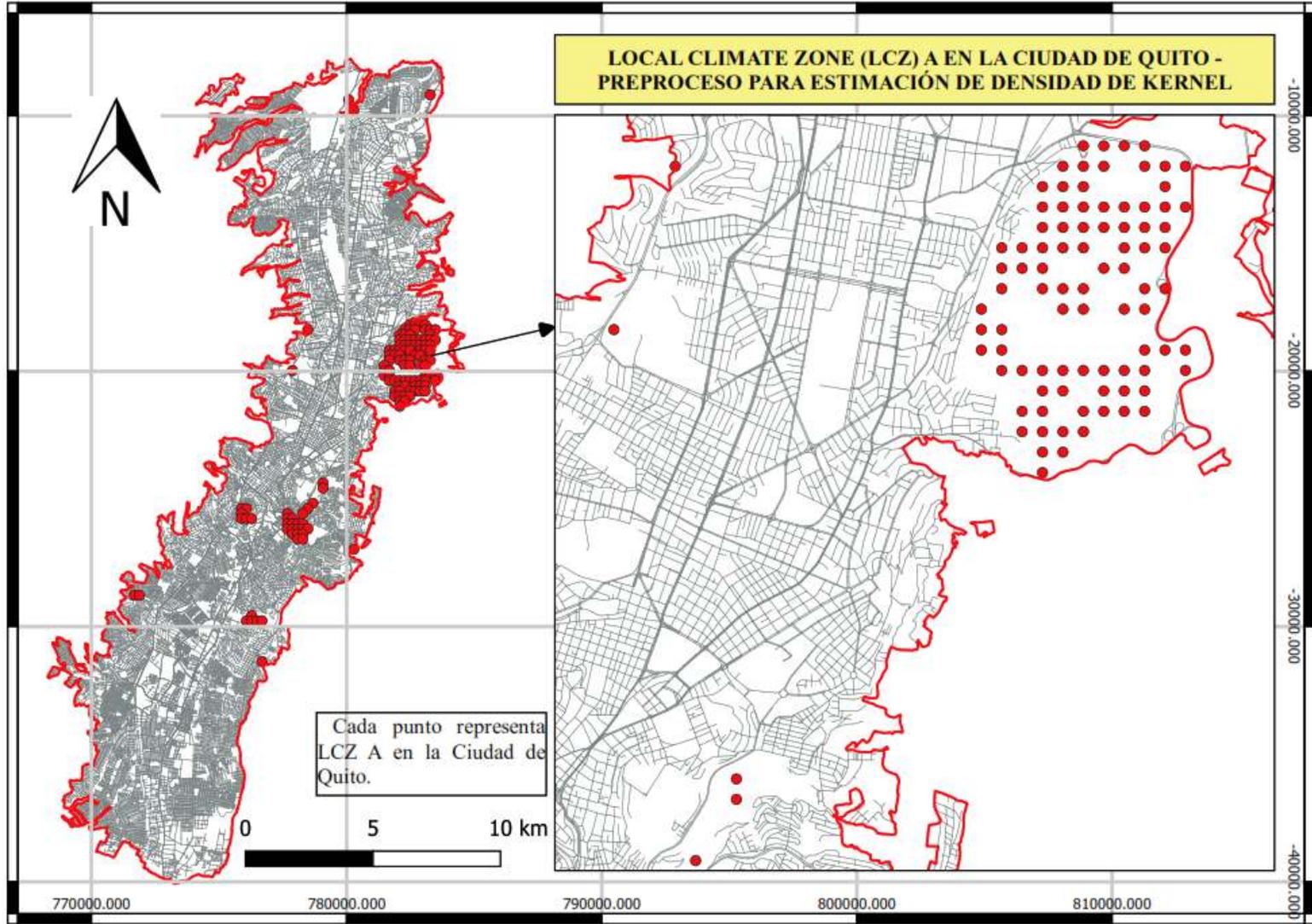
Este prototipo tiene 129 muestras y 5,16 km² en la ciudad, siendo el 2,54% de la superficie de estudio.

Figura 220: Local Climate Zone A en la Ciudad de Quito



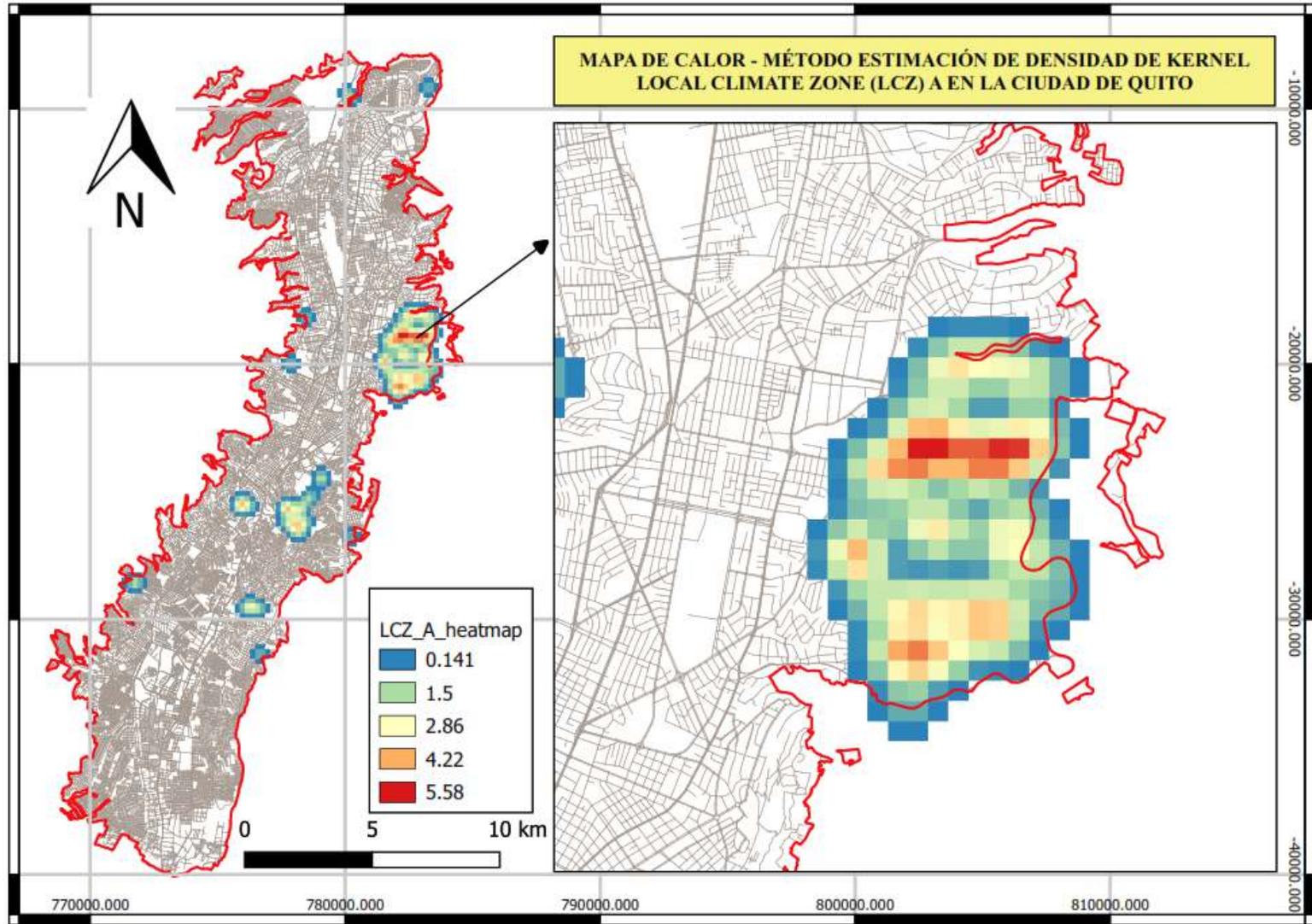
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 221: LCZ A, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



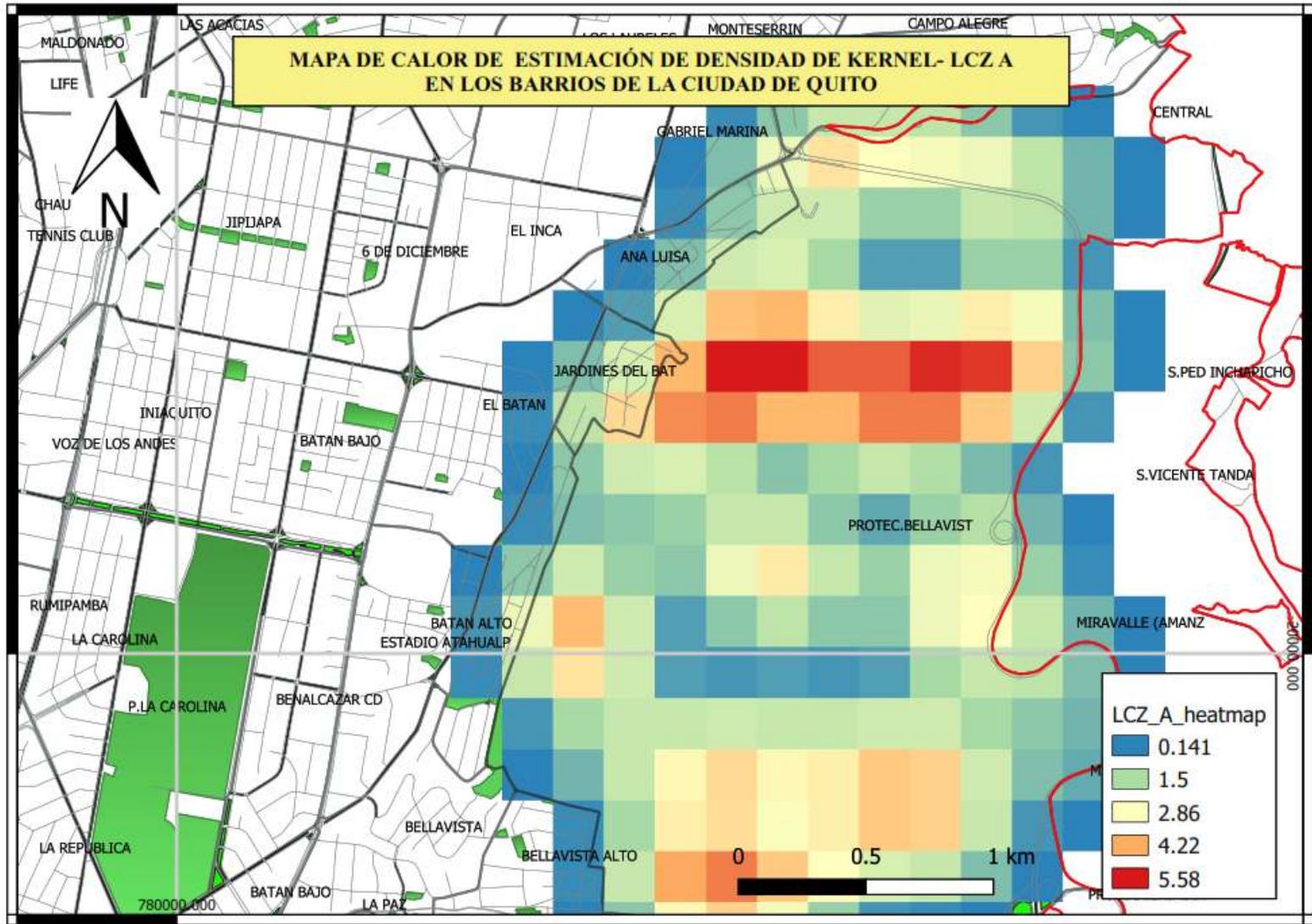
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 222: Mapa de Kernel - LCZ A en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 223: Mapa de Kernel - LCZ A en los Barrios de la Ciudad

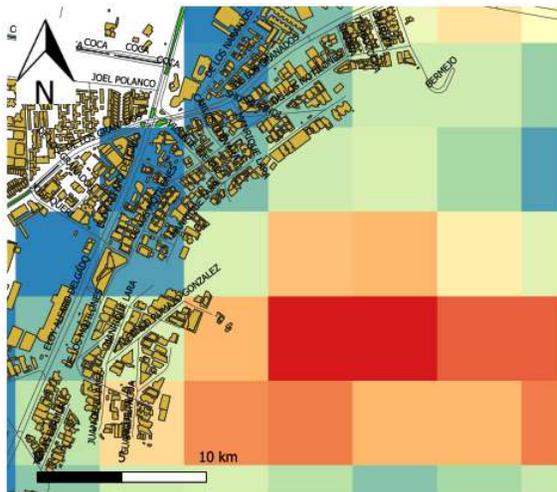


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -A

En el área más representativa de LCZ A (Ver figura 224) se obtiene el área de los materiales de cobertura de superficie (Ver tabla 56) y el porcentaje (Ver figura 225) siendo el 89% de arborización, el 11% vegetación baja (césped), corresponde a la cobertura de construcción de las edificaciones, el 34% al recubrimiento de pavimento, construcción de edificaciones, suelo desnudo, agua y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo.

Figura 224: LCZ-A más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

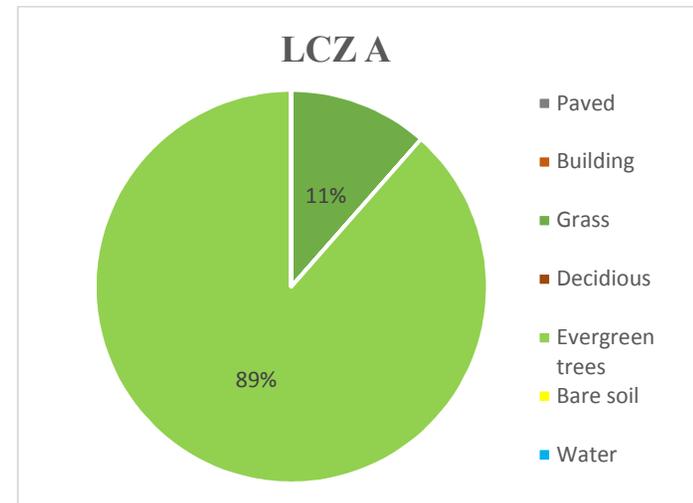
Tabla 56: Materiales que identifican a LCZ A

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	0,00
<i>Building (-)</i>	0,00
<i>Grass (-)</i>	4600,00
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	35400,00
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 225: Materiales de cobertura de superficie LCZ A

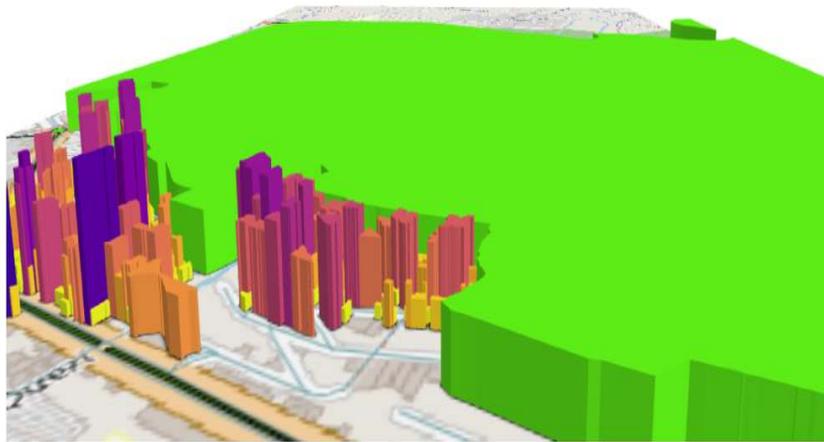


Fuente: Elaborado por la autora

Morfología urbana de LCZ A

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 226) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 57); en esta tipología predomina la arborización de hasta 24 metros, no existen edificaciones. Esta tipología es muy escasa en la Ciudad de Quito y se encuentra al norte, centro y sur de la ciudad.

Figura 226: LCZ A en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 57: Análisis de edificaciones en LCZ-A

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	0,00
<i>Mean vegetation height</i>	20,15
<i>Frontal area index buildings</i>	0,00
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,01
<i>Building height standard dev.</i>	0,00
<i>Vegetation height standard dev.</i>	1,42
<i>Maximum building height</i>	0,00
<i>Maximum vegetation height</i>	24,00

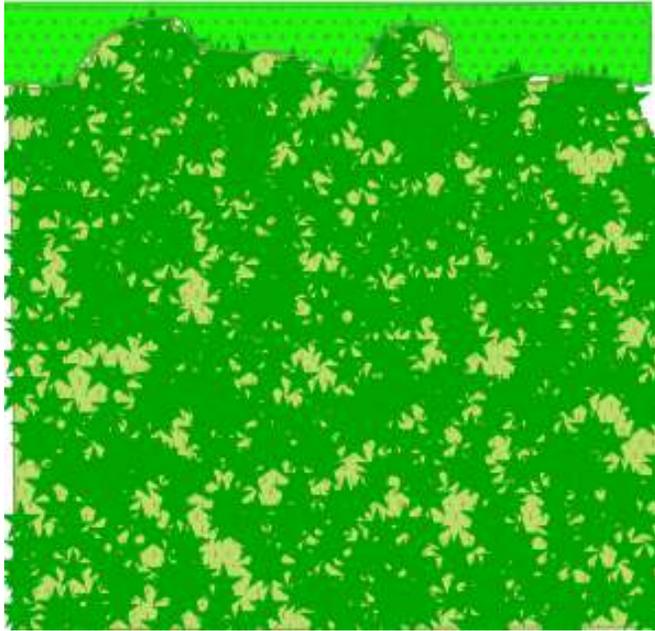
Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-A

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un ráster en donde cada pixel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico.

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-1 (Ver figura 227), el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 227: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-A



Fuente: Elaborado por la autora

La figura 228 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-A de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.010 a 1.005.

Al comparar la figura 227 y 228 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-A un espacio cerrado, con poca visibilidad.

Figura 228: *Sky View Factor* con UMEP de LCZ-A de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Wall aspect en LCZ-A

Este parámetro no aplica en este prototipo porque no tiene edificaciones en la muestra de mayor representación.

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-A

Tabla 58: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-A

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-A	0.01 - 1.00	----	0	0	1	>10,08	6

Fuente: Elaborado por la autora

6.13. LCZ B – árboles dispersos (*scattered trees*) en la Ciudad de Quito

La mayor presencia de este prototipo se encuentra en el norte, centro y sur de la ciudad, en los parques metropolitanos, su uso está destinado a la recreación (Ver figura 229).

Figura 229: Paisaje urbano de LCZ B de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el Barrio Tenis Club, al norte la calle German, al sur calle Luis Tuquerres, al este calle sin nombre y al oeste calle José de Rumihurcu.

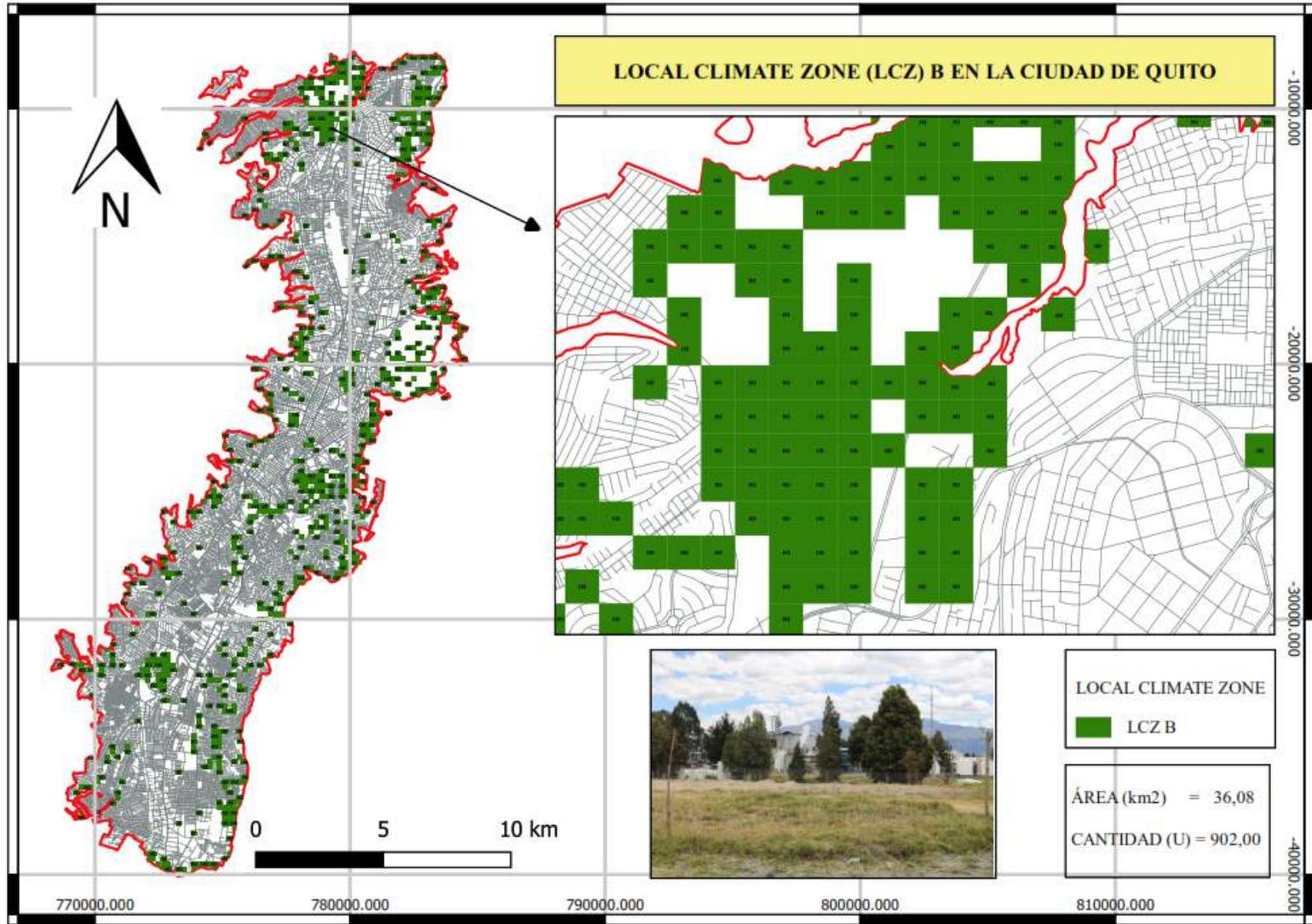
El uso del suelo está destinado para la recreación.

Se encuentran bosques densos y frondosos de gran altura dispersos, la vegetación baja (césped) se encuentra presente.

Las figuras 230, 231, 232 y 233 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

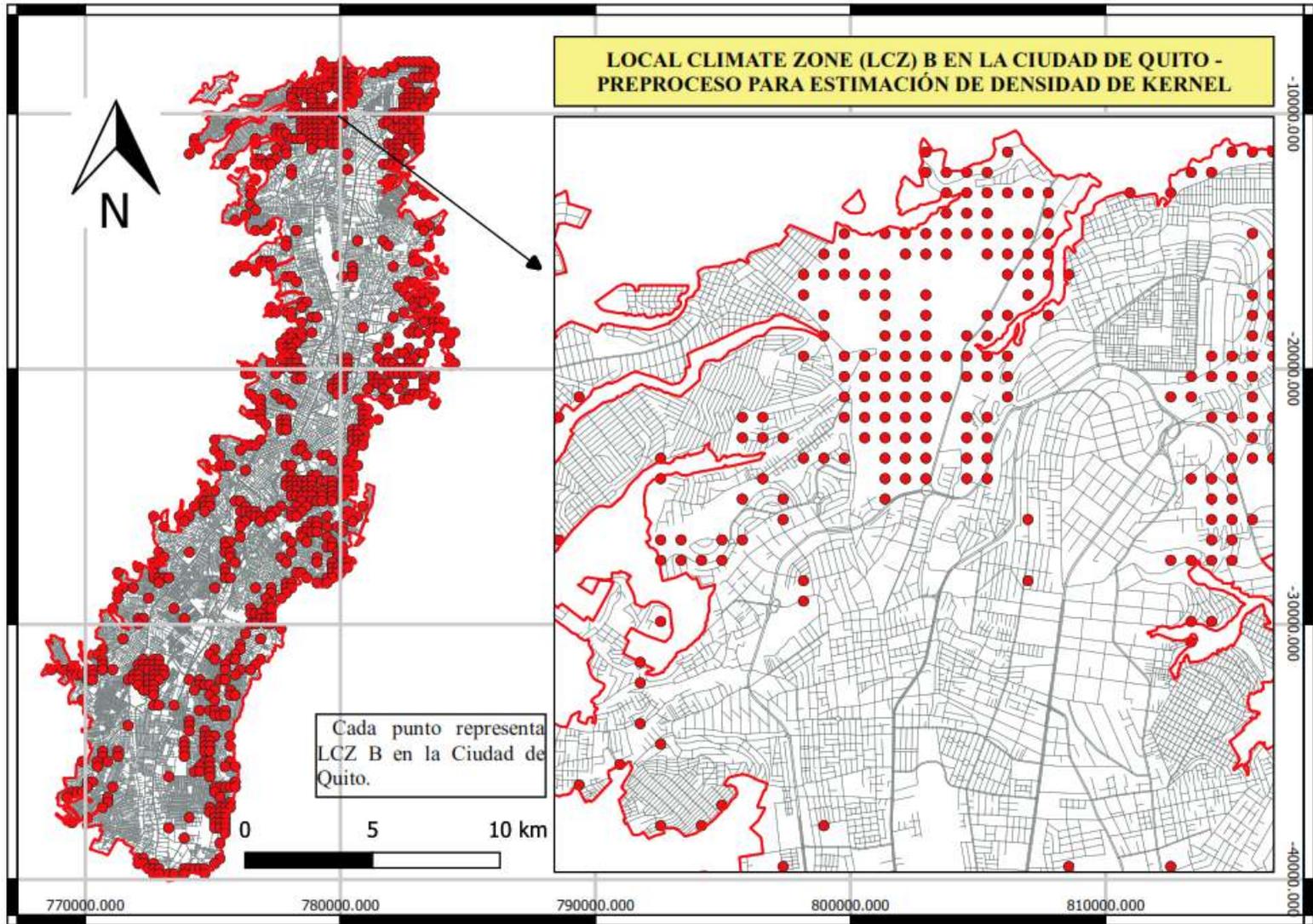
Este prototipo tiene 902 muestras y 36,08 km² en la ciudad, siendo el 17,78% de la superficie de estudio.

Figura 230: Local Climate Zone B en la Ciudad de Quito



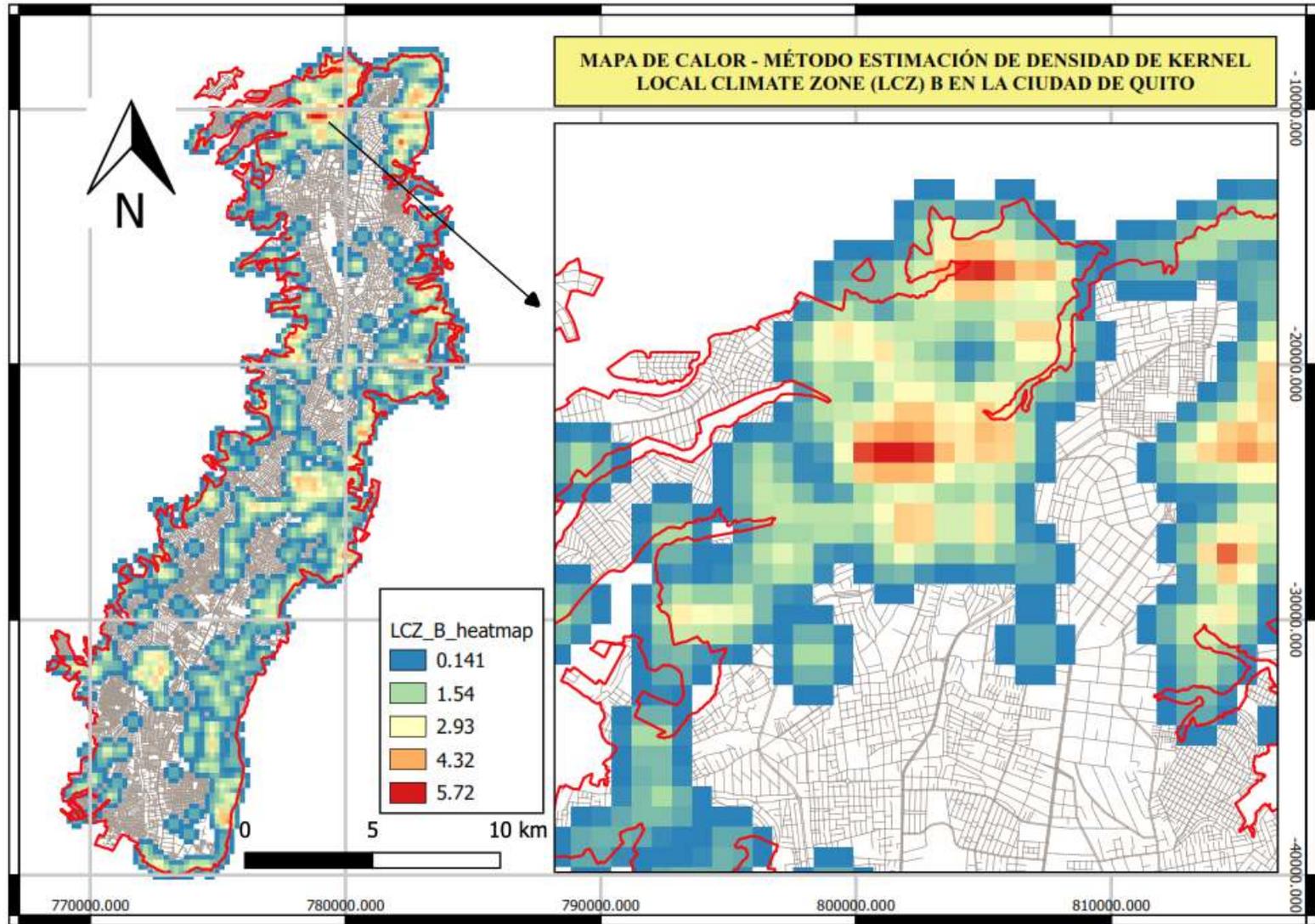
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 231: LCZ B, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 232: Mapa de Kernel - LCZ B en la Ciudad de Quito

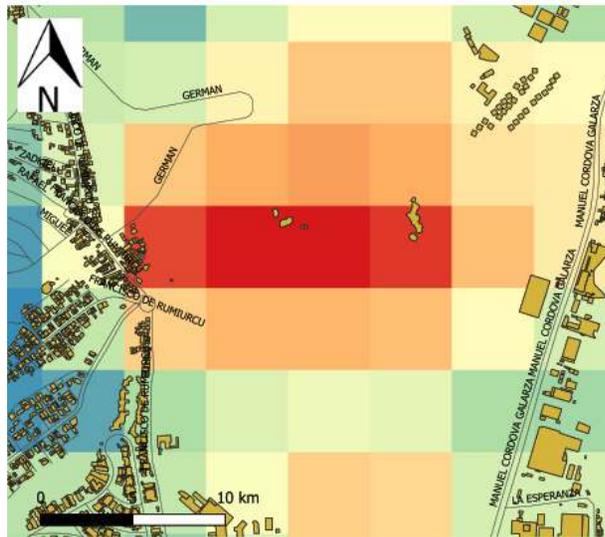


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -B

En el área más representativa de LCZ B (Ver figura 234) se extrae el área de materiales de superficie (Ver tabla 59) y el porcentaje (Ver figura 235) siendo el 76% a la arborización, el 12% a la vegetación baja (césped), el 9% al recubrimiento de pavimento, el 3% corresponden a la cobertura de construcción de las edificaciones, la presencia de suelo desnudo, agua y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo.

Figura 234: LCZ-B más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

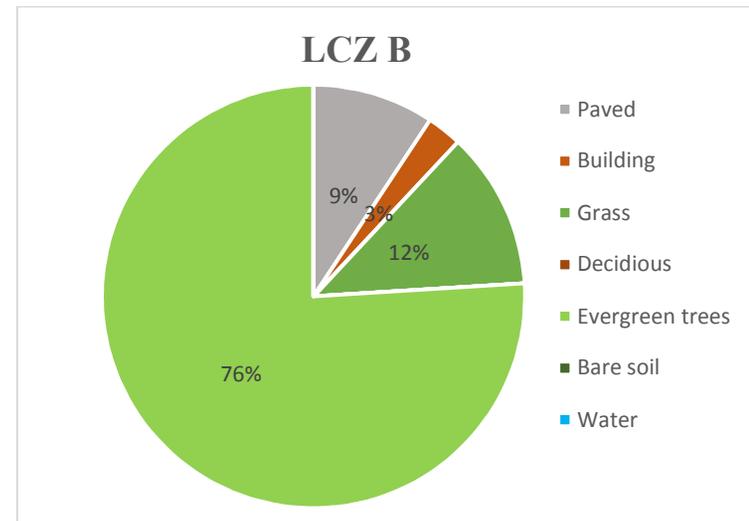
Tabla 59: Materiales que identifican a LCZ B

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	3720,00
<i>Building (-)</i>	1065,00
<i>Grass (-)</i>	4815,00
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	30400,00
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 235: Materiales de cobertura de superficie LCZ B



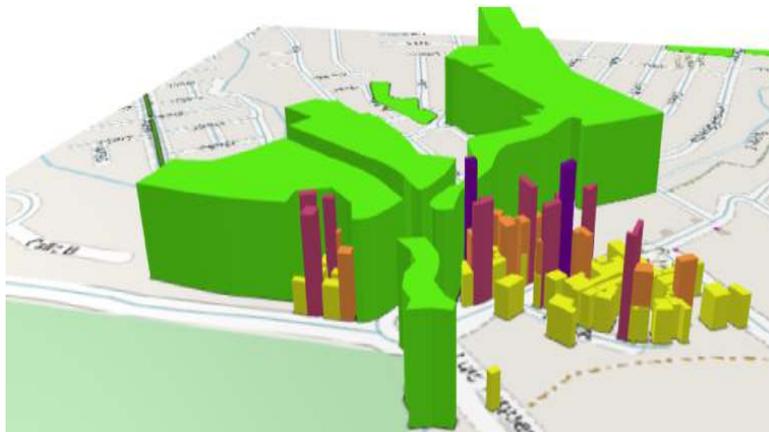
Fuente: Elaborado por la autora

Geometría urbana de LCZ B

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 236) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 60); en esta tipología predomina la arborización de hasta 24 metros, no existen edificaciones.

Esta tipología es muy escasa en la Ciudad de Quito y se encuentra al norte, centro y sur de la ciudad.

Figura 236: LCZ B en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 60: Análisis de edificaciones en LCZ-B

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	3,00
<i>Mean vegetation height</i>	20,95
<i>Frontal area index buildings</i>	0,58
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,43
<i>Building height standard dev.</i>	0,00
<i>Vegetation height standard dev.</i>	1,68
<i>Maximum building height</i>	3,00
<i>Maximum vegetation height</i>	23,00

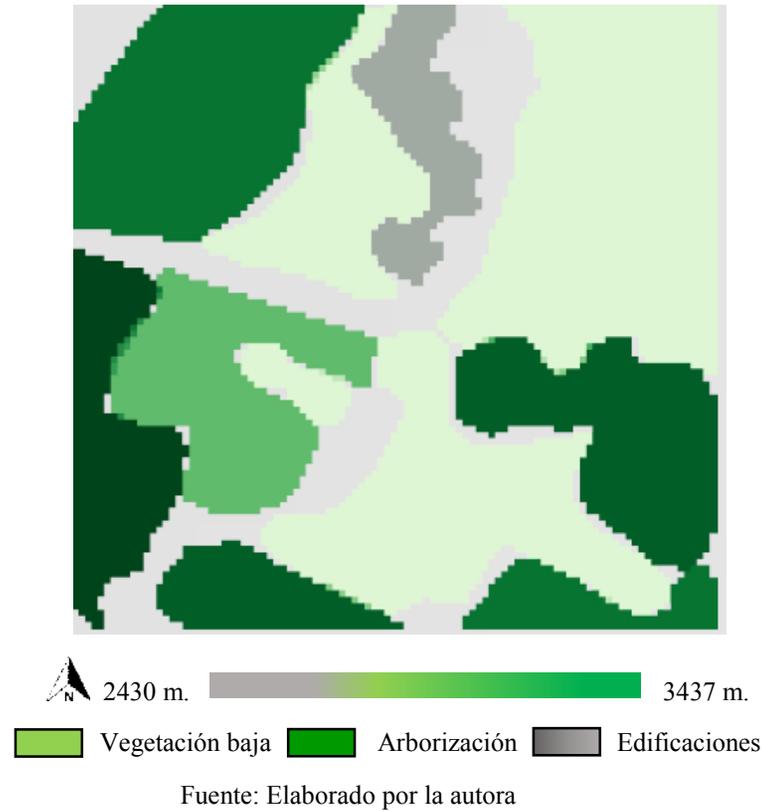
Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-B

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un ráster en donde cada pixel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico.

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-B (Ver figura 237), el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

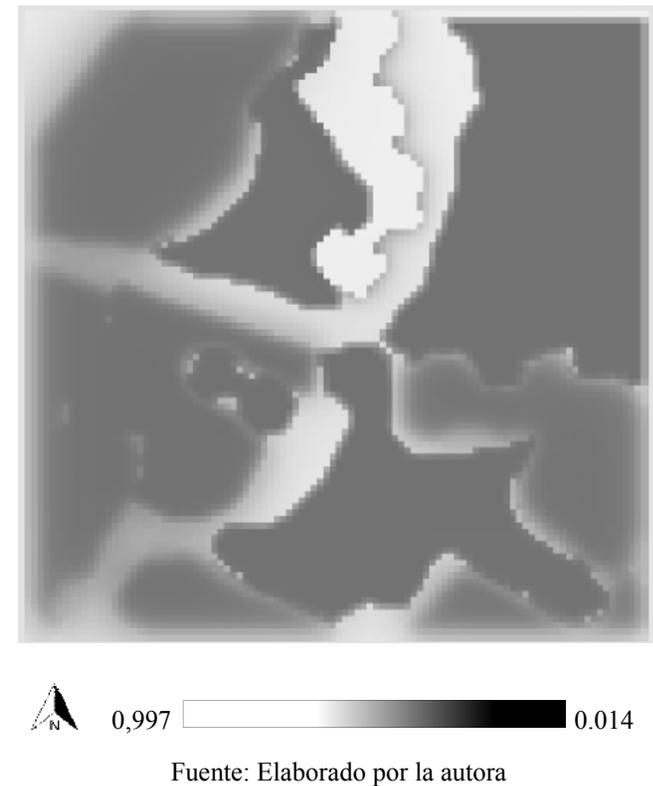
Figura 237: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-B



La figura 238 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-B de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.014 a 0.997.

Al comparar la figura 237 y 238 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-B un espacio cerrado, con poca visibilidad.

Figura 238: *Sky View Factor* con UMEP de LCZ-B de Quito



La información de materiales de cobertura de superficie y de geometría urbana se sintetiza en una matriz (Ver tabla 61) según la metodología de Stewart y Oke (2012).

Wall aspect en LCZ-B

Para este prototipo no aplica este parámetro porque no existe presencia de edificaciones.

Los resultados son procesados en una matriz (Ver tabla 61).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-B

Tabla 61: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-B

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-B	0.01-0.99	0-1	3	9	88	>11,97	6

Fuente: Elaborado por la autora

6.14. LCZ C – Vegetación de media altura (*Bush, scrub*) en la Ciudad de Quito

La mayor presencia de este prototipo se encuentra en el norte de la ciudad cerca de la periferia en el barrio Colegio Militar, su uso es destinado a la recreación (Ver figura 239).

Figura 239: Paisaje urbano de LCZ C de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el Barrio Colegio Militar, al norte la calle Sin nombre, al sur calle Francisco de Rumihurcu, al este calle sin nombre y al oeste calle sin nombre.

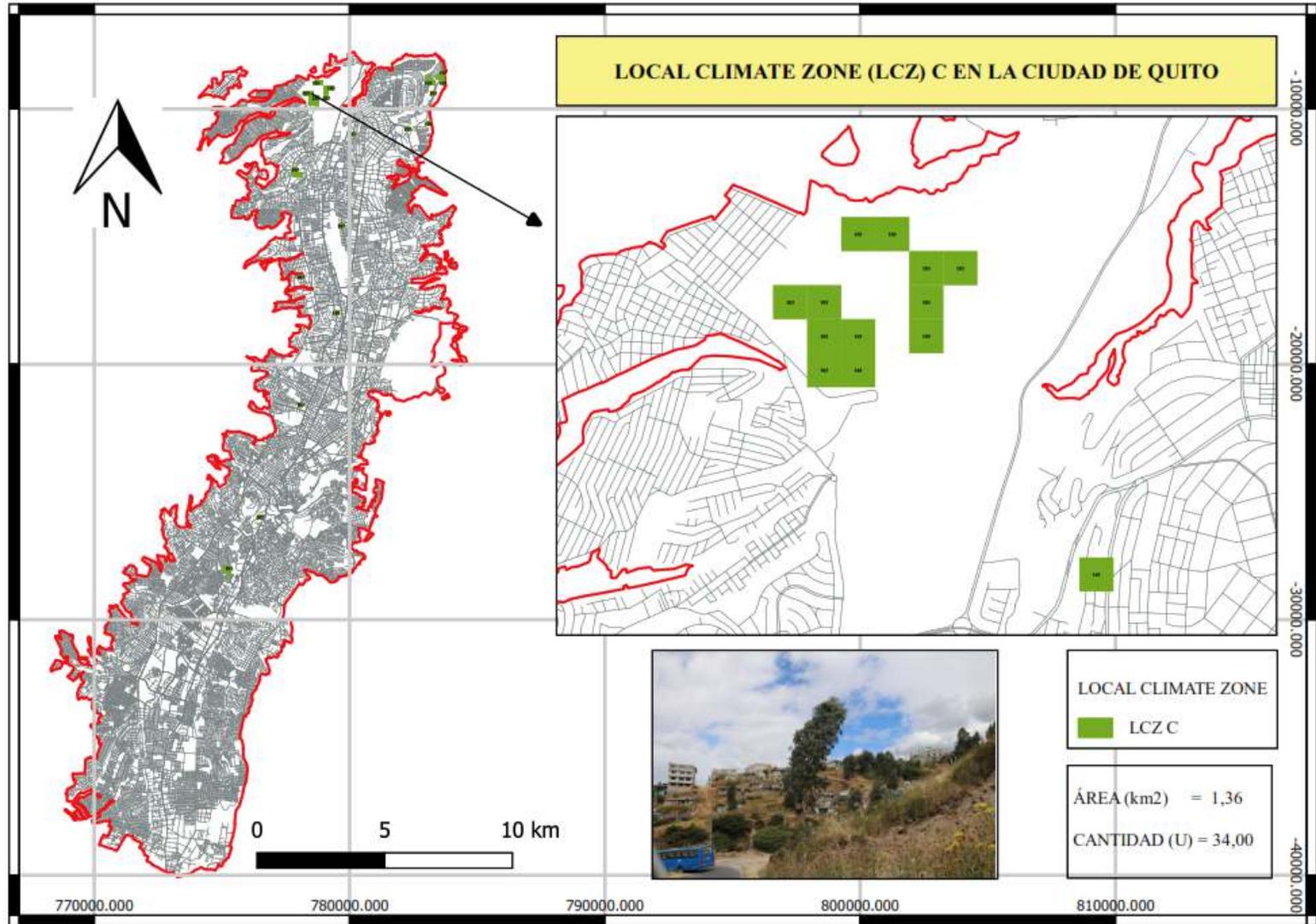
El uso del suelo está destinado para la recreación.

Se encuentran árboles densos y frondosos de mediana altura dispersos, la vegetación baja (césped) se encuentra presente y existe suelo descubierto.

Las figuras 240, 241, 242 y 243 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

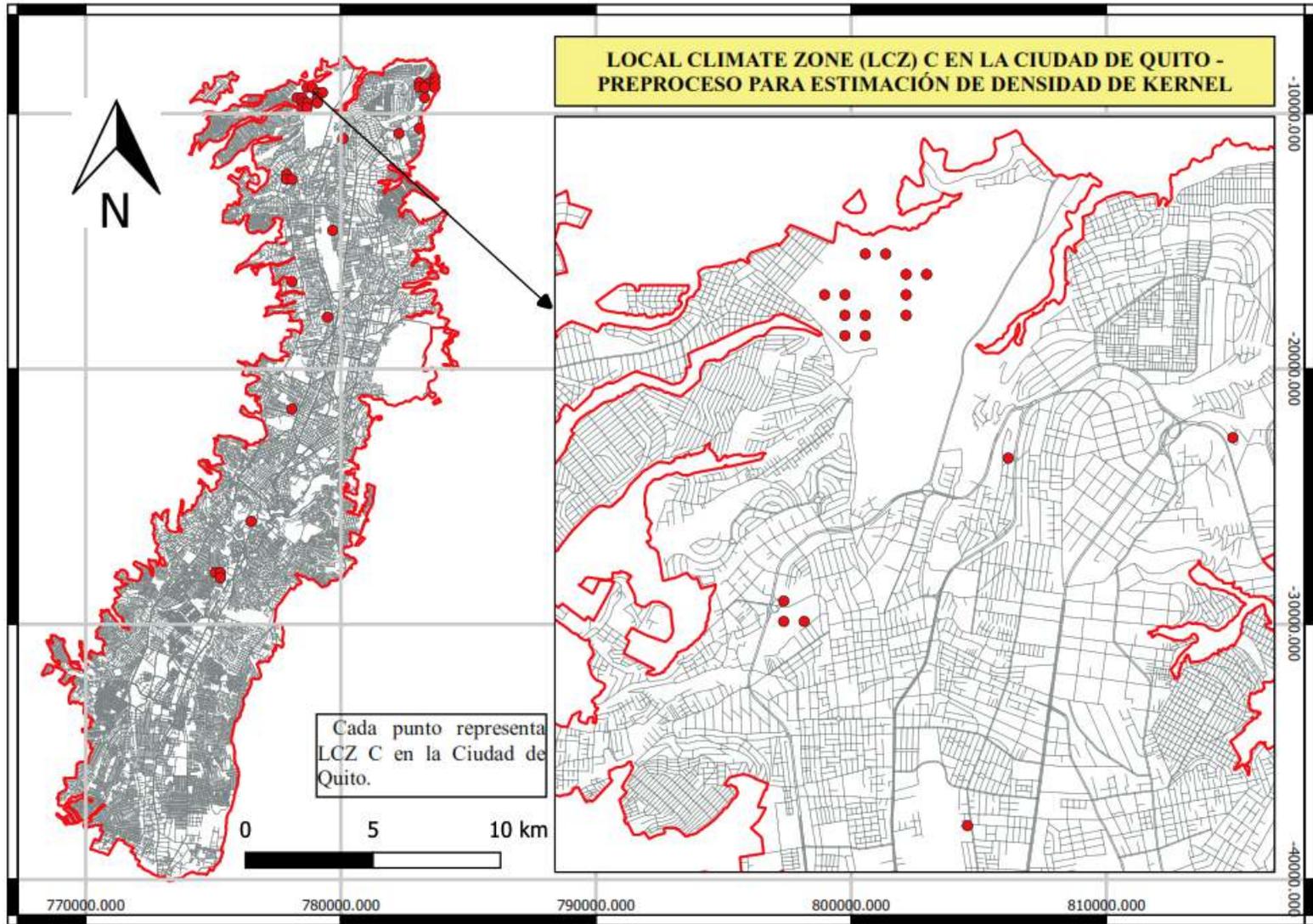
Este prototipo tiene 34 muestras y 1,36 km² en la ciudad, siendo el 0,67% de la superficie de estudio.

Figura 240: Local Climate Zone C en la Ciudad de Quito



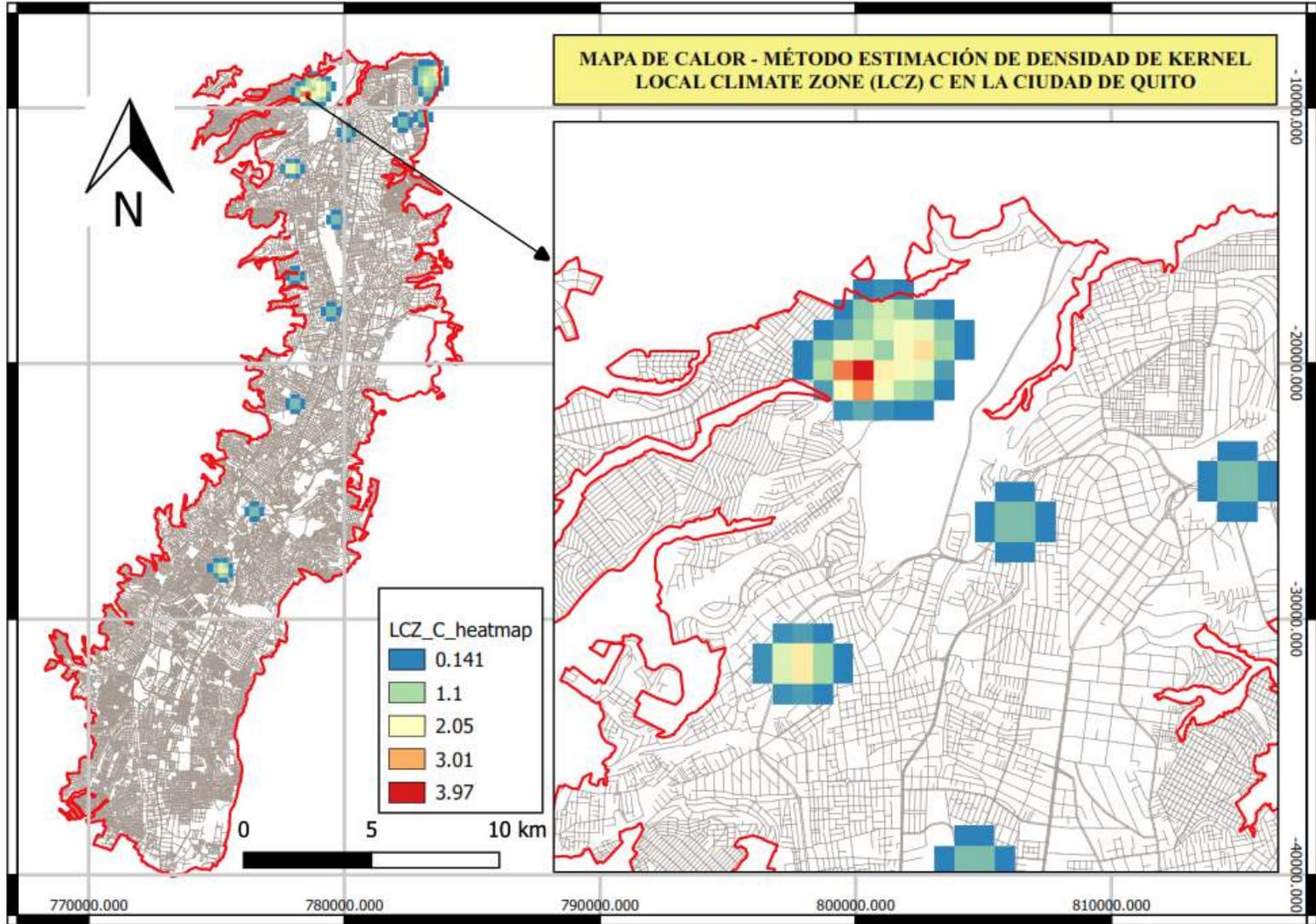
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 241: LCZ C, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



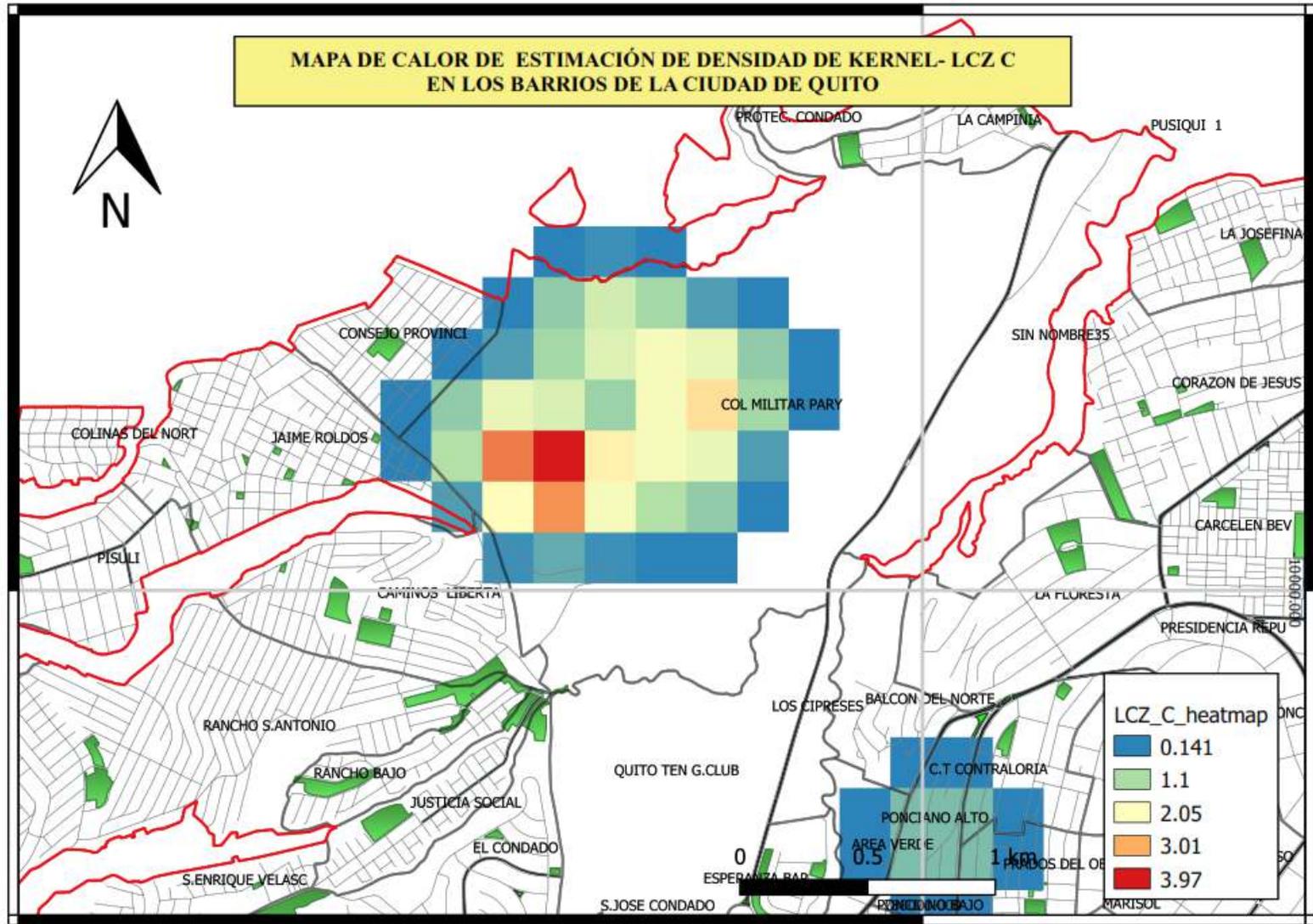
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 242: Mapa de Kernel - LCZ C en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 243: Mapa de Kernel – LCZ C en los Barrios de la Ciudad



Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -C

En el área más representativa de LCZ C (Ver figura 244), se extrae el área de los materiales de cobertura de superficie (Ver tabla 62) y el porcentaje (Ver figura 245) siendo el 75% correspondiente a la arborización, 25% de cobertura de construcción de las edificaciones, la presencia de suelo desnudo, pavimento, agua, vegetación baja (césped), y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo.

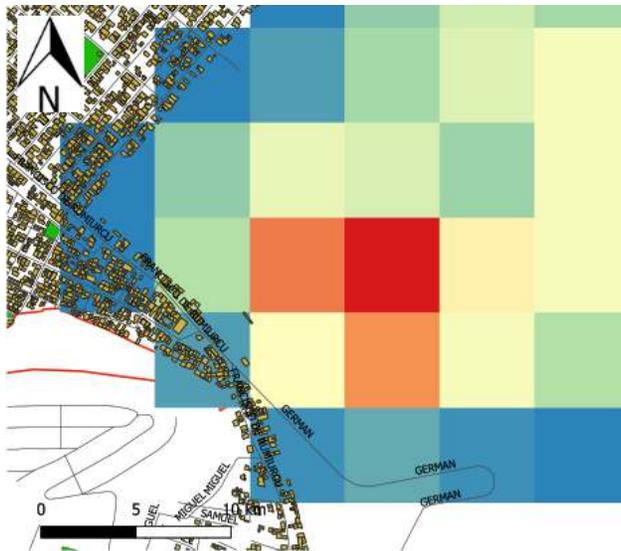
Tabla 62: Materiales que identifican a LCZ C

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	0,00
<i>Building (-)</i>	0,00
<i>Grass (-)</i>	0,00
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	30000,00
<i>Bare soil (-)</i>	10000,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

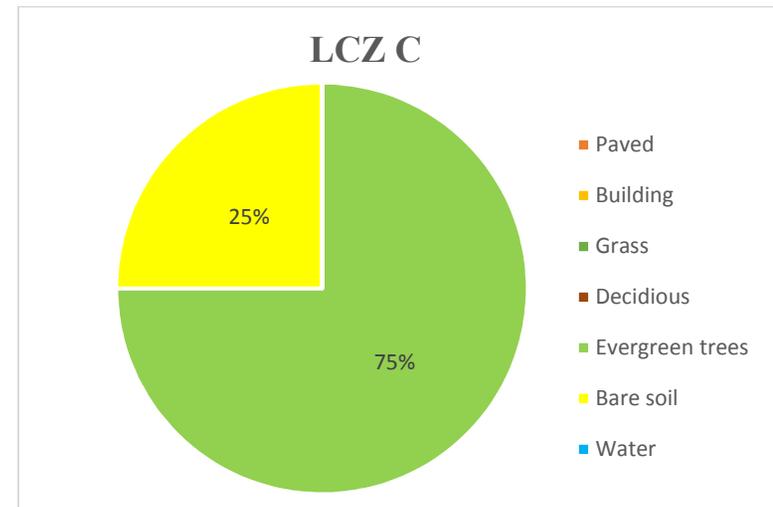
Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 244: LCZ-C más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 245: Materiales de cobertura de superficie LCZ C

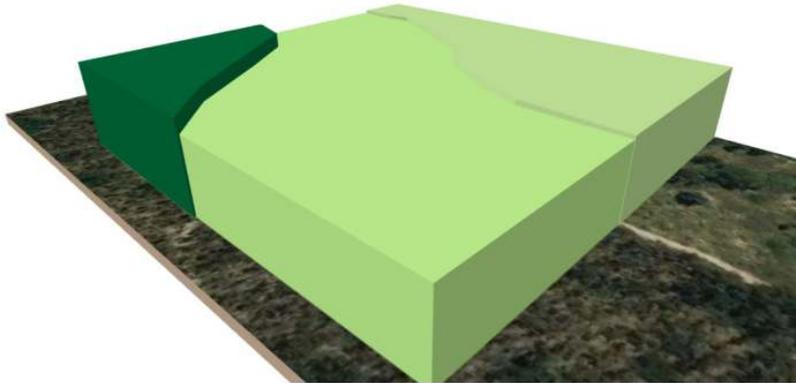


Fuente: Elaborado por la autora

Geometría urbana de LCZ C

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 246) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de arborización y suelo descubierto (Ver tabla 63), en esta tipología predomina la arborización.

Figura 246: LCZ C en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 63: Análisis de edificaciones en LCZ-C

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	0,00
<i>Mean vegetation height</i>	20,95
<i>Frontal area index buildings</i>	0,00
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,43
<i>Building height standard dev.</i>	0,00
<i>Vegetation height standard dev.</i>	1,68
<i>Maximum building height</i>	0,00
<i>Maximum vegetation height</i>	23,00

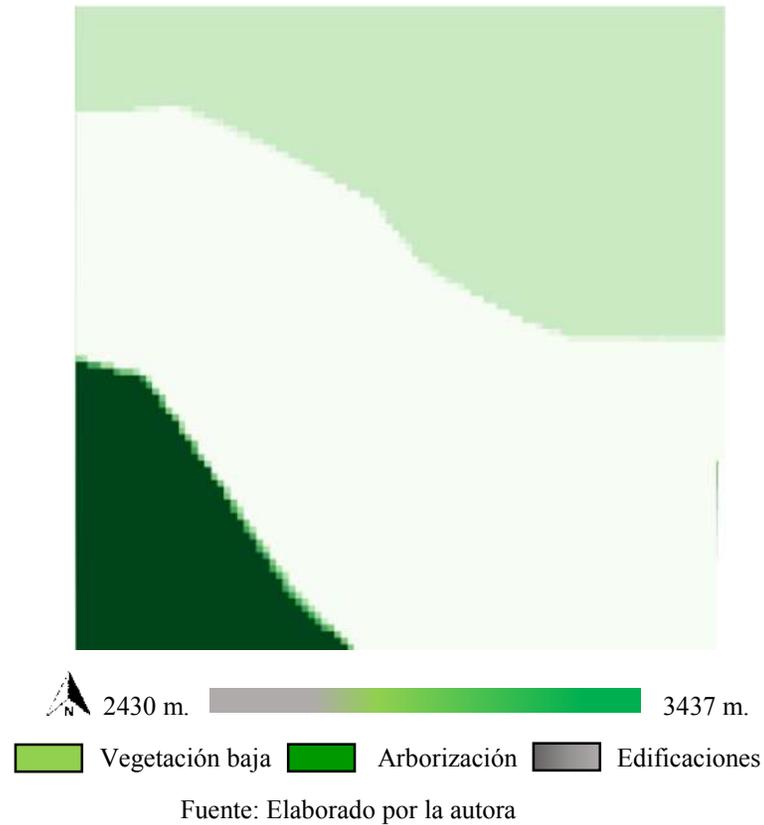
Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-C

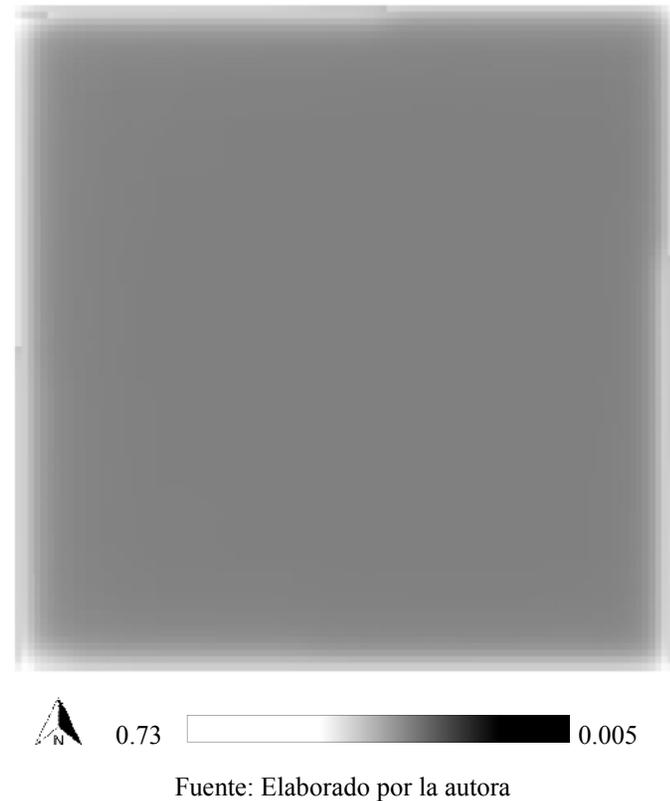
Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un ráster en donde cada pixel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico.

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-C (Ver figura 247), el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 247: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-C



El geoprocesamiento de *Sky view factor* de LCZ C corresponde a valores desde 0.005 a 0.73 (Ver figura 248).

Figura 248: *Sky View Factor* con UMEP de LCZ-C de Quito

***Wall aspect* en LCZ-C**

Este parámetro no aplica en este prototipo porque no tiene edificaciones en la muestra.

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-C

Tabla 64: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-C

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-C	0,05-0,73	----	0	0	1	>10,08	6

Fuente: Elaborado por la autora

6.15. LCZ D – Vegetación baja (*Low plants*) en la Ciudad de Quito

La mayor presencia de este prototipo se encuentra en el sur de la ciudad, en la periferia de la Ciudad de Quito en los barrios Eternit y Protección Turubamba (Ver figura 249).

Figura 249: Paisaje urbano de LCZ D de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Después de ello se aplica el método de estimación de densidad de Kernel como se observa en la figura 252, a la derecha se encuentra el mapa de calor y a la izquierda una aproximación de la concentración de la densidad de este prototipo, siendo el más representativo el que indica el color rojo más intenso.

De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el Barrio Sin nombre 17, al norte la calle S62, al sur calle J, al este calle J y al oeste calle J.

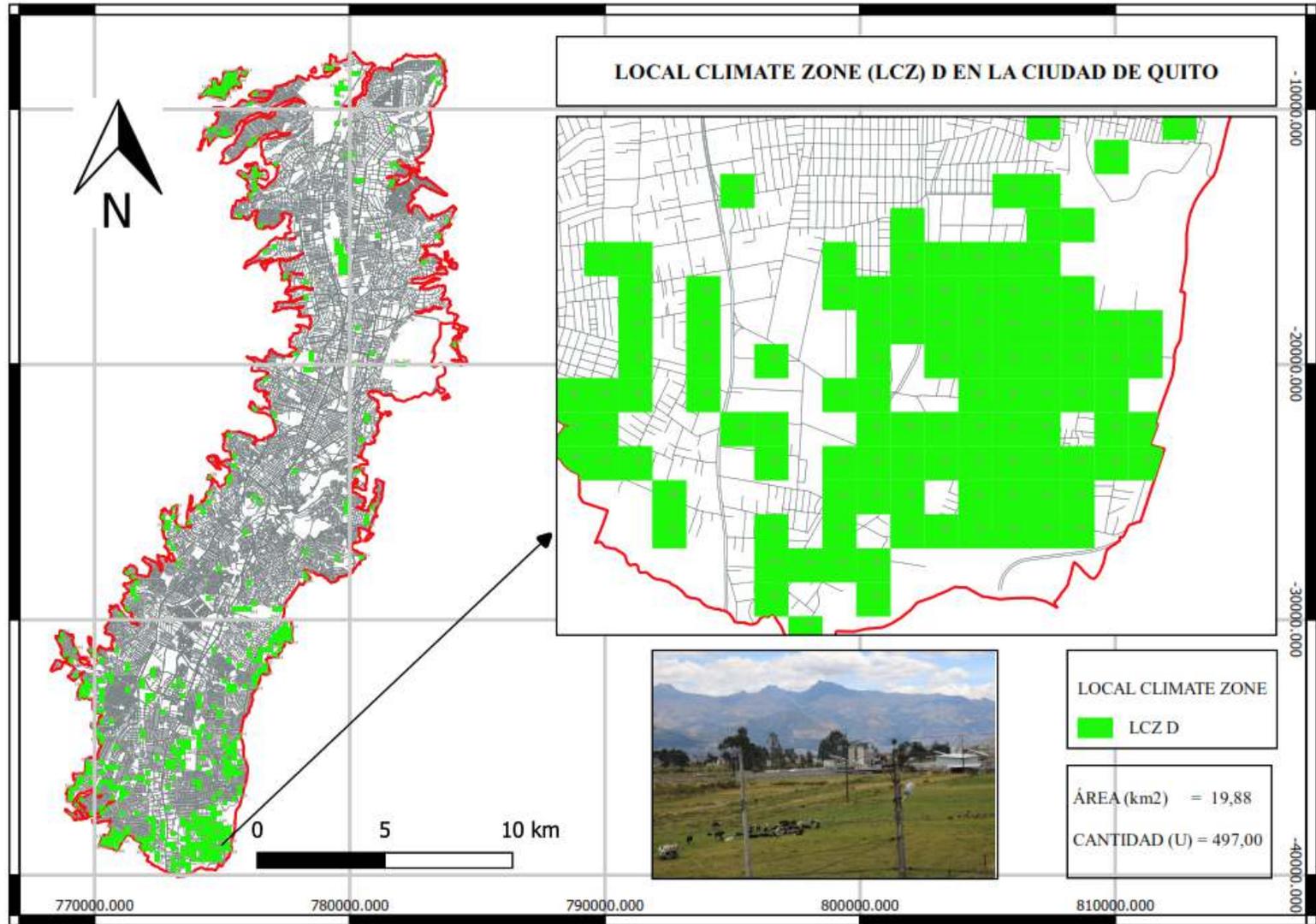
El uso del suelo está destinado para el cultivo y pastoreo, es un área de expansión urbana.

Se encuentran vegetación baja (césped) frondosa y abundante.

Las figuras 250, 251, 252 y 253 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

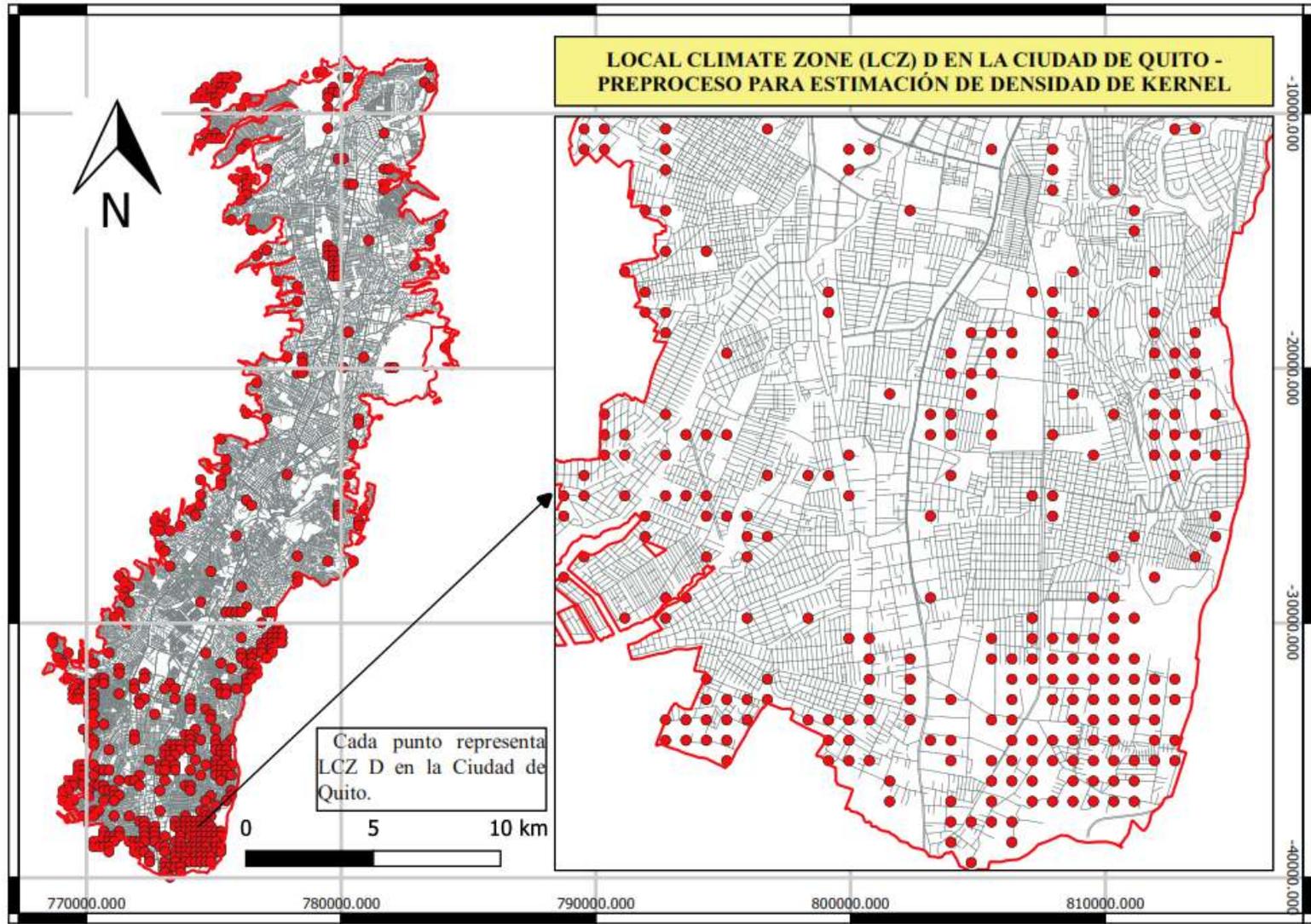
Este prototipo tiene 497 muestras y 19,88 km² en la ciudad, siendo el 9,80% de la superficie de estudio.

Figura 250: Local Climate Zone D en la Ciudad de Quito



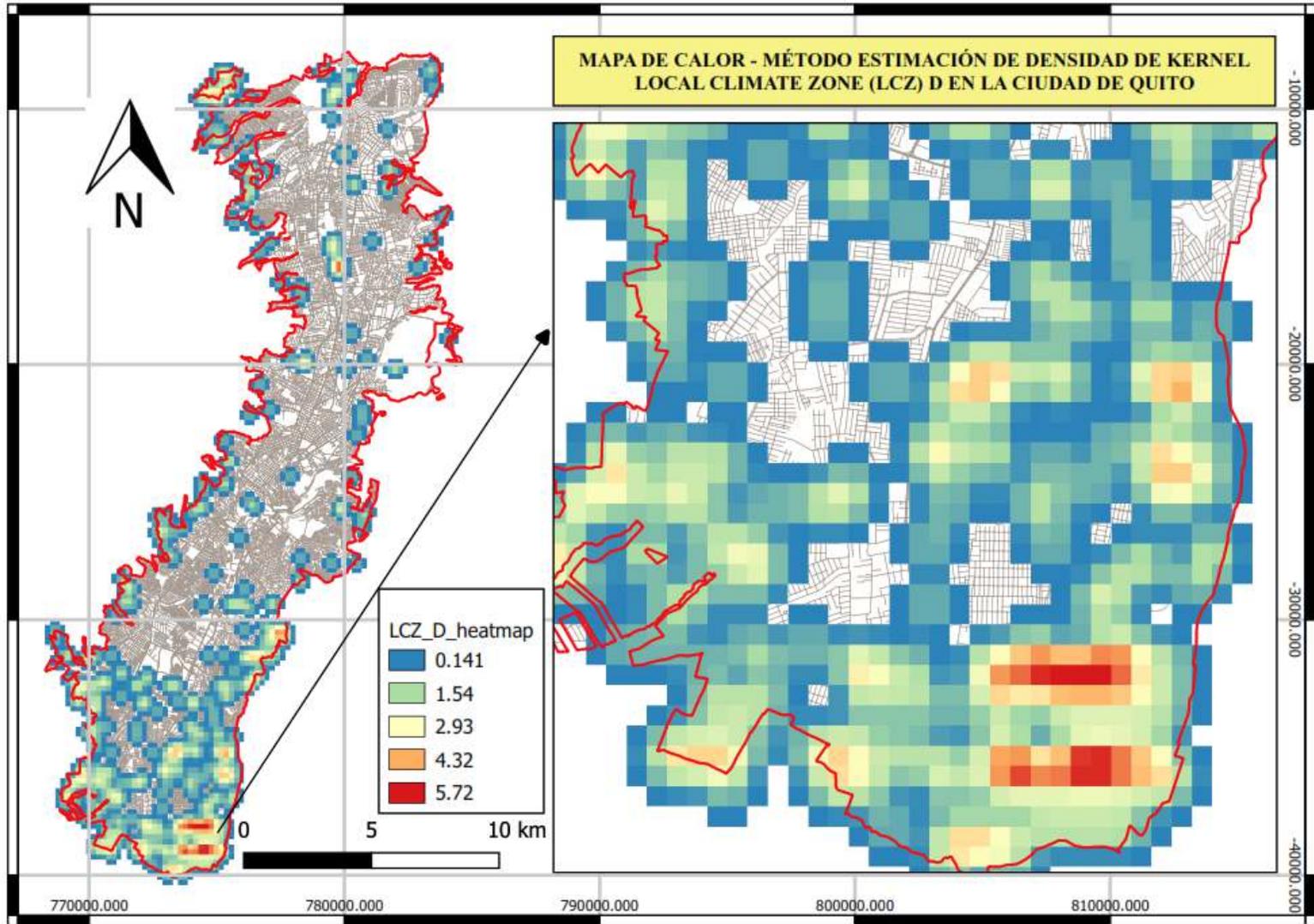
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 251: LZC D, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



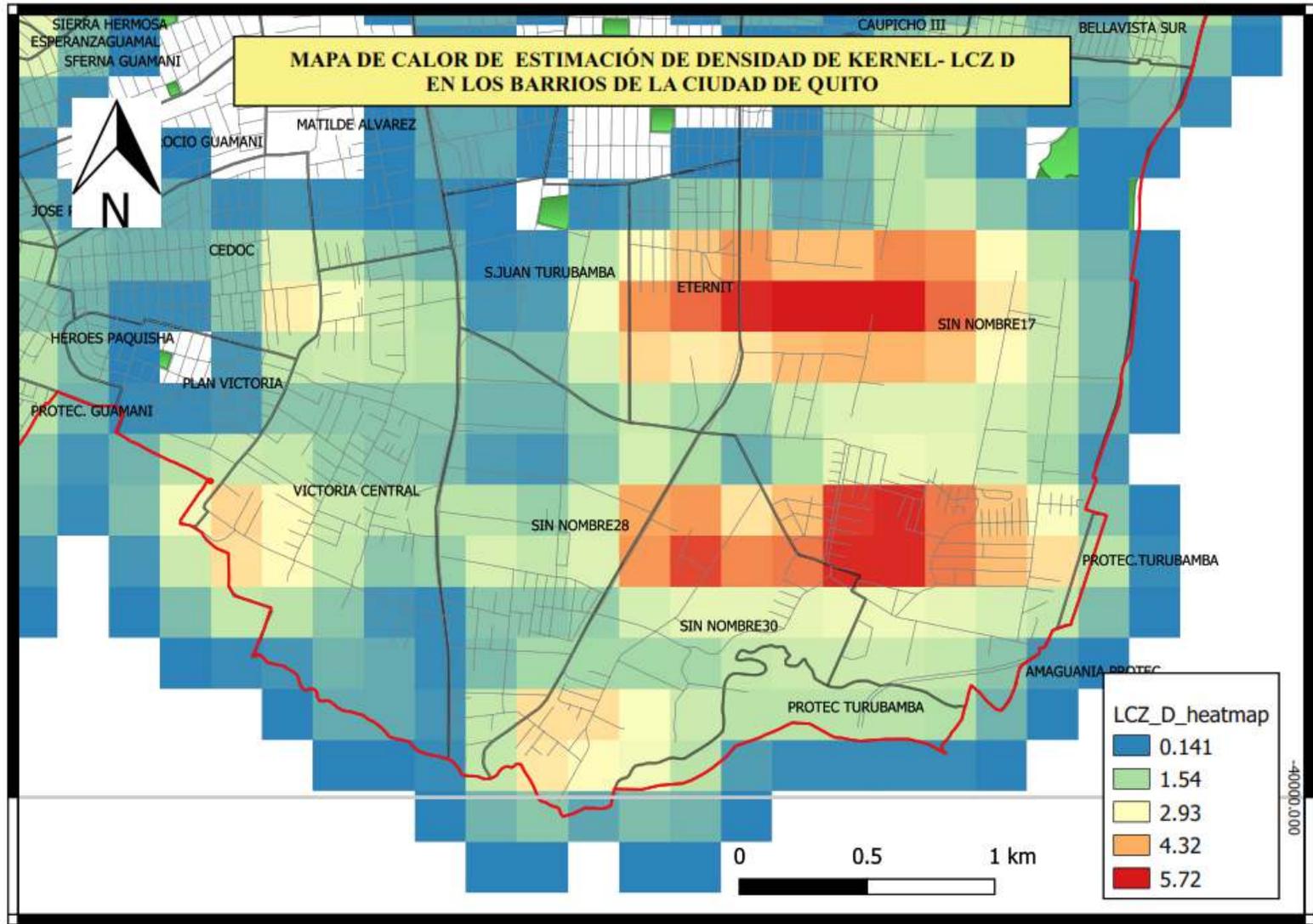
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 252: Mapa de Kernel - LCZ D en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 253: Mapa de Kernel - LCZ D en los Barrios de la Ciudad

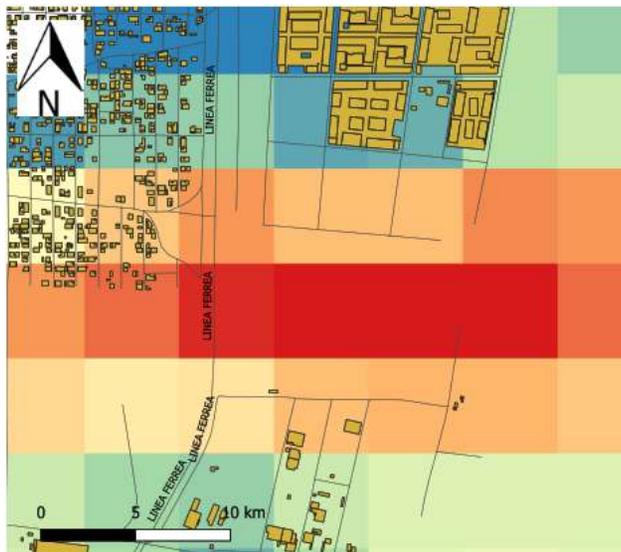


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -D

En el área más representativa de LCZ D (Ver figura 254) se realiza la extracción del área de materiales de cobertura de superficie (Ver tabla 65) y el porcentaje (Ver figura 255), siendo el 100% corresponde a la vegetación baja (césped), la presencia de suelo desnudo, pavimento, construcciones, agua y arborización de ciclo corto y permanente no existe en este prototipo.

Figura 254: LCZ-D más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

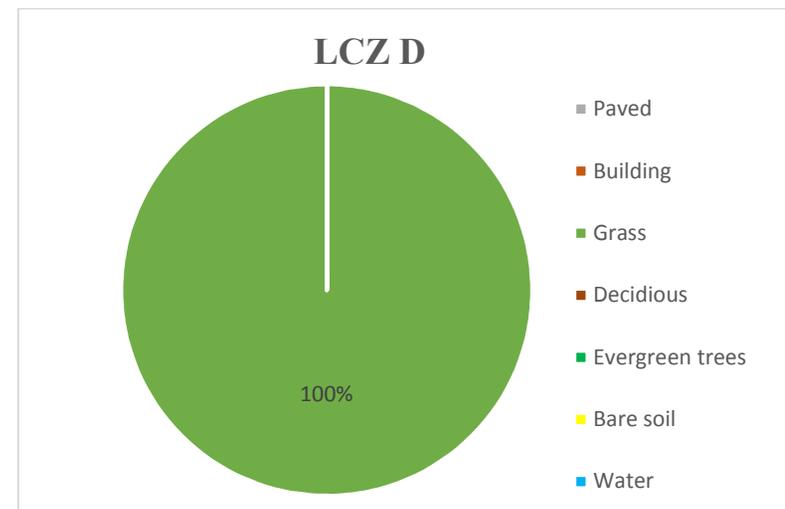
Tabla 65: Materiales que identifican a LCZ D

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	0,00
<i>Building (-)</i>	0,00
<i>Grass (-)</i>	40000,00
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	0,00
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 255: Materiales de cobertura de superficie LCZ D



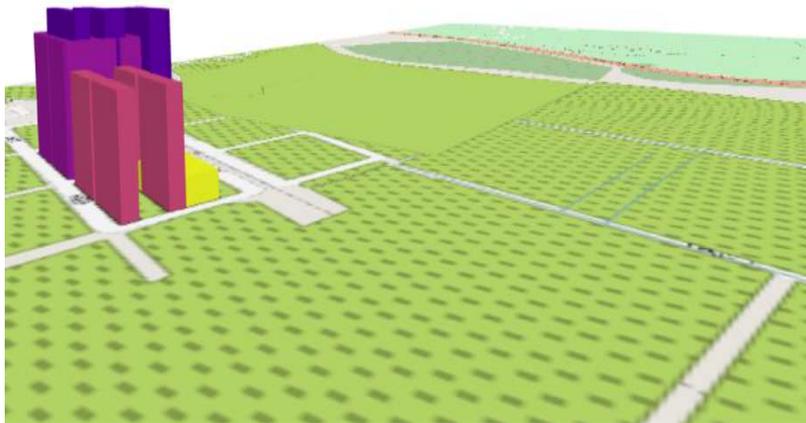
Fuente: Elaborado por la autora

Morfología urbana de LCZ D

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 256) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 66); en esta tipología predomina la vegetación baja de altura hasta 0,24 cm.

Esta tipología es muy escasa en la Ciudad de Quito y se encuentra al extremo sur de la ciudad en la periferia.

Figura 256: LCZ D en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 66: Análisis de edificaciones en LCZ-D

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	0,00
<i>Mean vegetation height</i>	0,20
<i>Frontal area index buildings</i>	0,00
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,00
<i>Building height standard dev.</i>	0,00
<i>Vegetation height standard dev.</i>	0,04
<i>Maximum building height</i>	0,00
<i>Maximum vegetation height</i>	0,24

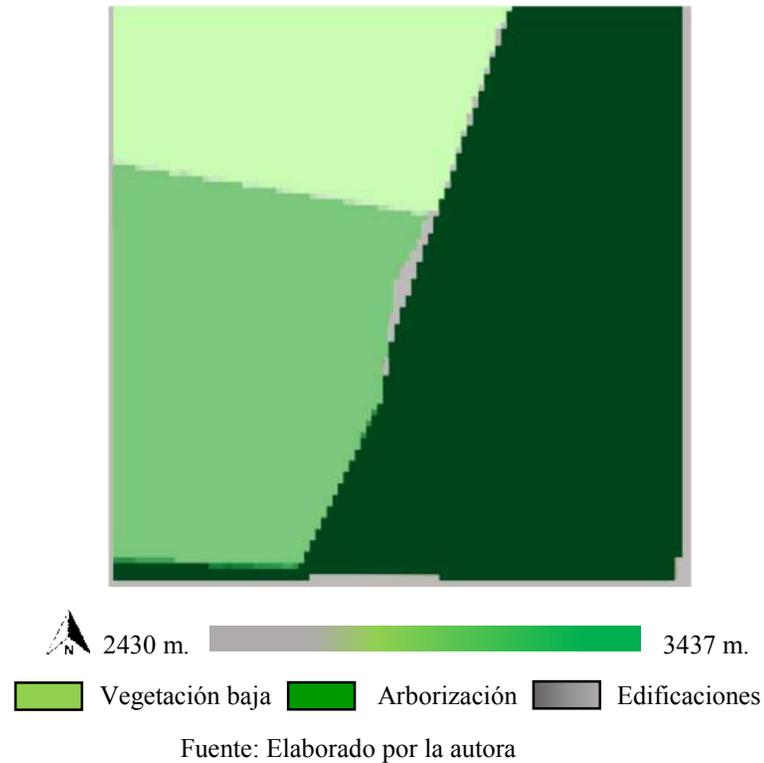
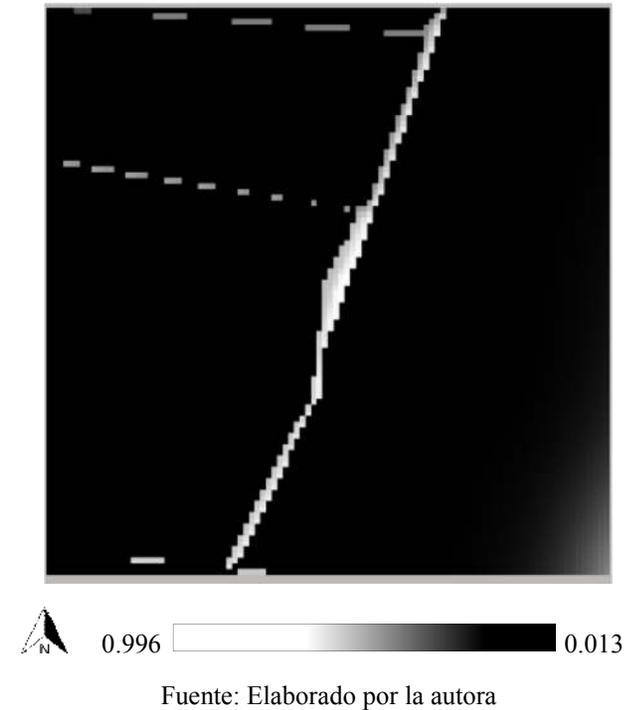
Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-D

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un ráster en donde cada pixel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 optimo y 1 caótico.

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-D (Ver figura 257), el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 257: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-D

Figura 258: *Sky View Factor* con UMEP de LCZ-D de Quito

La figura 258 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-D de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.013 a 0.996. Al comparar la figura 257 y 258 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-D un espacio cerrado, con poca visibilidad.

***Wall aspect* en LCZ-D**

Este parámetro no aplica en este prototipo porque no tiene edificaciones en la muestra.

Los resultados son procesados en una matriz (Ver tabla 67).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-D

Tabla 67: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-D

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-D	0,013	--	0	0	1	>0,10	3

Fuente: Elaborado por la autora

6.16. LCZ E – Suelo descubierto, rocas o pavimento
(Bare, rock or paved) en la Ciudad de Quito

La mayor presencia de este prototipo se encuentra en el norte de la ciudad en el antiguo aeropuerto de la Ciudad de Quito actualmente se llama Parque Bicentenario (Ver figura 259).

Figura 259: Paisaje urbano de LCZ E de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

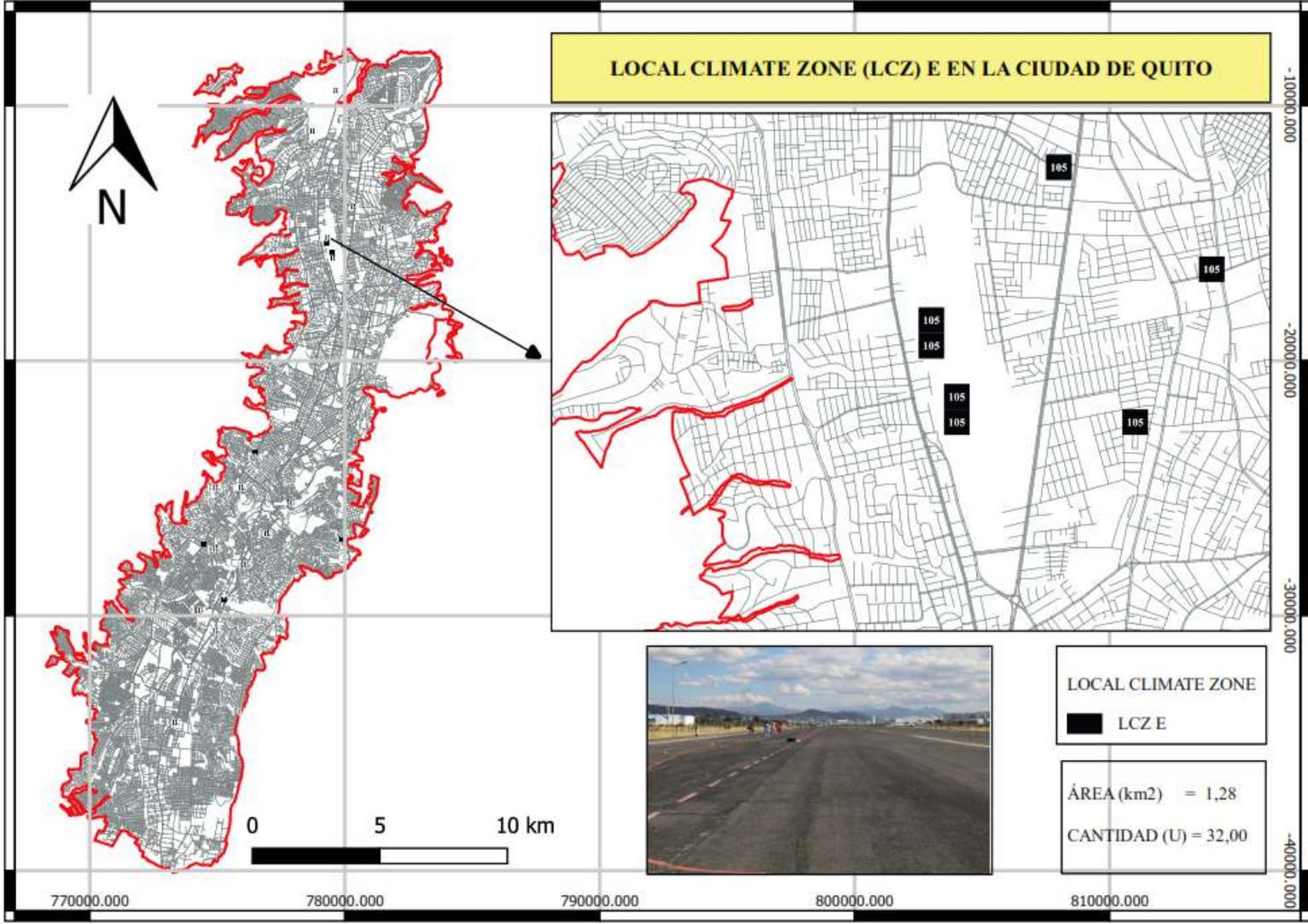
De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el antiguo aeropuerto de la Ciudad de Quito, la pista de aterrizaje marca una gran cobertura de superficie de asfalto, cerca tiene suelo descubierto.

El uso del suelo está destinado para la recreación, es un parque en donde la pista de aterrizaje es usada para realizar prácticas deportivas.

Las figuras 260, 261, 262 y 263 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

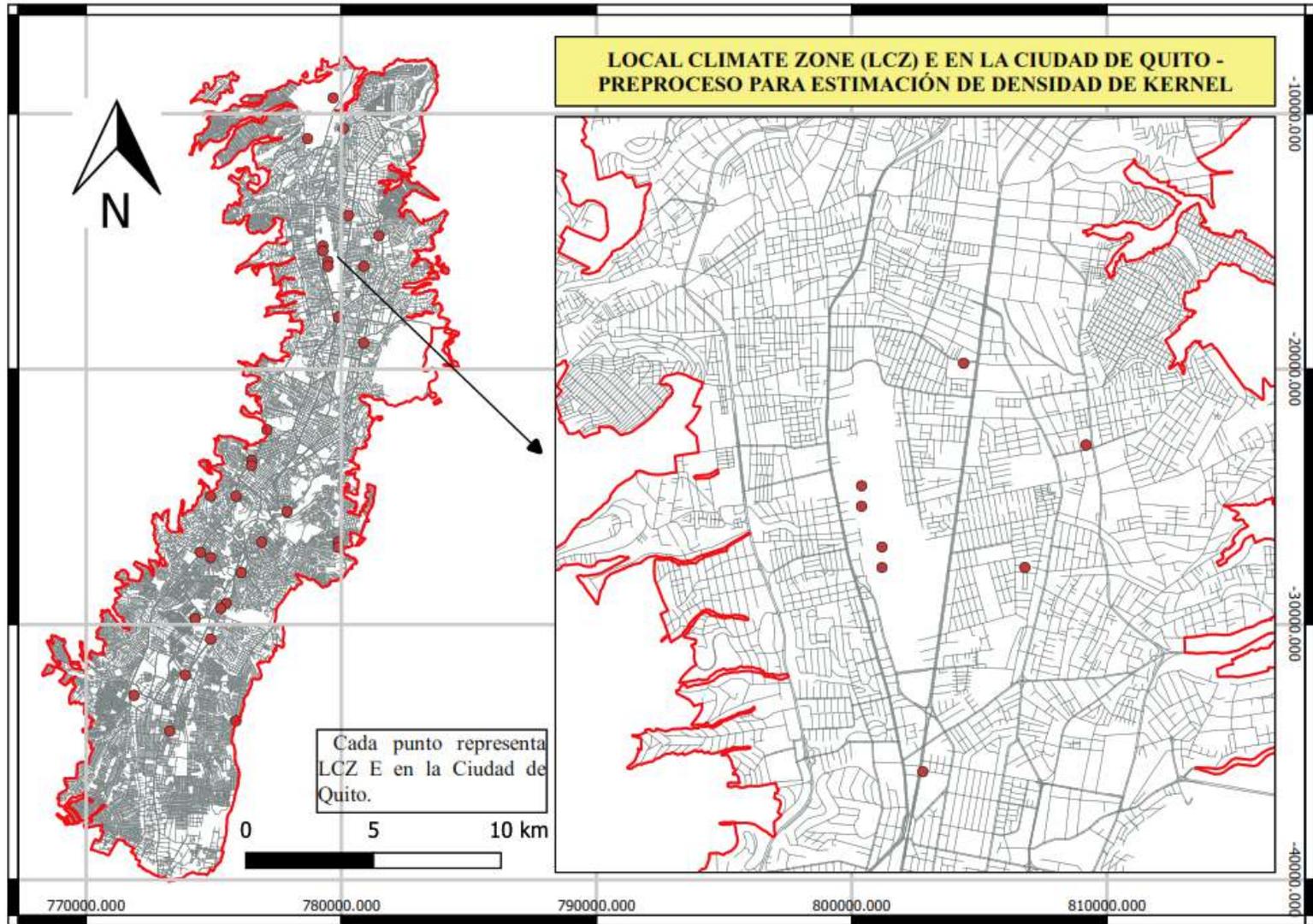
Este prototipo tiene 32 muestras y 1,28 km² en la ciudad, siendo el 0,63% de la superficie de estudio.

Figura 260: Local Climate Zone E en la Ciudad de Quito



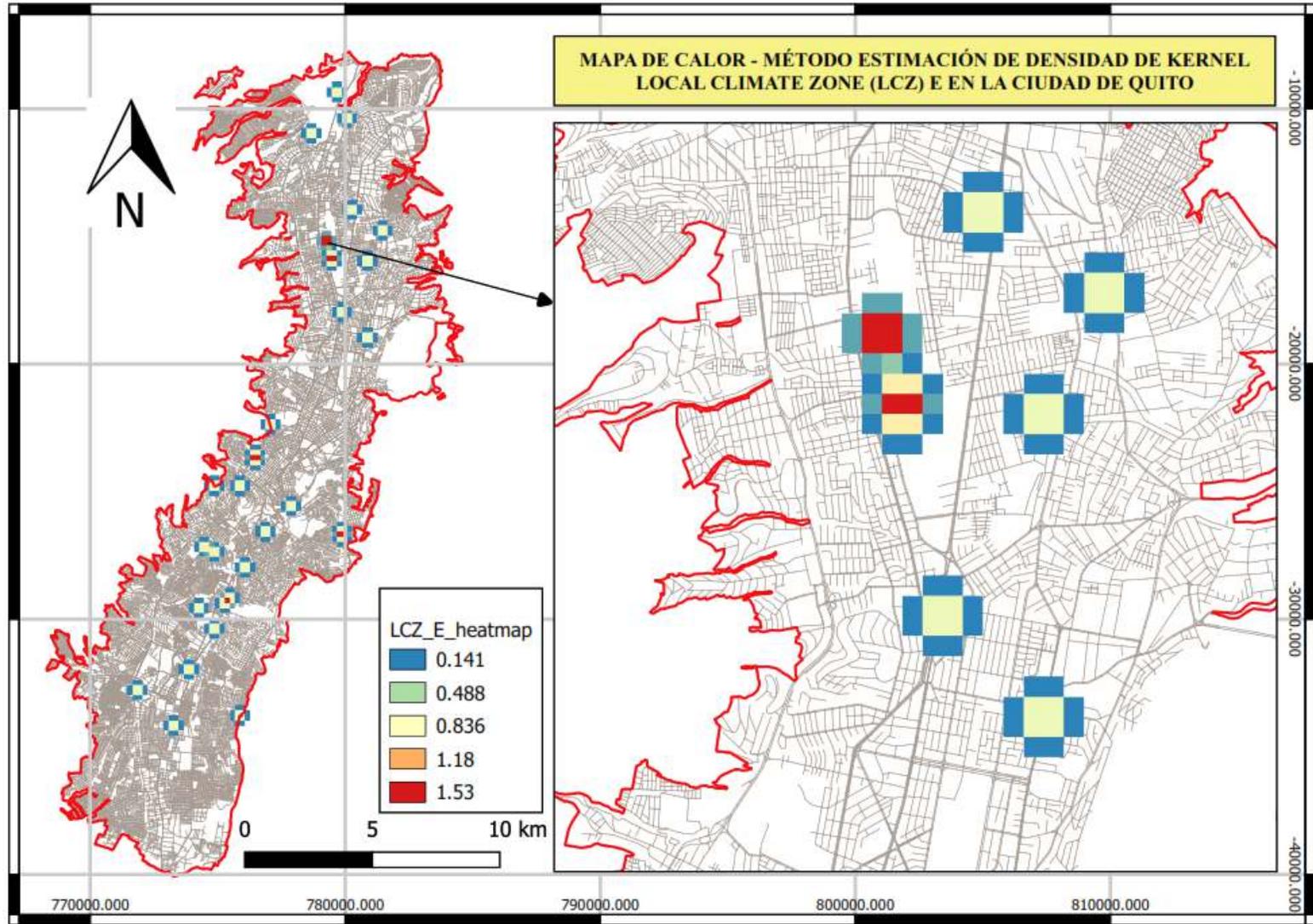
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 261: LCZ E, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



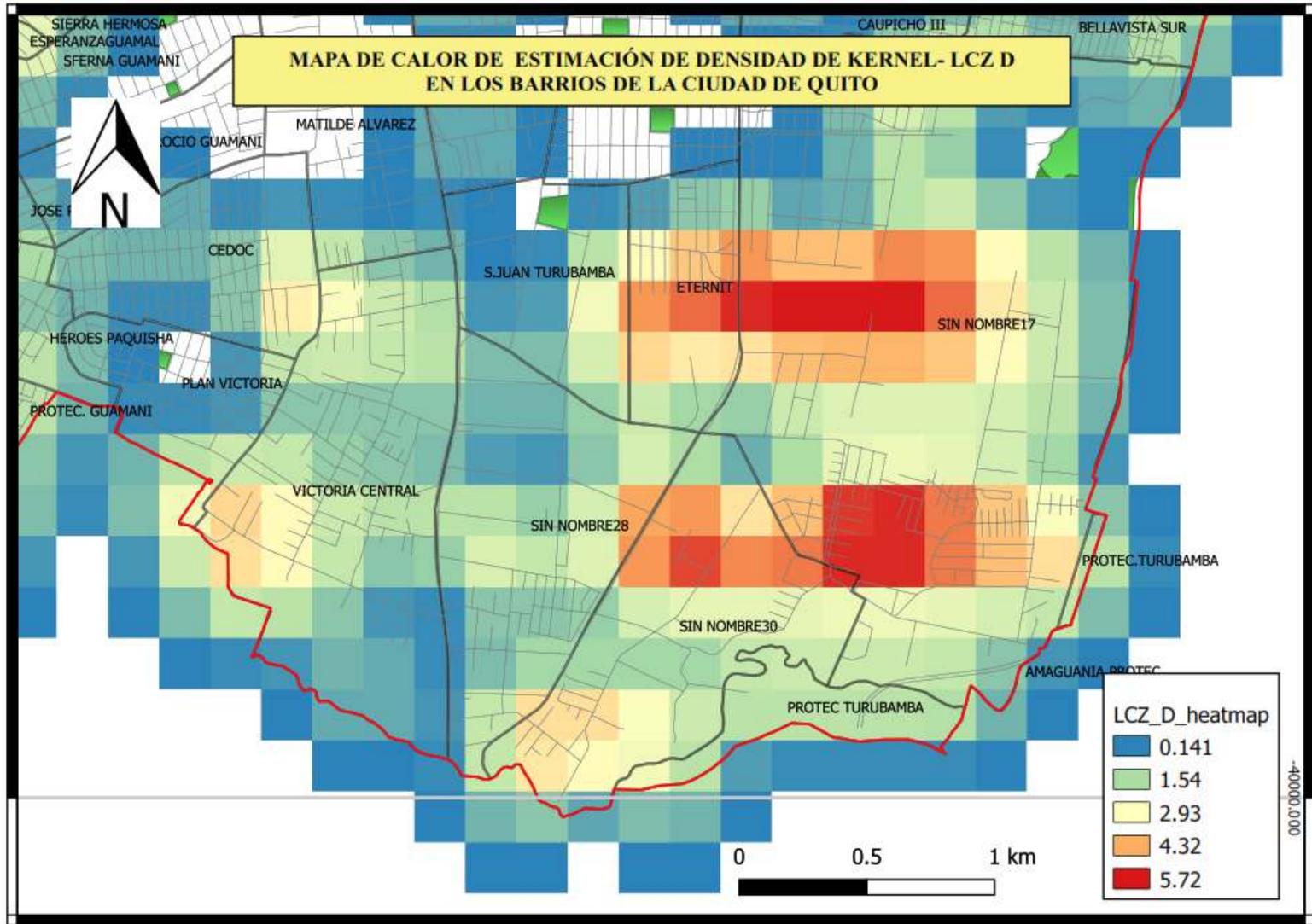
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 262: Mapa de Kernel - LCZ E en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 263: Mapa de Kernel - LCZ E en los Barrios de la Ciudad

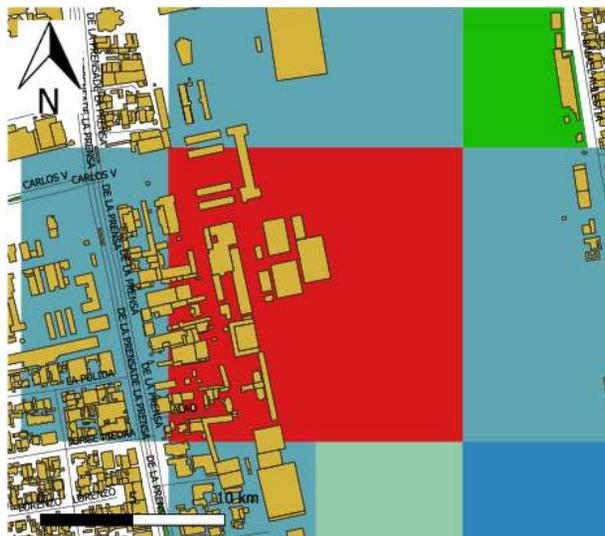


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -E

En el área más representativa se LCZ E (Ver figura 264) se obtiene el área de superficie de los materiales de cobertura de superficie (Ver tabla 68) y el porcentaje (Ver figura 265) siendo el 83% en recubrimiento de pavimento, 17% en la cobertura de construcción de las edificaciones, la presencia de suelo desnudo, vegetación baja (césped), agua y arborización de ciclo corto y permanente, no existe en este prototipo.

Figura 264: LCZ-E más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

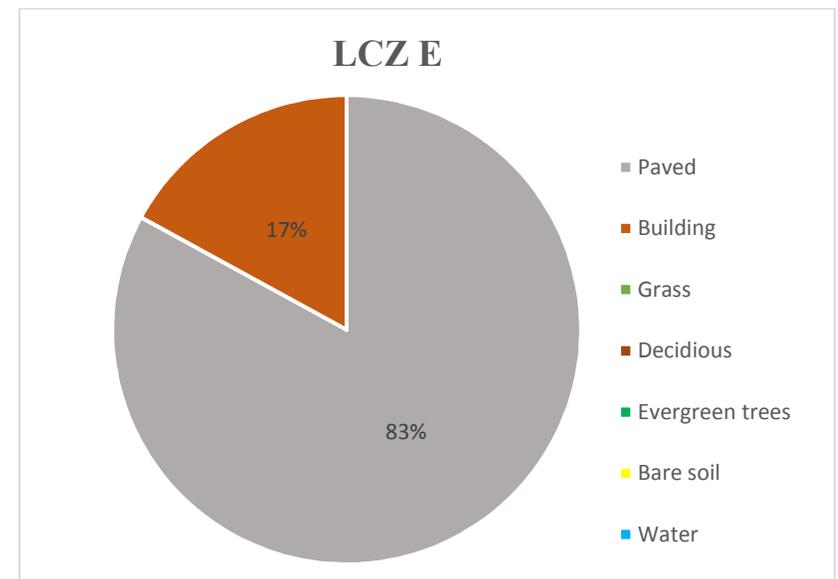
Tabla 68: Materiales que identifican a LCZ E

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	33182,00
<i>Building (-)</i>	6818,00
<i>Grass (-)</i>	0,00
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	0,00
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 265: Materiales de cobertura de superficie LCZ E



Fuente: Elaborado por la autora

Geometría urbana de LCZ E

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 266) con el software QGIS. El material predominante es el pavimento (asfalto) y a su alrededor existen construcciones que son usadas para bodegas.

Figura 266: LCZ E en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 69: Análisis de edificaciones en LCZ-E

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	0,00
<i>Mean vegetation height</i>	0,00
<i>Frontal area index buildings</i>	0,20
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,00
<i>Building height standard dev.</i>	0,00
<i>Vegetation height standard dev.</i>	0,00
<i>Maximum building height</i>	0,00
<i>Maximum vegetation height</i>	0,00

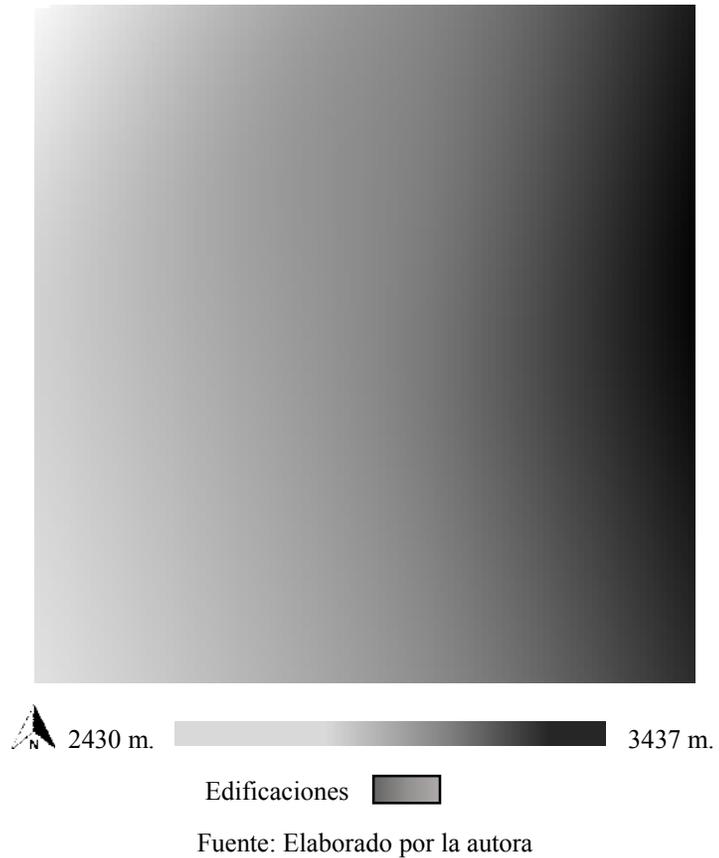
Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-E

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un ráster en donde cada píxel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico.

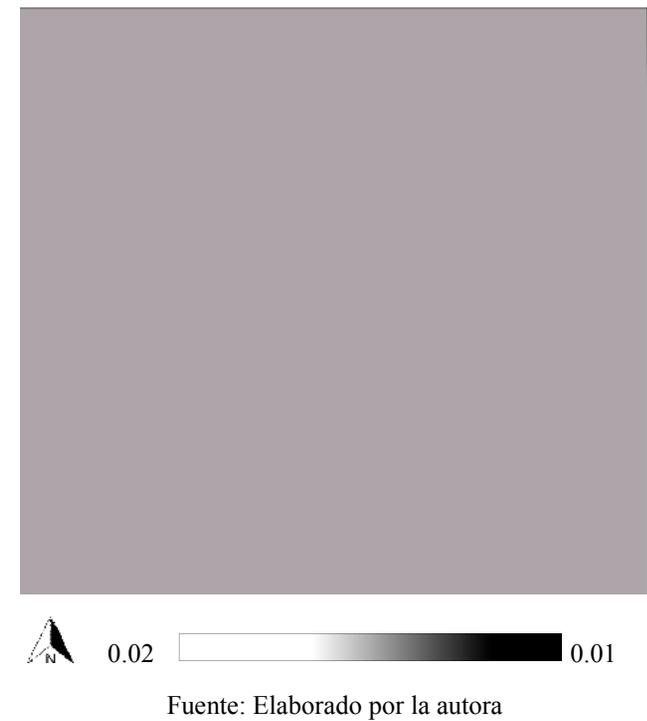
Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-D (Ver figura 267), el suelo está representado con una gama de colores grises y la vegetación en color verde.

Figura 267: DSM de pavimento en LCZ-E



La figura 268 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-D de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.01 a 0.02.

Al comparar la figura 267 y 268 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-D un espacio cerrado, con poca visibilidad.

Figura 268: *Sky View Factor* con UMEP de LCZ-E de Quito

Wall aspect en LCZ-E

Este parámetro no aplica en este prototipo porque no tiene edificaciones en la muestra.

Los resultados son procesados en una matriz (Ver tabla 70).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-E

Tabla 70: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-E

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-E	0.01 - 0.02	-----	0	83	17	0,20	2

Fuente: Elaborado por la autora

6.17. LCZ F – Suelo descubierto o arena (*Bare soil or sand*) en la Ciudad de Quito

La mayor presencia de este prototipo se encuentra en el norte de la ciudad en el antiguo aeropuerto de la Ciudad de Quito y en el barrio Rancho alto (Ver figura 269).

Figura 269: Paisaje urbano de LCZ F de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

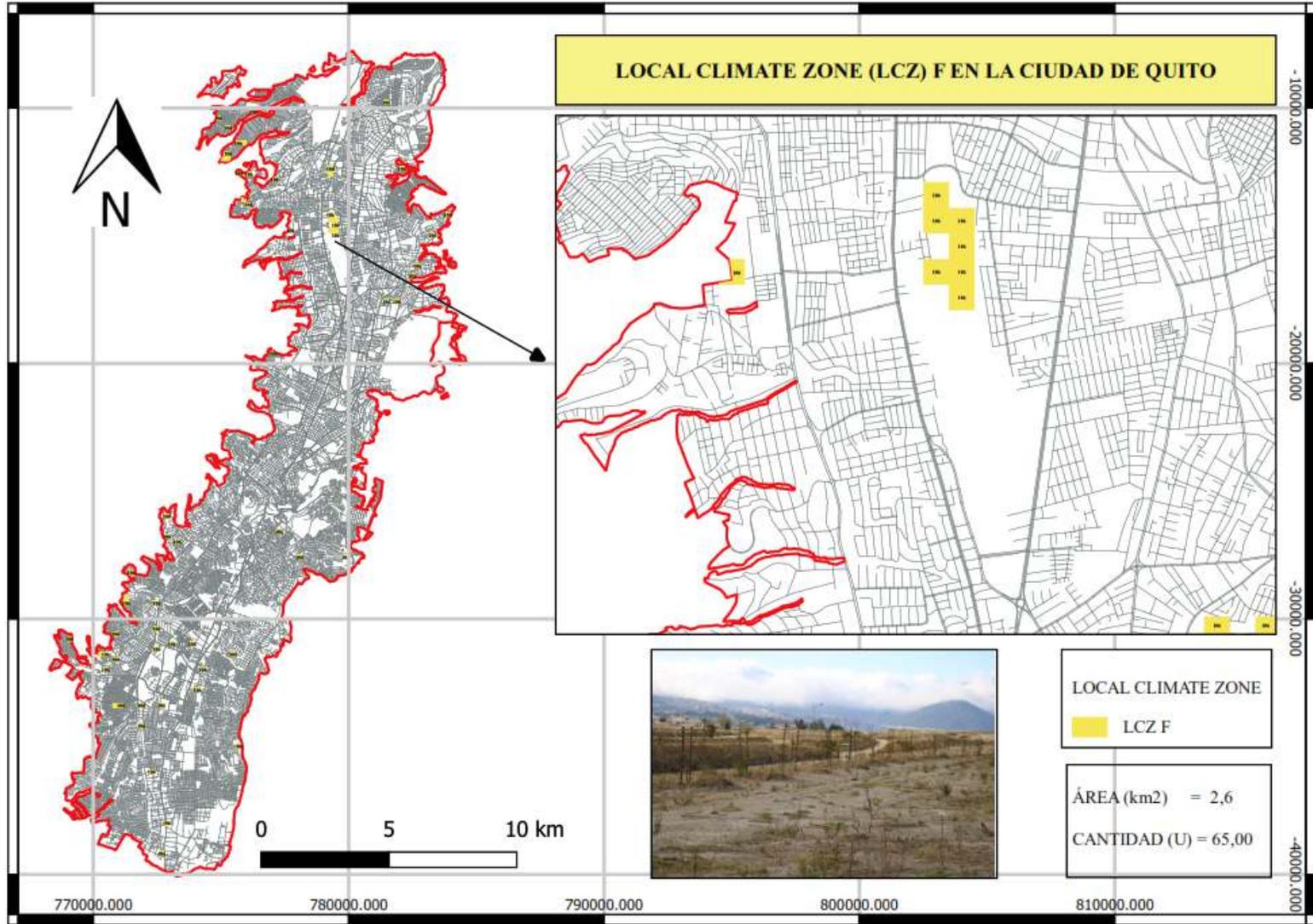
De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el antiguo aeropuerto de la Ciudad de Quito, cerca a la pista de aterrizaje, existe suelo desnudo y espacios con vegetación baja (cesped) de ciclo corto.

El uso del suelo está destinado para la recreación, LCZ F se encuentra la zona de amortiguamiento de la antigua pista de aterrizaje del aeropuerto, es poco concurrida porque es suelo descubierto y no tiene facilidades de acceso.

Las figuras 270, 271, 272 y 273 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

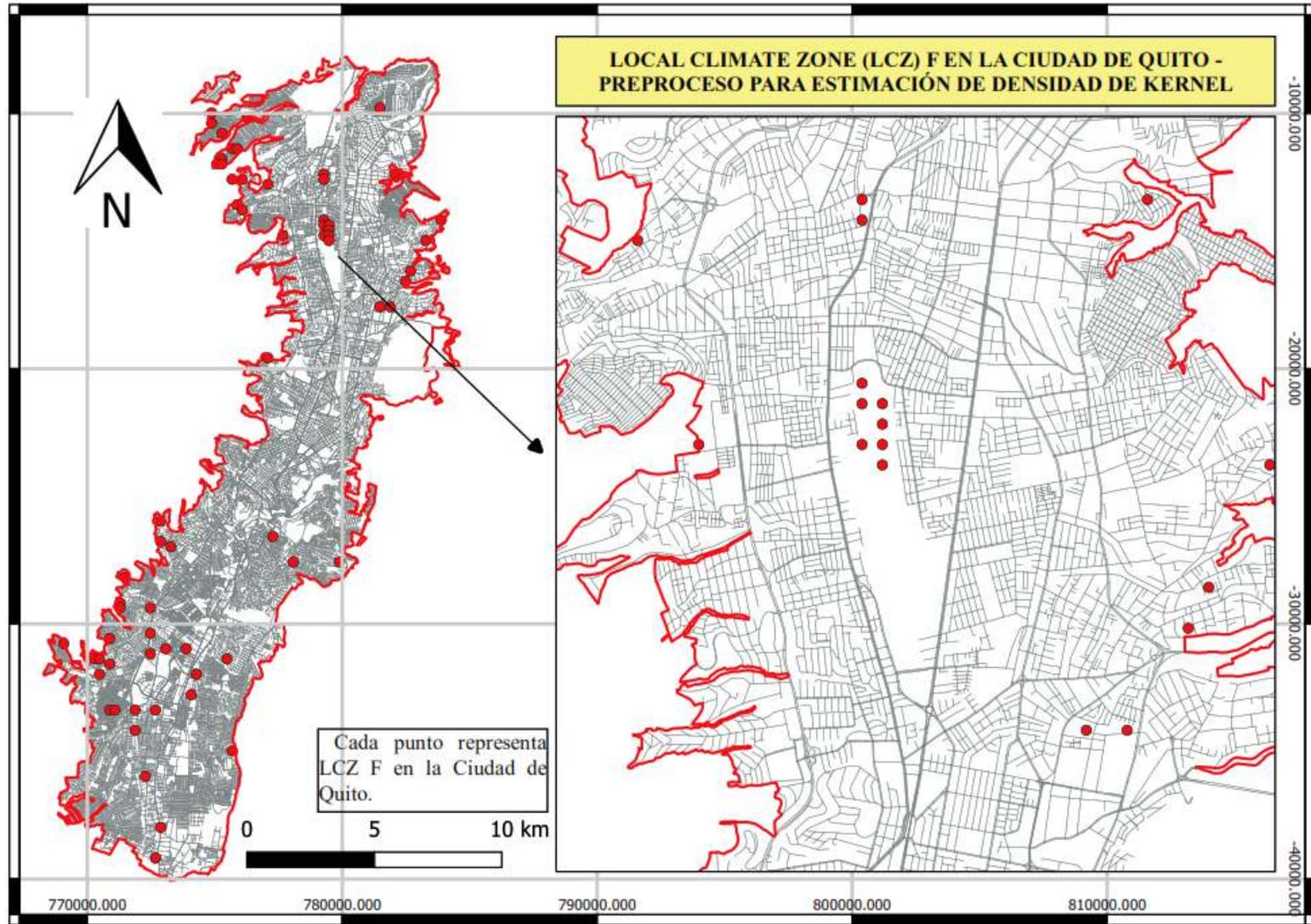
Este prototipo tiene 65 muestras y 2,6 km² en la ciudad, siendo el 1,28% de la superficie de estudio.

Figura 270: Local Climate Zone F en la Ciudad de Quito



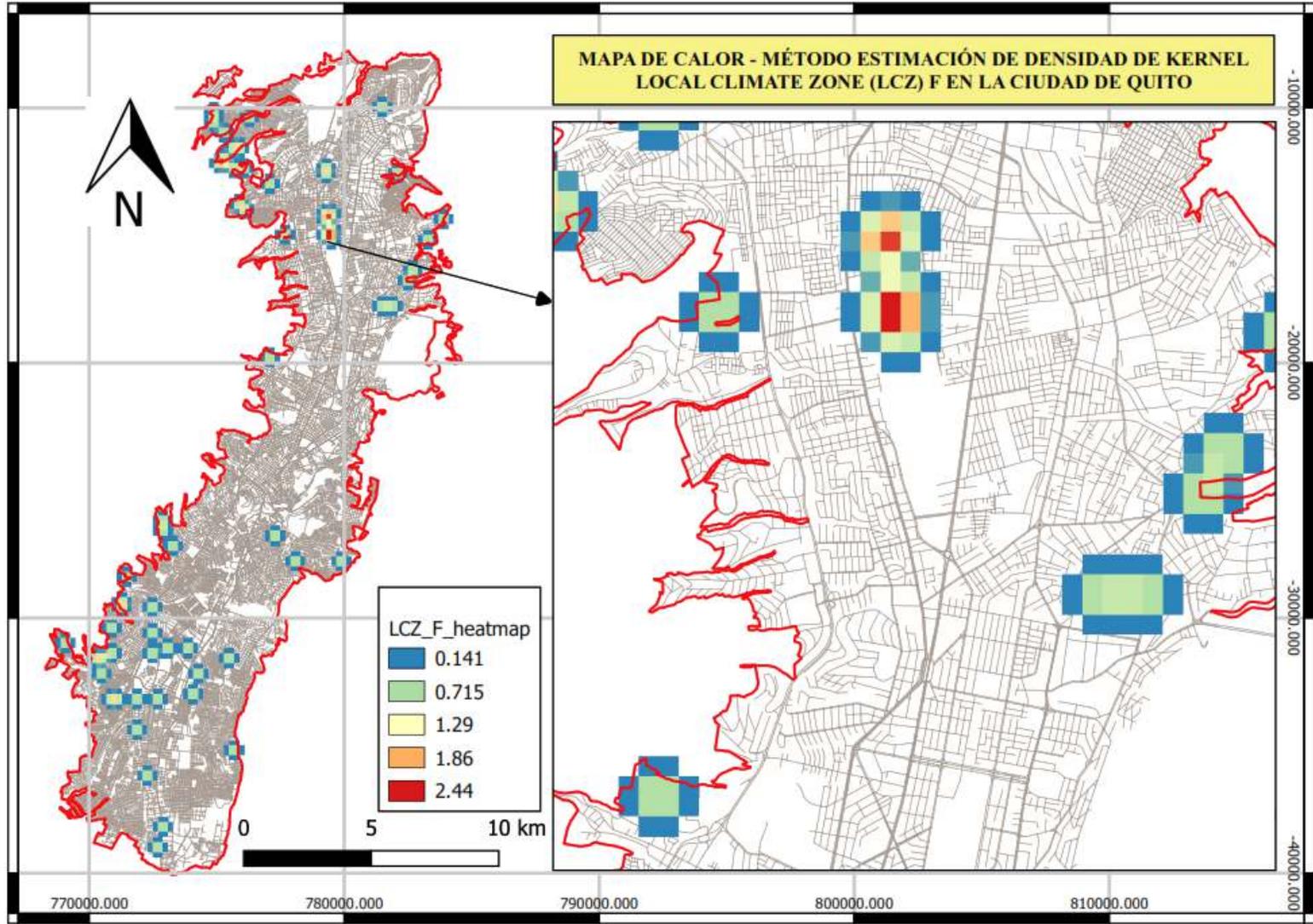
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 271: LCZ F, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



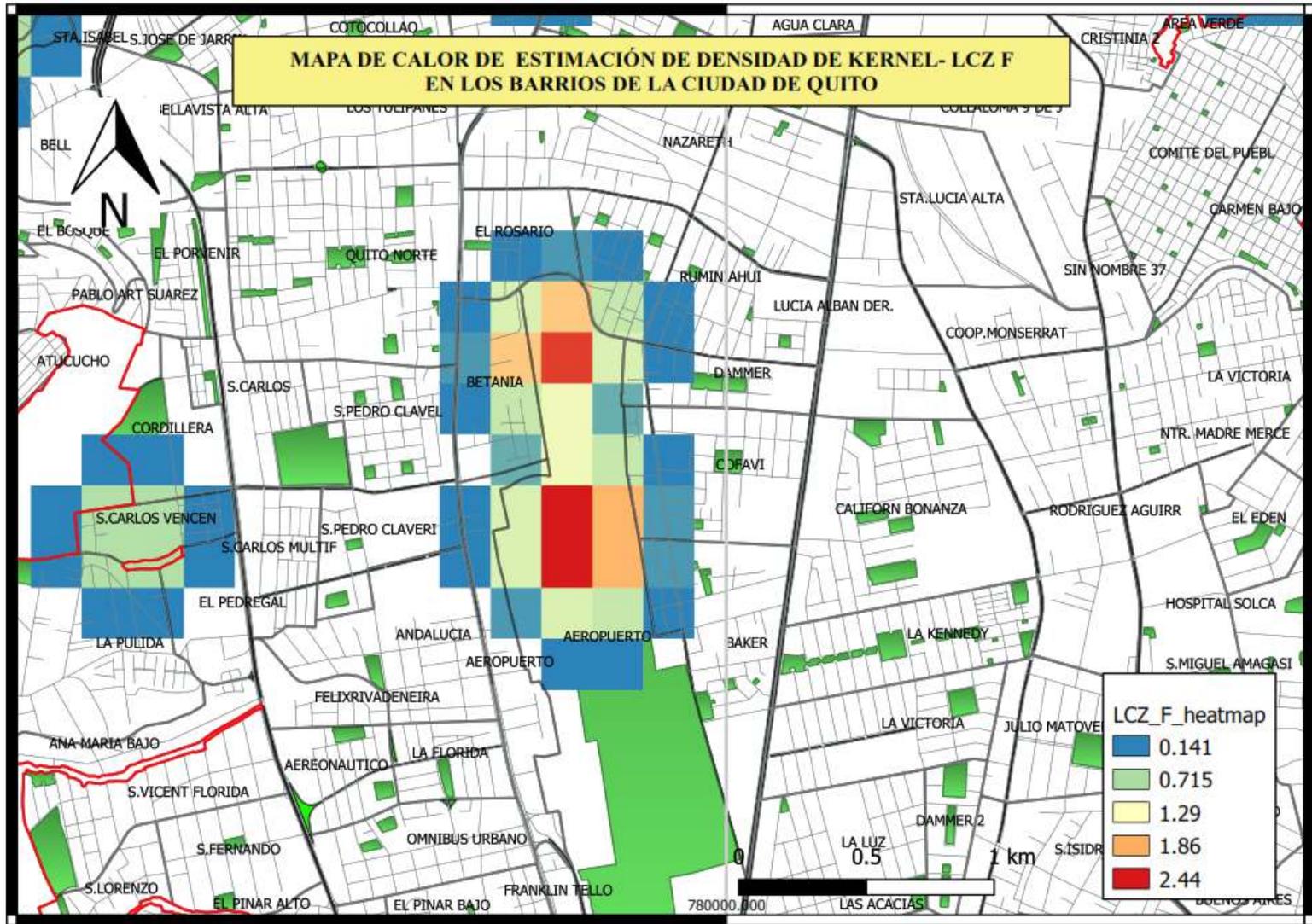
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 272: Mapa de Kernel - LCZ F en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 273: Mapa de Kernel - LCZ F en los Barrios de la Ciudad

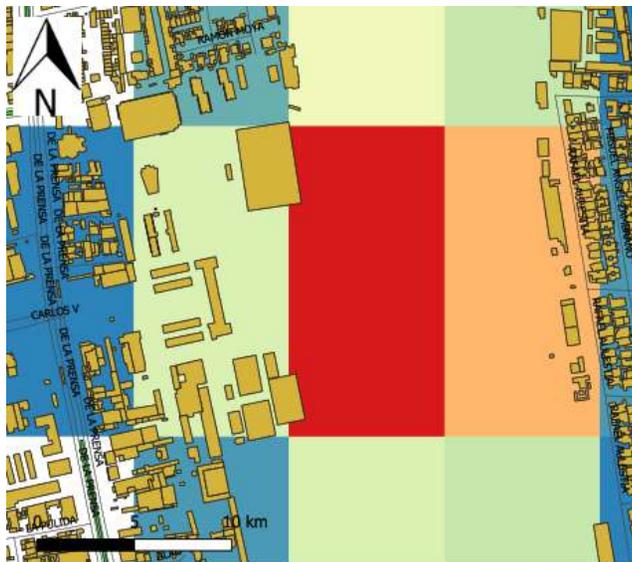


Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura de superficie LCZ -F

En el área más representativa de LCZ F (Ver figura 274) se realiza la cuantificación de los materiales de cobertura de la superficie (Tabla 71) y el porcentaje (Ver figura 275), siendo el 82% corresponde a suelo desnudo, 18% al recubrimiento de pavimento, vegetación baja (césped), agua, cobertura de construcción de las edificaciones y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo.

Figura 274: LCZ-F más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

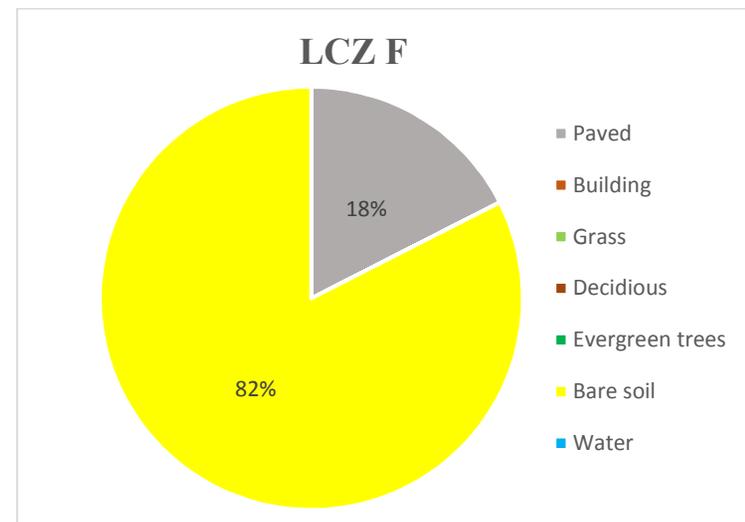
Tabla 71: Materiales que identifican a LCZ F

Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	7005,00
<i>Building (-)</i>	0,00
<i>Grass (-)</i>	0,00
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	0,00
<i>Bare soil (-)</i>	32995,00
<i>Water (-)</i>	0,00

Fuente: Elaborado por la autora

Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 275: Materiales de cobertura de superficie LCZ F

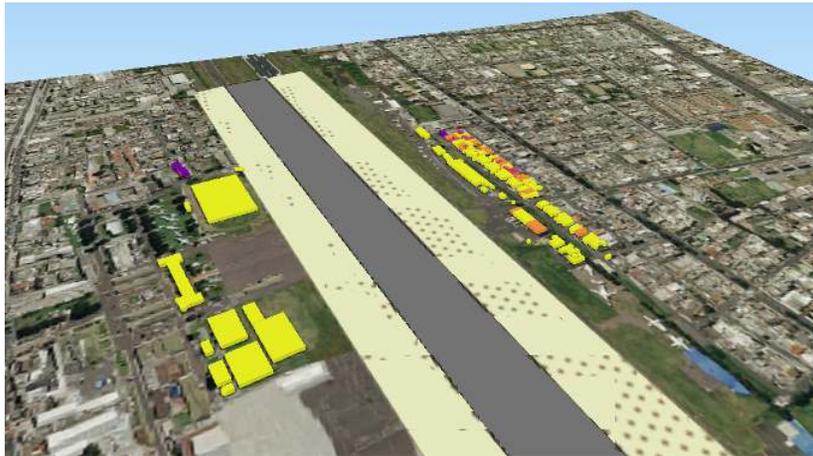


Fuente: Elaborado por la autora

Morfología urbana de LCZ F

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 276) con el software QGIS. Se puede observar que en la LCZ-F en la Ciudad de Quito predomina el suelo descubierto y el pavimento existente corresponde a la pista de aterrizaje del antiguo aeropuerto.

Figura 276: LCZ F en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Resultados obtenidos:

Tabla 72: Análisis de edificaciones en LCZ-F

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	0,00
<i>Mean vegetation height</i>	0,00
<i>Frontal area index buildings</i>	0,00
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,00
<i>Building height standard dev.</i>	0,00
<i>Vegetation height standard dev.</i>	0,00
<i>Maximum building height</i>	0,00
<i>Maximum vegetation height</i>	0,00

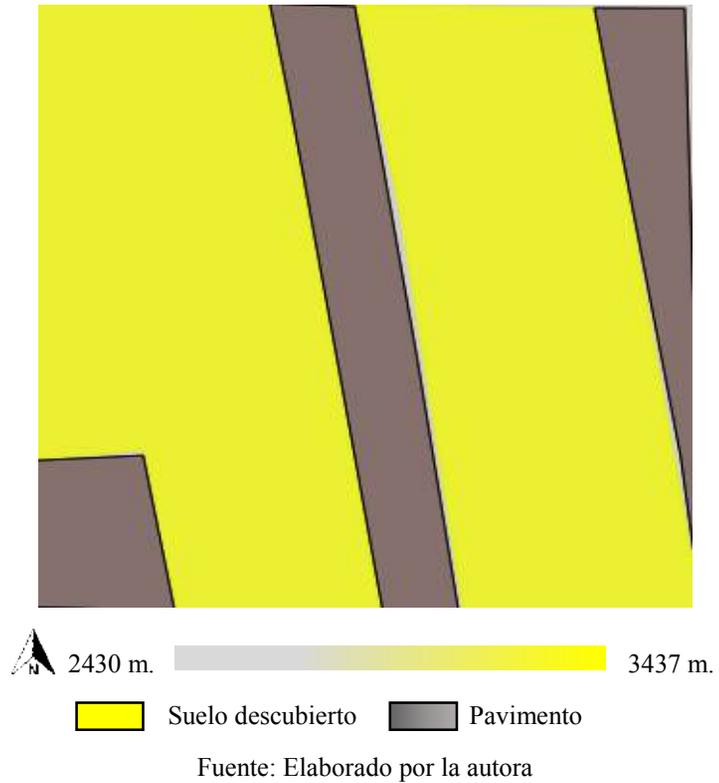
Fuente: Elaborado por la autora

Sky View Factor (SFV) en LCZ-F

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un ráster en donde cada píxel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico.

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo y vegetación de LCZ-F (Ver figura 277), el suelo está representado con una gama de colores grises y el suelo descubierto se representa en color amarillo.

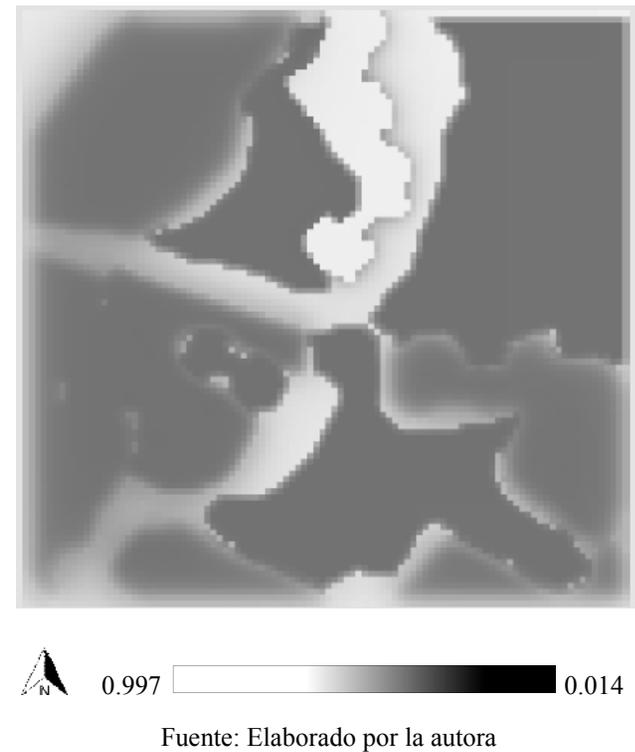
Figura 277: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-F



La figura 278 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-F de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.01 a 0.99.

Al comparar la figura 277 y 278 se observa como los elementos urbanos hacen de LCZ-F un espacio cerrado, con poca visibilidad.

Figura 278: *Sky View Factor* con UMEP de LCZ-F de Quito



Wall aspect en LCZ-F

Este parámetro no aplica en este prototipo porque no tiene edificaciones en la muestra de mayor representación.

Los resultados son procesados en una matriz (Ver tabla 73).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-F

Tabla 73: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-F

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-F	0.001 -0.99	----	0	18	82	>0	2

Fuente: Elaborada por la autora

6.18. LCZ G – Agua (water) en la Ciudad de Quito

Este prototipo es muy escaso, existe una muestra en la ciudad, se encuentra ubicado este prototipo en el sur de la ciudad, en el barrio Puengasí (Ver figura 279).

Figura 279: Paisaje urbano de LCZ G de la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

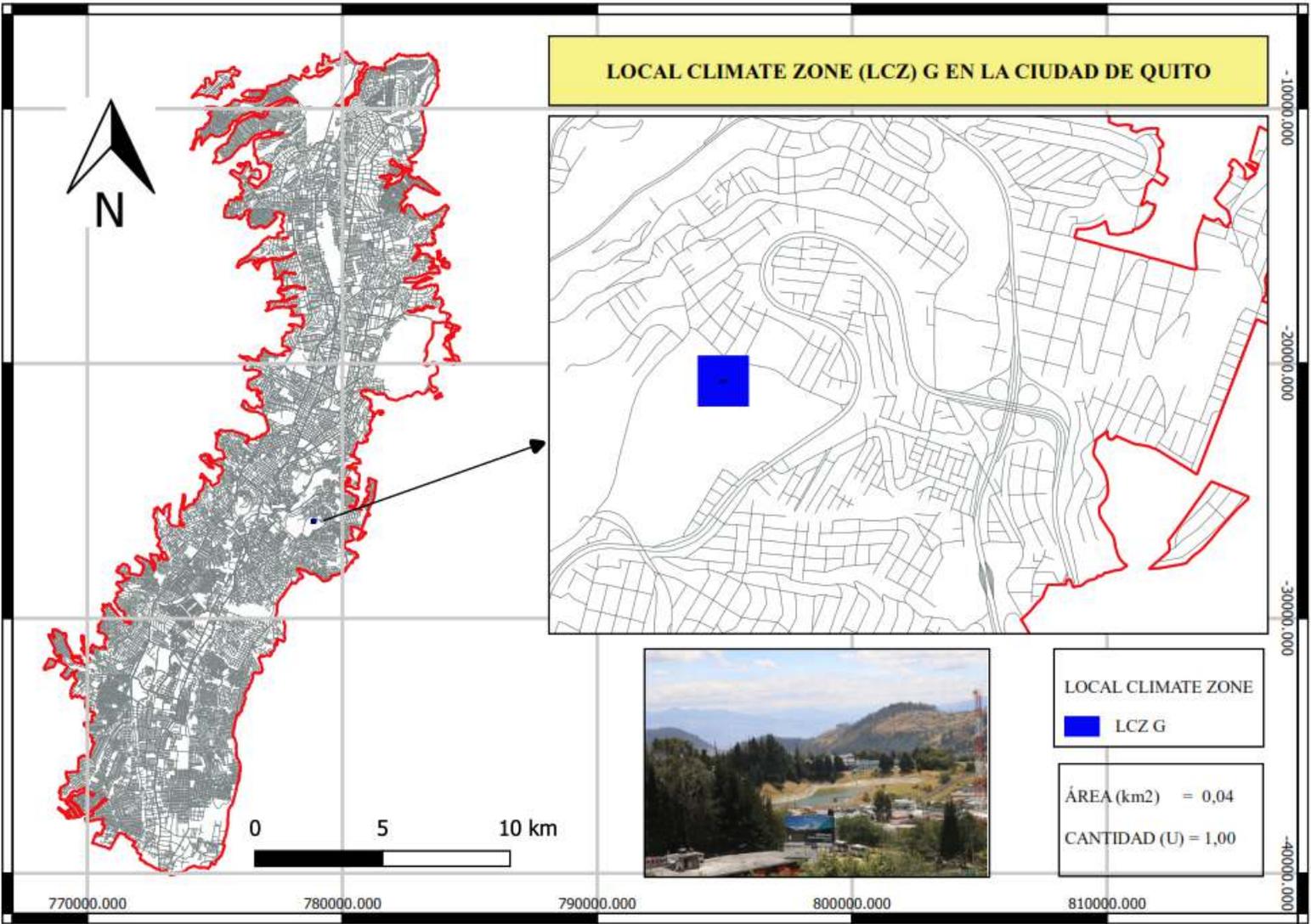
La presencia de agua corresponde a al Reservorio de agua Puengasí, el cual se encuentra rodeado de arborización con altura de 15 metros y vegetación baja (césped).

De acuerdo al método de Kernel el área a ser analizada se encuentra en el Barrio Puengasí, al norte la calle Javier Loyola, al sur Av. Simón Bolívar, al este calle Juan José Guerrero y al oeste calle Javiver Loyola.

Las figuras 280, 281, 282 y 283 indican el proceso para la aplicación del método de estimación de densidad de Kernel.

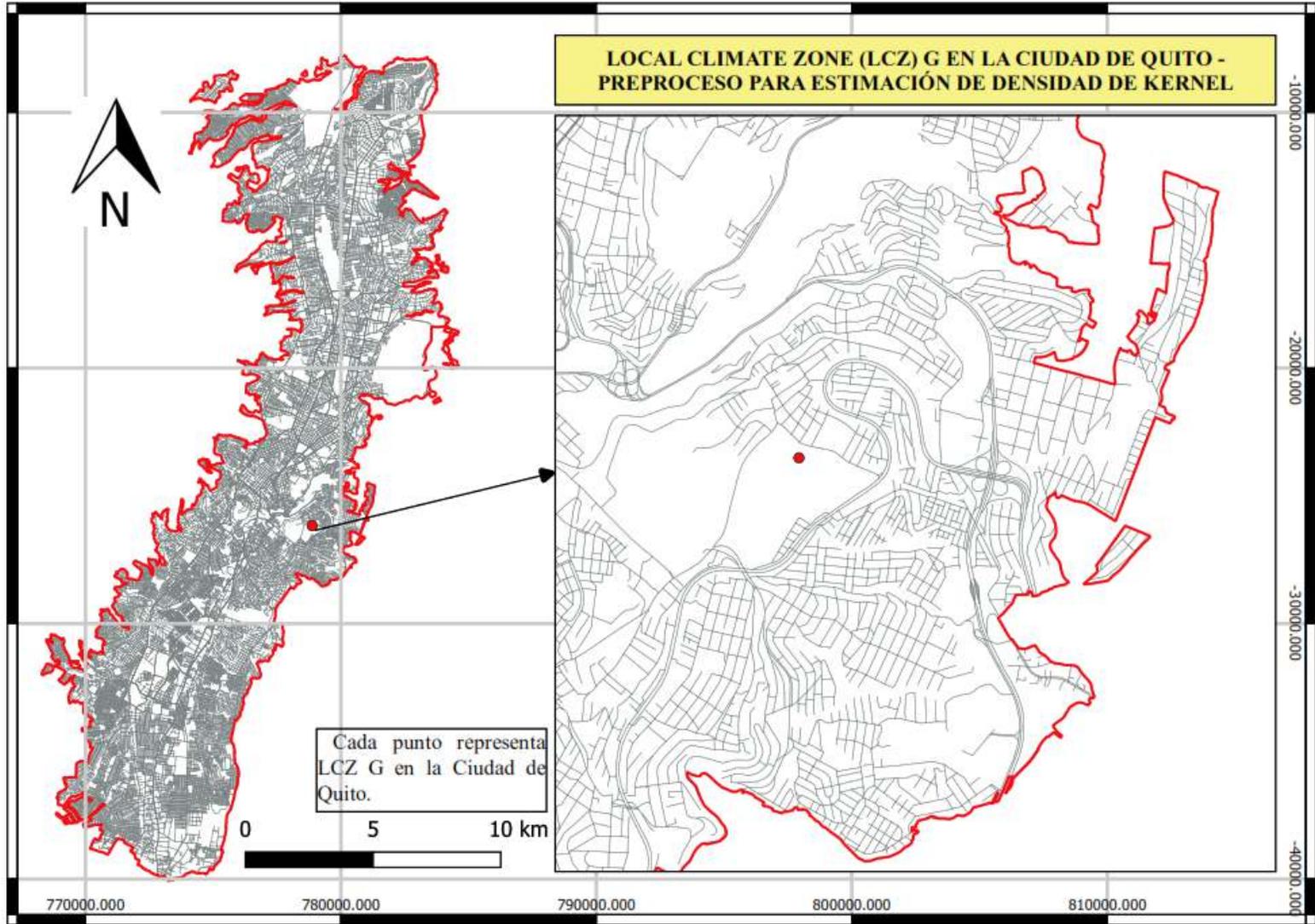
Este prototipo tiene 1 muestra y $0,04 \text{ km}^2$ en la ciudad, siendo el 1,28% de la superficie de estudio.

Figura 280: Local Climate Zone G en la Ciudad de Quito



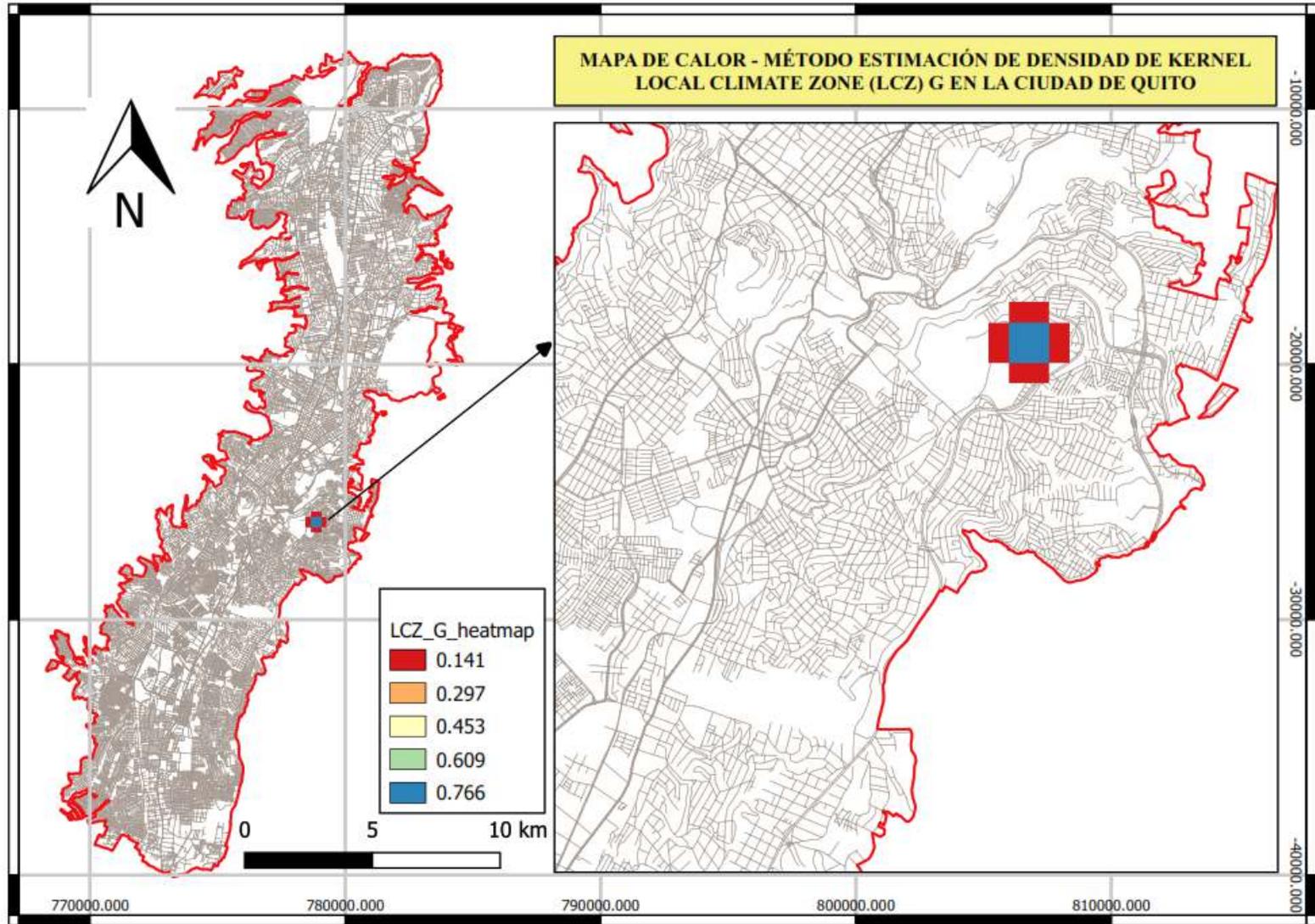
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 281: LCZ G, Ciudad de Quito, preproceso mapa de Kernel



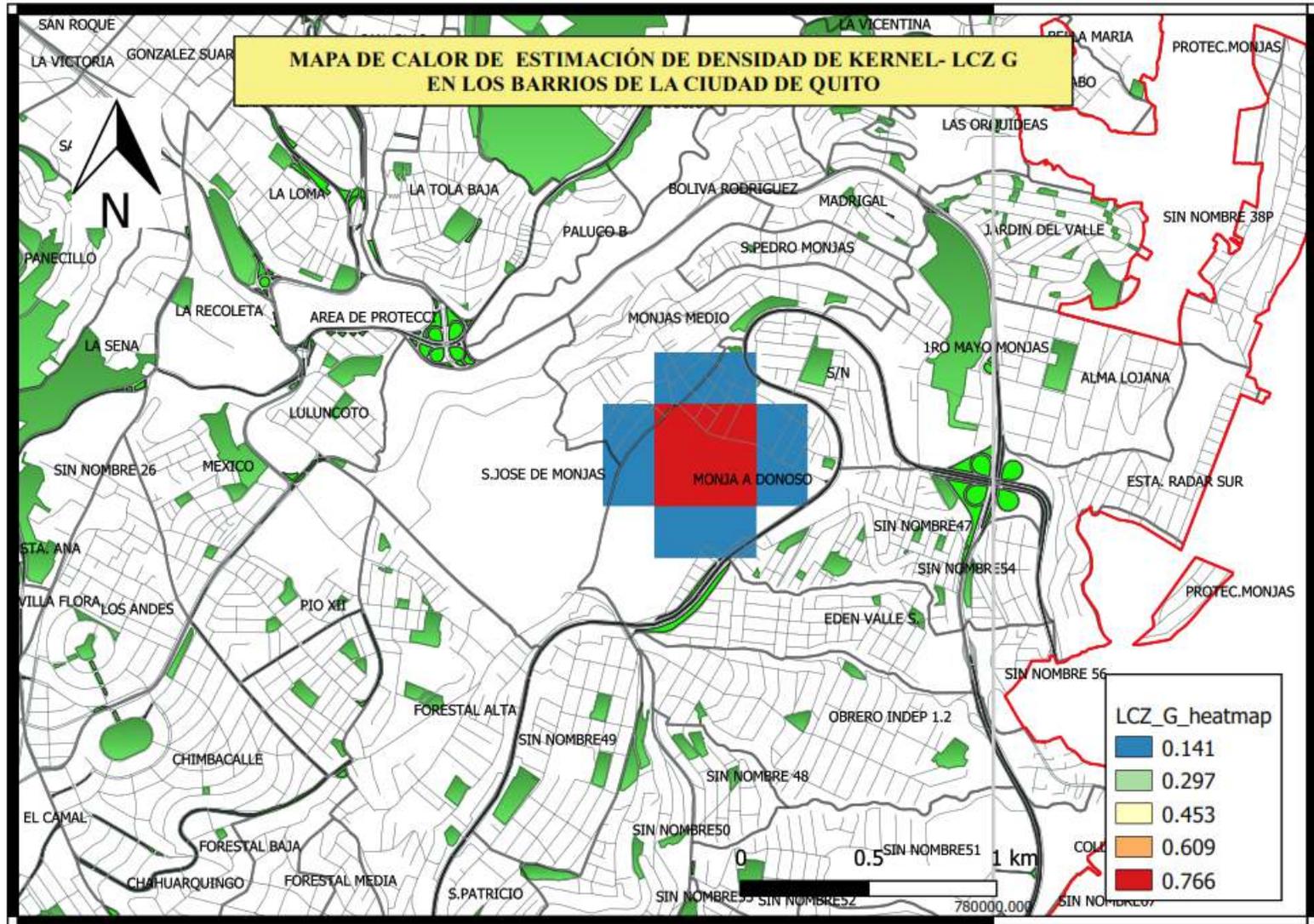
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 282: Mapa de Kernel - LCZ G en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 283: Mapa de Kernel - LCZ G en los Barrios de la Ciudad



Fuente: Elaborado por la autora

Materiales de cobertura en LCZ-G

En el área más representativa de LCZ G (Ver figura 284) se realiza la cuantificación de los materiales de cobertura de superficie (Ver tabla 74) y el porcentaje (Ver figura 285) siendo el 41% en agua, 30% a la arborización, 24% vegetación baja (césped), 5% pavimento, la presencia de suelo desnudo, cobertura de construcción de las edificaciones, agua y arborización de ciclo corto no existe en este prototipo.

Tabla 74: Materiales que identifican a LCZ G

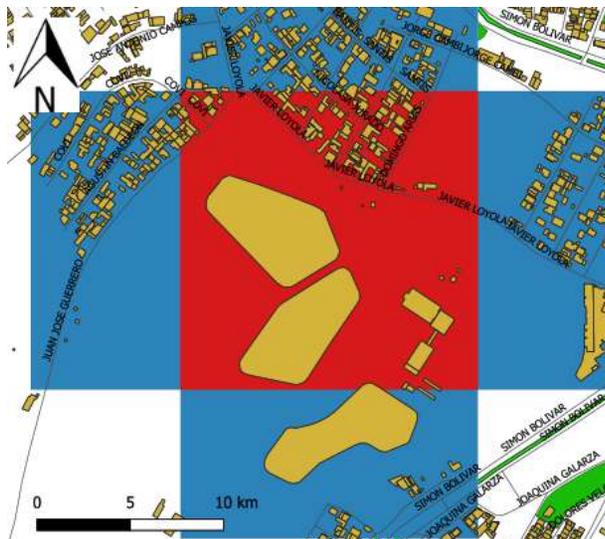
Elementos de análisis	m2
<i>Paved (-)</i>	2147,85
<i>Building (-)</i>	0,00
<i>Grass (-)</i>	9433,25
<i>Deciduous (-)</i>	0,00
<i>Evergreen trees (-)</i>	11950,90
<i>Bare soil (-)</i>	0,00
<i>Water (-)</i>	16468,00

Fuente: Elaborado por la autora

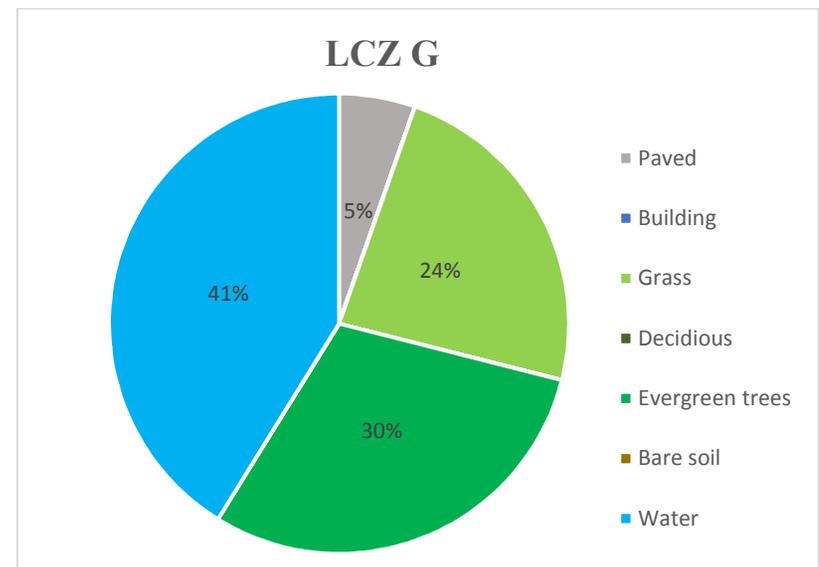
Estos resultados son contabilizados en porcentajes, obteniendo:

Figura 285: Materiales de cobertura de superficie LCZ G

Figura 284: LCZ-G más representativa en la Ciudad de Quito



Fuente: Elaborado por la autora



Fuente: Elaborado por la autora

Morfología urbana de LCZ G

Para el análisis se elabora una imagen en 3D (Ver figura 286) con el software QGIS. Se realiza el cálculo de alturas de edificaciones y vegetación (Ver tabla 75); en esta tipología predominan la cobertura de agua, arborización frondosa alta y vegetación baja.

Figura 286: LCZ G en 3D



Fuente: Elaborado por la autora

Tabla 75: Análisis de edificaciones en LCZ-G

Elementos de análisis	m
<i>Mean building height</i>	1,50
<i>Mean vegetation height</i>	1,53
<i>Frontal area index buildings</i>	0,40
<i>Frontal area index vegetation</i>	0,01
<i>Building height standard dev.</i>	0,71
<i>Vegetation height standard dev.</i>	0,15
<i>Maximum building height</i>	3,00
<i>Maximum vegetation height</i>	1,80

Fuente: Elaborado por la autora

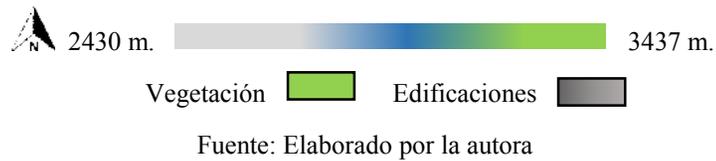
Sky View Factor (SFV) en LCZ-G

Es realizado con el software QGIS a través del complemento UMEP, obteniendo un ráster en donde cada pixel tiene un valor que oscila entre 0 a 1, siendo 0 óptimo y 1 caótico.

Para la elaboración de SFV se realizó un DSM del suelo, agua y vegetación de LCZ-G (Ver figura 287), el suelo está representado con una gama de colores grises, la vegetación en color verde y en color azul el agua.

Resultados obtenidos:

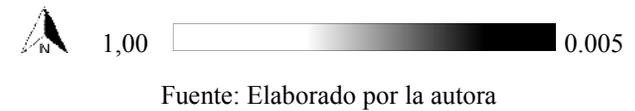
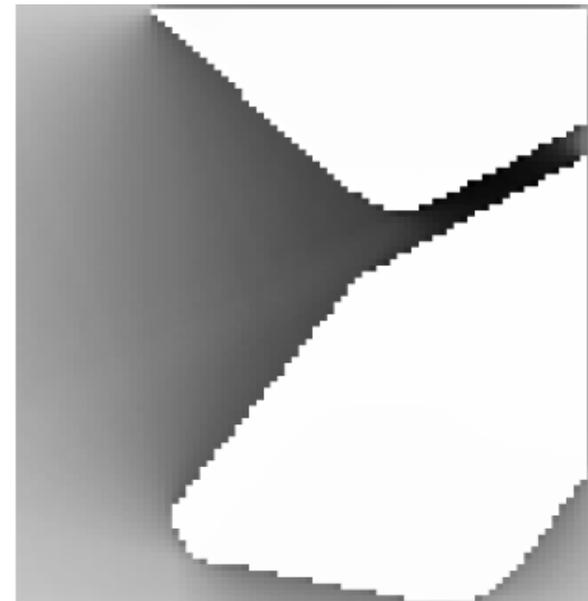
Figura 287: DSM de vegetación y edificaciones en LCZ-G



La figura 288 indica el geoprocesamiento en donde se obtiene el resultado de *Sky View Factor* de LCZ-G de la Ciudad de Quito, siendo un intervalo de 0.005 a 1.

Al comparar la figura 287 y 288 se observa un valor mayor de *Sky View Factor* sobre el agua lo que hace un espacio abierto de gran visibilidad.

Figura 288: *Sky View Factor*, con UMEP de LCZ-G de Quito



Wall aspect en LCZ-G

Es la altura de la pared desde el suelo y se procesa con el complemento UMEP a través del software QGIS, al no existir edificaciones este no es realizado.

Los resultados son procesados en una matriz (Ver tabla 76).

Síntesis propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-G

Tabla 76: Valores de propiedades geométricas y de cobertura de superficie en LCZ-G

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-G	0,05 -1	----	0	0	95	>1,51	1

Fuente: Elaborado por la autora

6.19. Síntesis de los resultados de Geometría urbana de LCZ en la Ciudad de Quito

Los resultados de valoración de geometría urbana de los 17 prototipos LCZ presentes en la ciudad son insertados en una matriz resumen (Ver tabla 77).

Tabla 77: Valoración de la geometría y cobertura de superficie de LCZ en la Ciudad de Quito

<i>Local climate zone (LCZ)</i>	<i>Sky view factor</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Building surface fraction</i>	<i>Impervious surface fraction</i>	<i>Pervious surface fraction</i>	<i>Height of roughness elements</i>	<i>Terrain roughness class</i>
LCZ-1	0.02-0.93	3.40	45	34	21	>41	8
LCZ-2	0.005 - 1	0 - 1	44	48	7	>6	7
LCZ-3	0.01-1	0 – 3.40	78	14	8	>6	6
LCZ-4	0.009 -0.99	0-1.00	58	15	29	>5,69	7
LCZ-5	0.02 -1	0-1	36	20	43	>4,13	5
LCZ-6	0.006-1	0-1	53	11	36	>4,18	6
LCZ-7	0.08-1	0-1	10	21	69	>3,71	4
LCZ-8	0.076-1	0-1	71	29	0	>3,49	5
LCZ-9	0.19-1	0-1	18	20	62	>4	6
LCZ-10	0.015 -1	0-1	73	5	22	>14,20	5
LCZ-A	0.01 -1.00	----	0	0	1	>10,08	6
LCZ-B	0.01-0.99	0-1	3	9	88	>11,97	6
LCZ-C	0,05-0,73	----	0	0	1	>10,08	6
LCZ-D	0,013	--	0	0	1	>0,10	3
LCZ-E	0.01 -0.02	-----	0	83	17	0,2	2
LCZ-F	0.001 -0.99	----	0	18	82	>0	2
LCZ-G	0,05 -1	----	0	0	95	>1,51	1

Fuente: Elaborada por la autora

6.20. Análisis de temperatura de la superficie

De acuerdo con el Instituto Ecuatoriano Espacial el satélite de Landsat 8 pasa por la ciudad de Quito aproximadamente entre las 10h00 a 11h00. El periodo de selección de imágenes es desde el 1 de septiembre 2018 hasta el 15 de septiembre 2019, este periodo es insertado en el portal <https://earthexplorer.usgs.gov/> para la descarga de imágenes.

Como resultado tenemos 40 imágenes satelitales de ellas se debe escoger las imágenes satelitales con menos del 10% de nubosidad para que no presente errores el cálculo de Ts, para ello cada imagen satelital es insertada en SAGA GIS con el shapefile del área de estudio para visualizar si existe presencia de nubosidad, a través de una tabla se emite el criterio aceptada o rechazada (Ver anexo 1), después de ello obtenemos 10 imágenes satelitales cabe indicar que en donde existe nubosidad no existe valores, es por ello la importancia de que las imágenes escogidas contengan lo mínimo de nubosidad para que no interfieran en el resultado.

Con las 10 imágenes satelitales Landsat 8 seleccionadas (Ver tabla 78) se realiza en con cada una de ellas el cálculo de la Temperatura de Superficie (Ts) (Ver figuras 289, 290, 291, 292,

293, 293, 294, 295, 296, 297 y 298), para alcanzar esta información se aplica seis formulas.

- 1) TOA (Top of atmospheric) radiancia espectral.
- 2) BT (Brightness temperature) Temperatura de brillo.
- 3) NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada).
- 4) Pv (Proporción de vegetación).
- 5) E (Emisividad).
- 6) LST (Land Surface Temperature) Temperatura de Superficie.

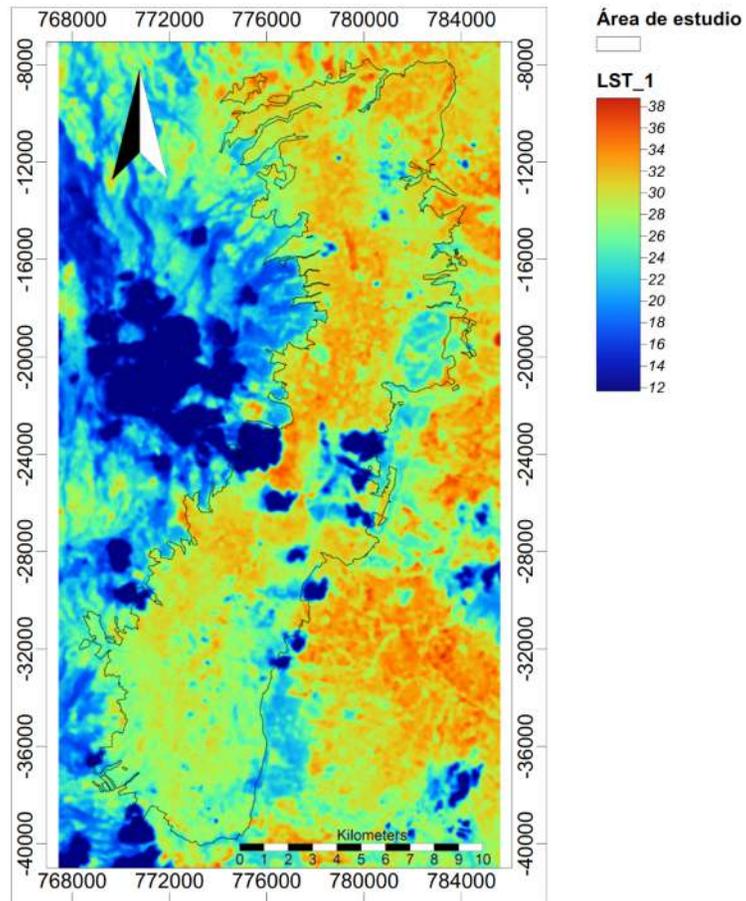
Tabla 78: Imágenes Landsat seleccionadas para la investigación

#	ID -Imagen satelital Landsat 8	Fecha
1	LC08_L1TP_010060_20180923_20180929_01_T1	23-sep-18
2	LC08_L1TP_010060_20181228_20190129_01_T1	28-dic-18
3	LC08_L1TP_010060_20190129_20190206_01_T1	29-ene-19
4	LC08_L1TP_010060_20190318_20190325_01_T1	18-mar-19
5	LC08_L1TP_010060_20190505_20190520_01_T1	05-may-19
6	LC08_L1TP_010060_20190521_20190604_01_T1	21-may-19
7	LC08_L1TP_010060_20190622_20190704_01_T1	22-jun-19
8	LC08_L1TP_010060_20190809_20190820_01_T1	09-ago-19
9	LC08_L1TP_010060_20190825_20190903_01_T1	25-ago-19
10	LC08_L1TP_010060_20190910_20190917_01_T1	10-sep-19

Fuente: Elaborado por la autora

1) Imagen satelital
LC08_L1TP_010060_20180923_20180929_01_T1

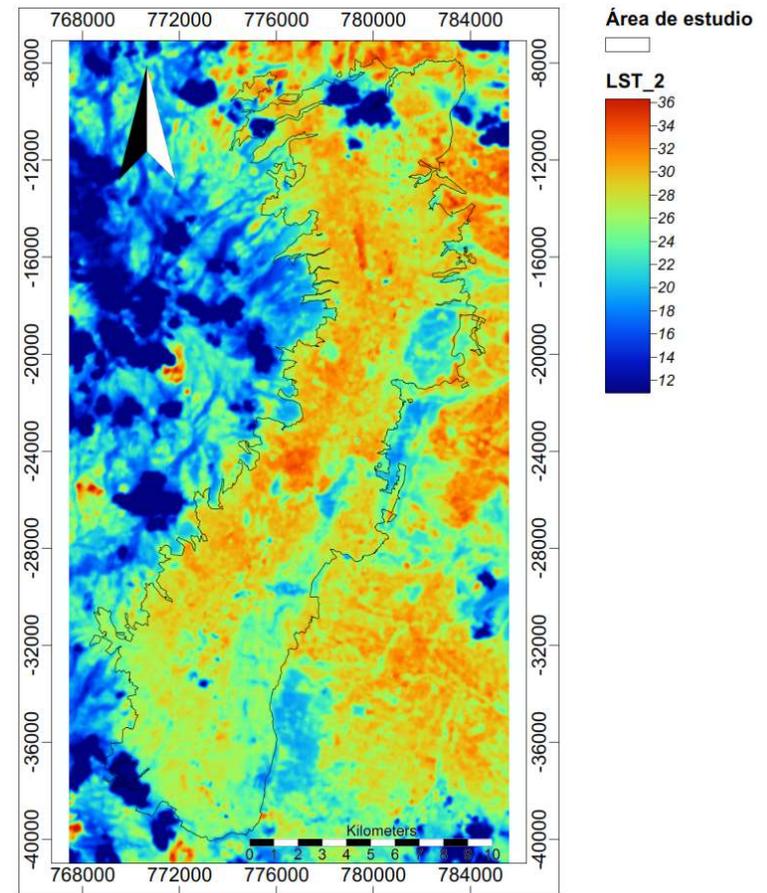
Figura 289: Temperatura de Superficie (2018-09-23)



Fuente: Elaborado por la autora

2) Imagen satelital
LC08_L1TP_010060_20181228_20190129_01_T1

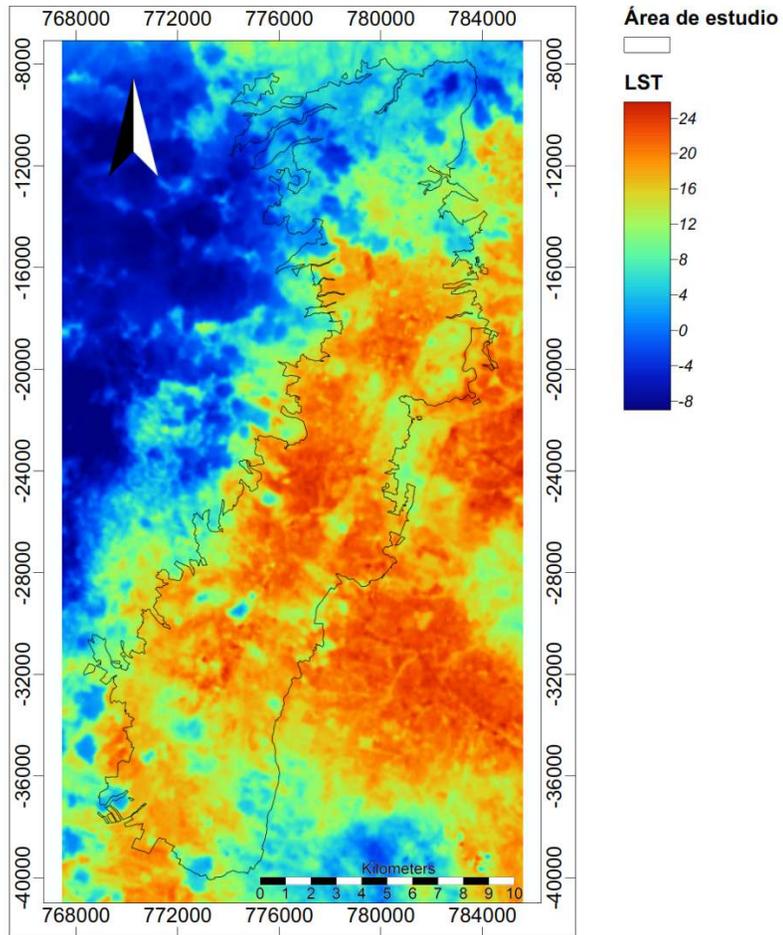
Figura 290: Temperatura de Superficie (2018-12-28)



Fuente: Elaborado por la autora

3) Imagen satelital
 LC08_L1TP_010060_20190129_20190206_01_T1

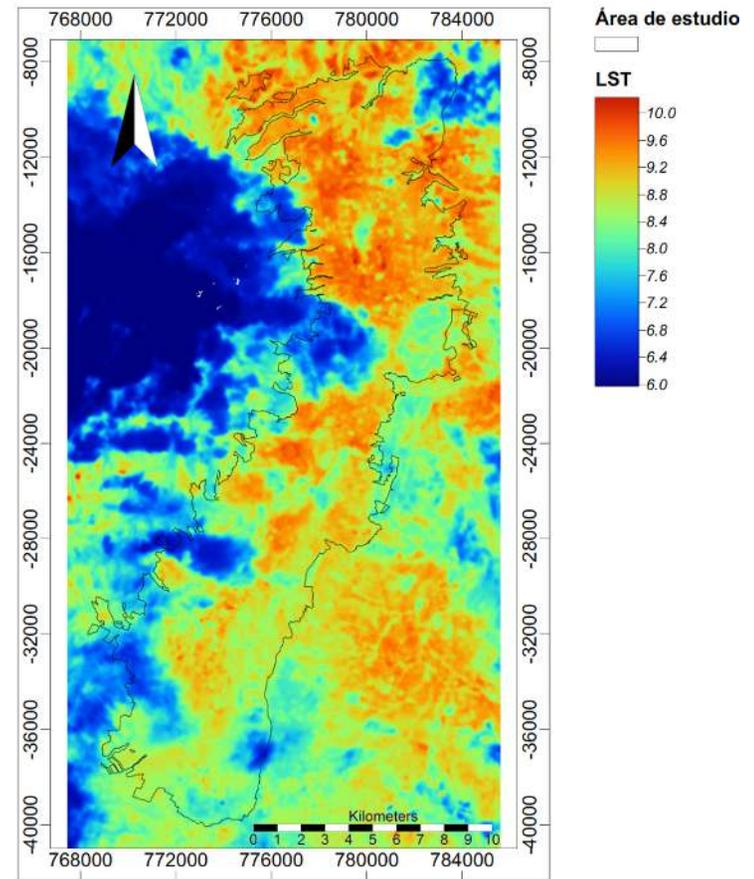
Figura 291: Temperatura de Superficie (2019-01-19)



Fuente: Elaborado por la autora

4) Imagen satelital
 LC08_L1TP_010060_20190318_20190325_01_T1

Figura 292: Temperatura de Superficie (2019-03-18)



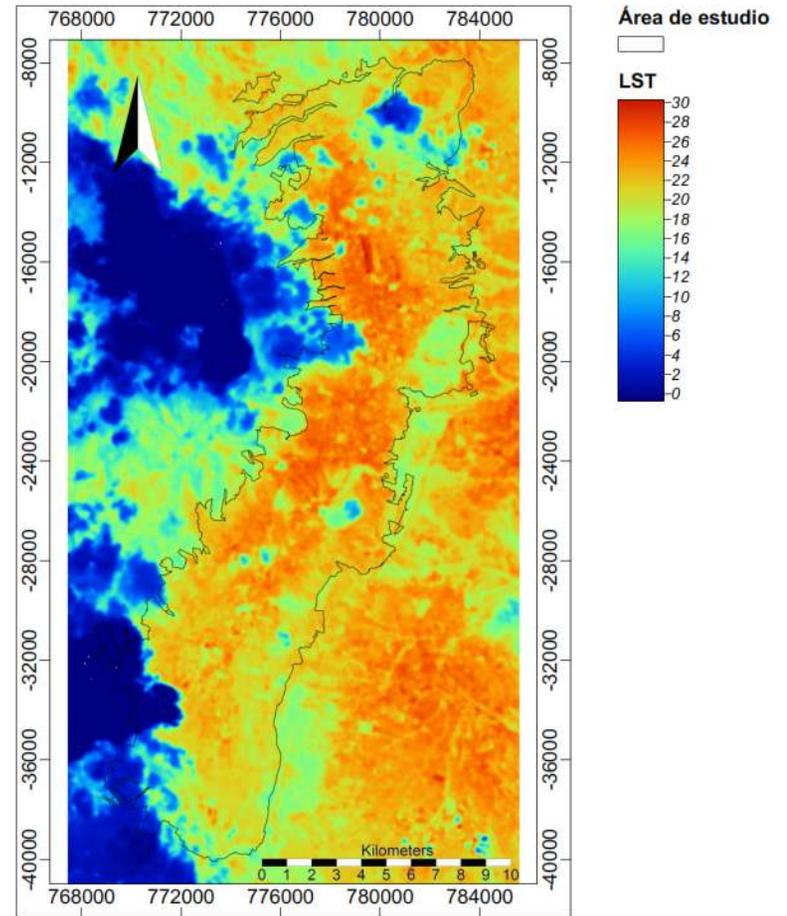
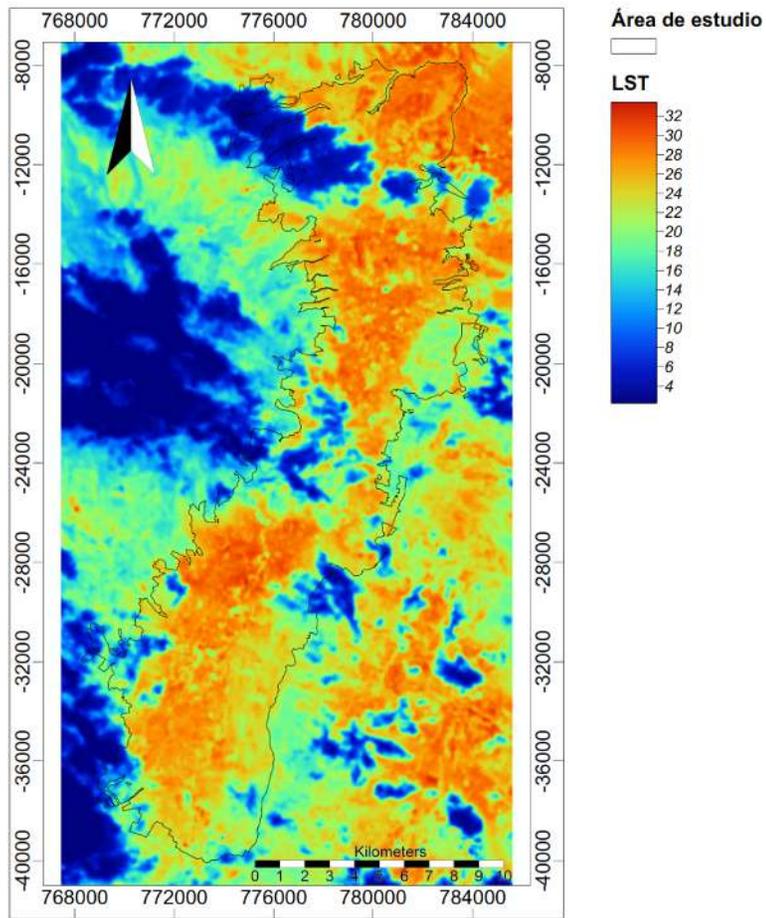
Fuente: Elaborado por la autora

5) Imagen satelital
 LC08_L1TP_010060_20190505_20190520_01_T1

6) Imagen satelital
 LC08_L1TP_010060_20190521_20190604_01_T1

Figura 293: Temperatura de Superficie (2019-05-20)

Figura 294: Temperatura de Superficie (2019-05-21)

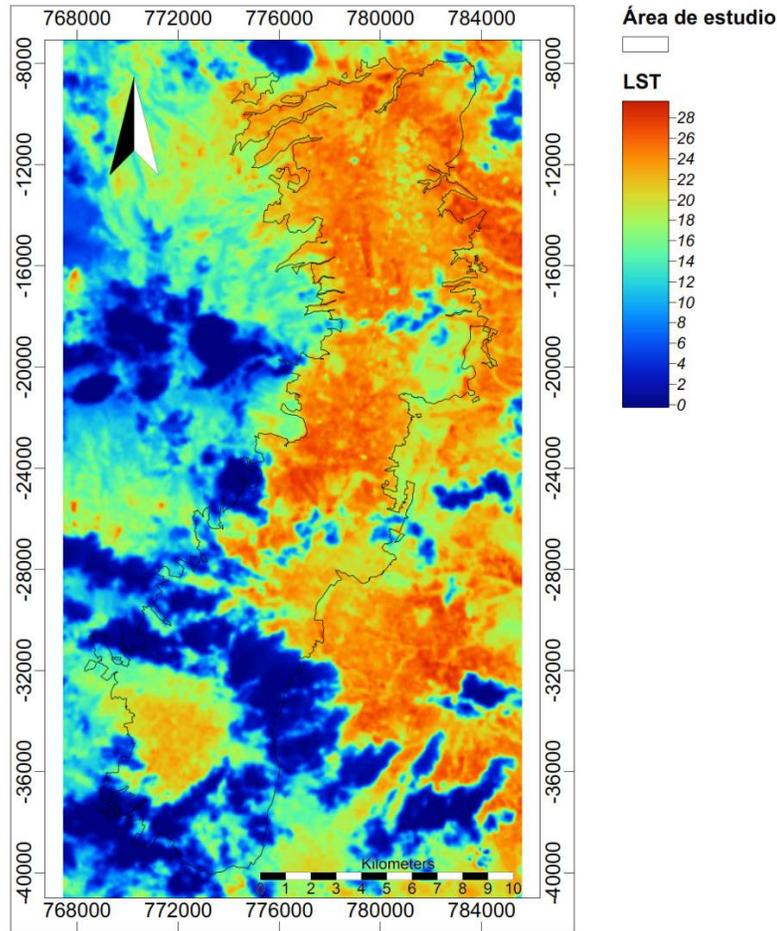


Fuente: Elaborado por la autora

Fuente: Elaborado por la autora

7) Imagen satelital
 LC08_L1TP_010060_20190622_20190704_01_T1

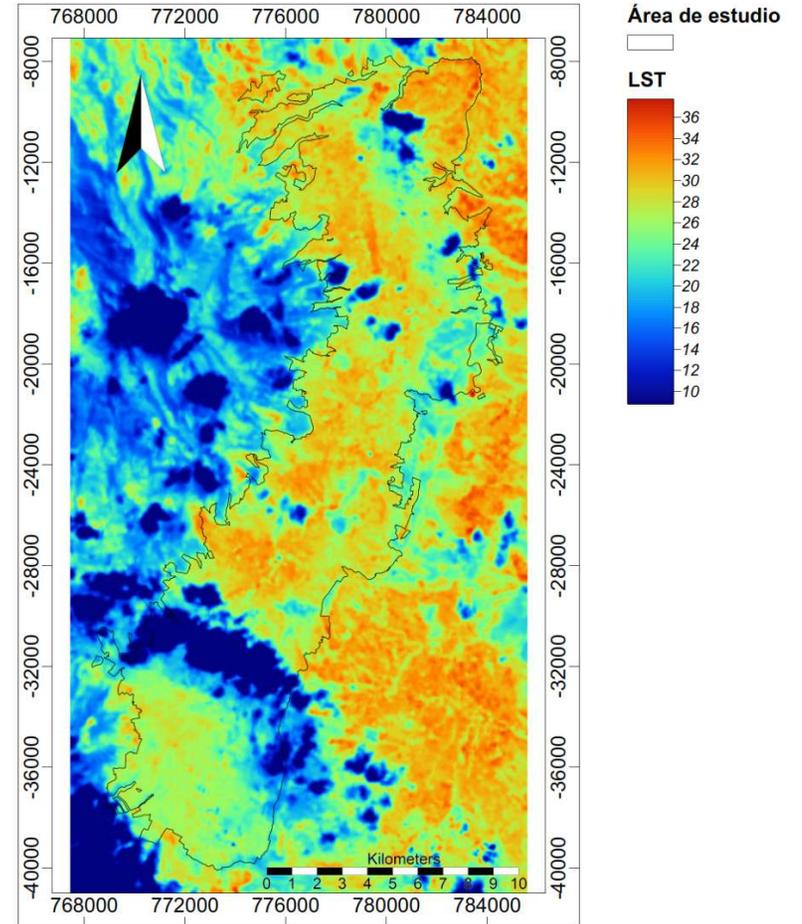
Figura 295: Temperatura de Superficie (2019-06-22)



Fuente: Elaborado por la autora

8) Imagen satelital
 LC08 L1TP 010060 20190809 20190820 01 T1

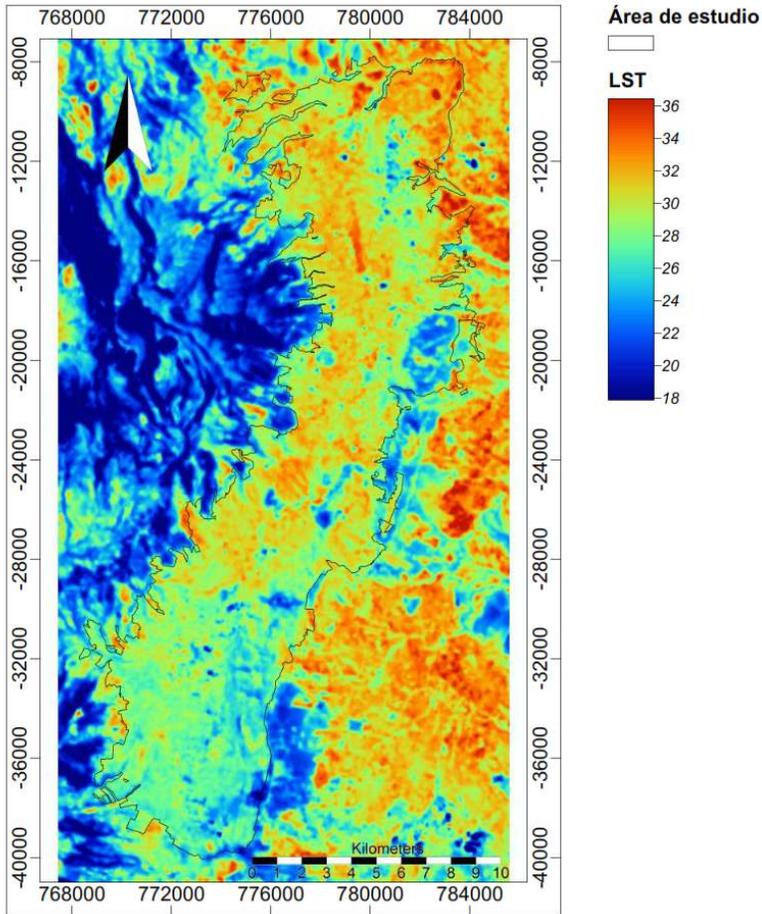
Figura 296: Temperatura de Superficie (2019-08-09)



Fuente: Elaborado por la autora

9) Imagen satelital
 LC08_L1TP_010060_20190825_20190903_01_T1

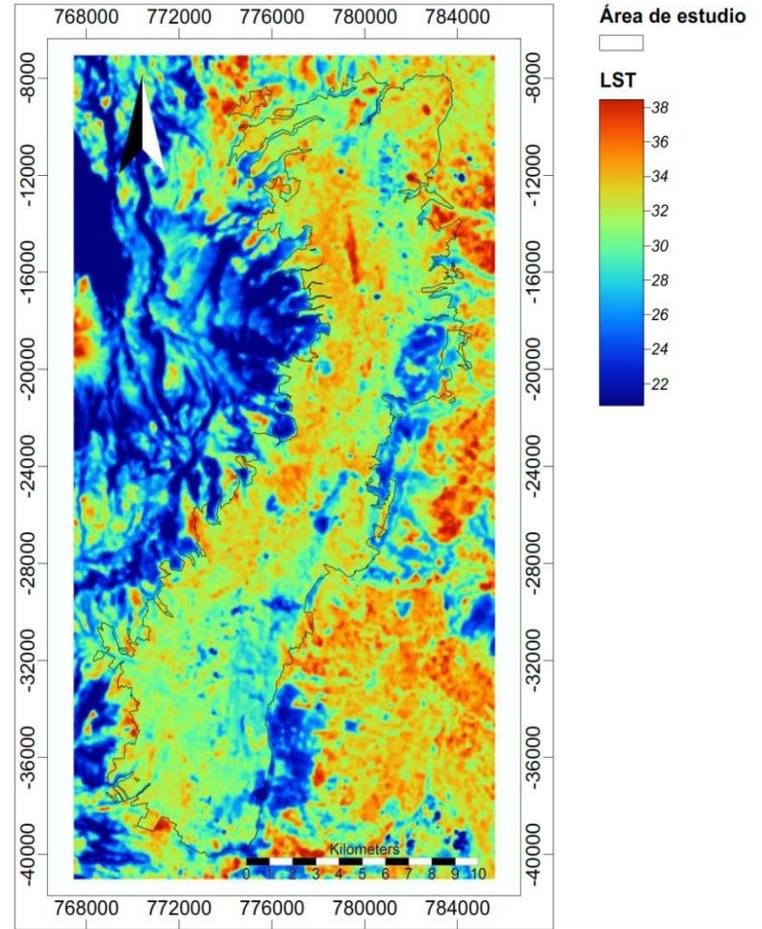
Figura 297: Temperatura de Superficie (2019-08-25)



Fuente: Elaborado por la autora

10) Imagen satelital
 LC08_L1TP_010060_20190910_20190917_01_T1

Figura 298: Temperatura de Superficie (2019-09-17)



Fuente: Elaborado por la autora

Una vez aplicadas las seis formulas en las 10 imágenes Landsat escogidas, se recopila los resultados en una matriz resumen (Ver tabla 79) en donde se visualiza la Temperatura de la superficie (Ts) de cada imagen, con la fecha y la estación climática.

Se realiza un gráfico comparativo de la Ts mínima y Ts máxima para visualizar los grados extremos de la Ts en la Ciudad de Quito en las 10 fechas analizadas, a través de una matriz se obtiene la media de las temperaturas de superficie mínima y máxima (Ver figura 299).

Se extrae la Ts de cada prototipo, siendo 170 datos, (Ver tabla 80) y a través de un gráfico (Ver figura 300) se visualiza el comportamiento de Ts en la clasificación LCZ.

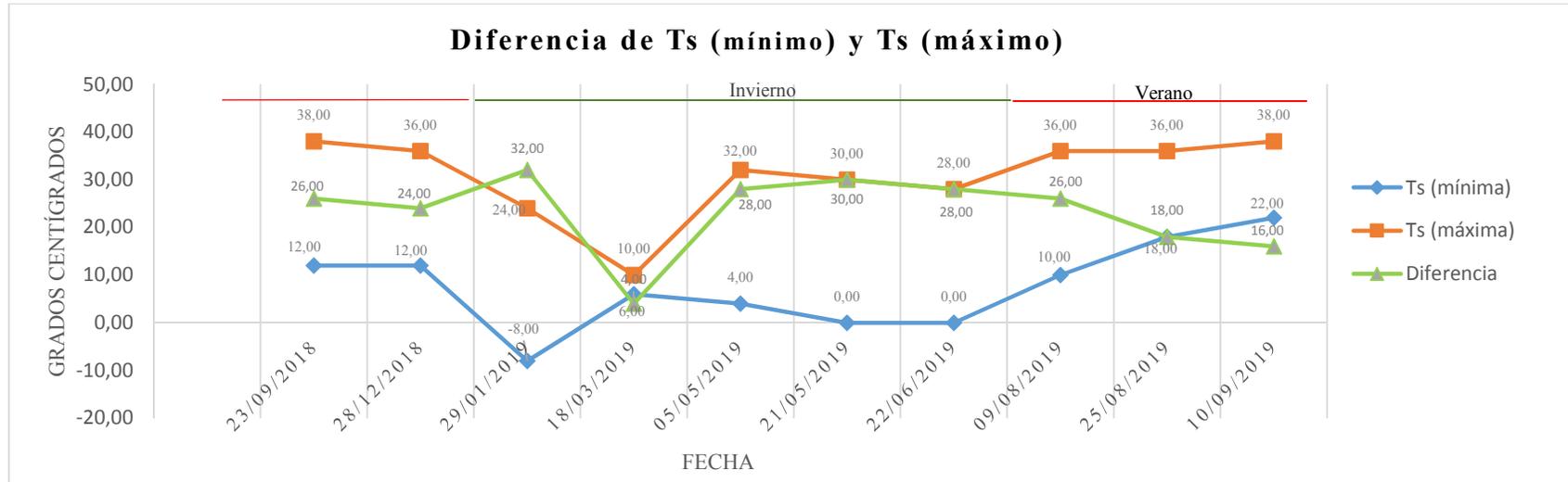
Se clasifica de mayor a menor la temperatura de superficie (Ver tabla 81) a las cuatro mayores Ts se asigna la denominación muy alto, a las cuatro siguientes alto, a las siguientes cuatro Ts medio y a las cinco últimas Ts la denominación bajo, se calcula mediana en cada LCZ de las diez fechas analizadas.

Tabla 79: Resumen de resultados de LST

#	ID -Imagen satelital Landsat 8	Fecha	Estación climática	LST
1	LC08_L1TP_010060_20180923_20180929_01_T1	23/09/2018	Verano	12 - 38
2	LC08_L1TP_010060_20181228_20190129_01_T1	28/12/2018	Invierno	12 - 36
3	LC08_L1TP_010060_20190129_20190206_01_T1	29/01/2019	Invierno	-8 - 24
4	LC08_L1TP_010060_20190318_20190325_01_T1	18/03/2019	Invierno	6 - 10
5	LC08_L1TP_010060_20190505_20190520_01_T1	05/05/2019	Invierno	4 - 32
6	LC08_L1TP_010060_20190521_20190604_01_T1	21/05/2019	Invierno	0 - 30
7	LC08_L1TP_010060_20190622_20190704_01_T1	22/06/2019	Verano	0 - 28
8	LC08_L1TP_010060_20190809_20190820_01_T1	09/08/2019	Verano	10 - 36
9	LC08_L1TP_010060_20190825_20190903_01_T1	25/08/2019	Verano	18 - 36
10	LC08_L1TP_010060_20190910_20190917_01_T1	10/09/2019	Verano	22 - 38

Fuente: Elaborado por la autora

Figura 299: Comparación de Ts con las imágenes satelitales



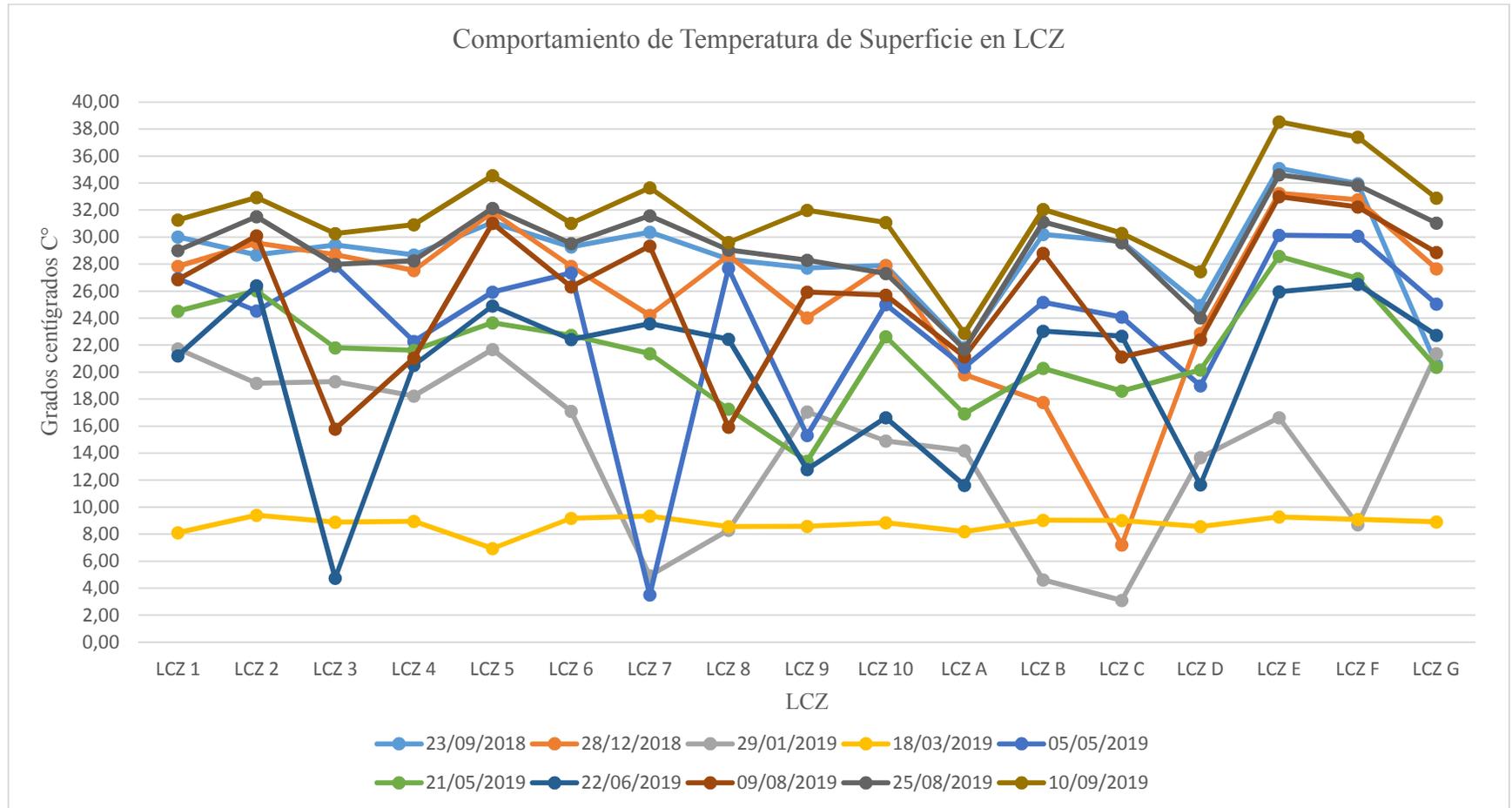
Fuente: Elaborado por la autora

Tabla 80: Temperatura de Superficie (Ts) en *Local Climate Zone* de la Ciudad de Quito

TEMPERATURA DE SUPERFICIE (Ts) EN LCZ										
LCZ	INVIERNO						VERANO			
	23/09/2018	28/12/2018	29/01/2019	18/03/2019	05/05/2019	21/05/2019	22/06/2019	09/08/2019	25/08/2019	10/09/2019
LCZ 1	30,02	27,83	21,73	8,10	26,93	24,52	21,20	26,85	29,01	31,27
LCZ 2	28,69	29,57	19,18	9,41	24,54	26,04	26,40	30,10	31,52	32,94
LCZ 3	29,42	28,71	19,30	8,88	27,86	21,80	4,75	15,78	27,98	30,26
LCZ 4	28,69	27,53	18,24	8,94	22,27	21,61	20,50	21,04	28,26	30,93
LCZ 5	31,08	31,84	21,67	6,94	25,93	23,65	24,91	31,02	32,14	34,56
LCZ 6	29,28	27,85	17,10	9,18	27,35	22,72	22,41	26,32	29,53	31,02
LCZ 7	30,37	24,20	4,93	9,35	3,50	21,37	23,58	29,34	31,57	33,65
LCZ 8	28,35	28,64	8,29	8,56	27,67	17,26	22,43	15,93	29,06	29,61
LCZ 9	27,72	24,03	17,06	8,59	15,31	13,41	12,79	25,94	28,30	31,99
LCZ 10	27,90	27,90	14,91	8,85	25,01	22,63	16,62	25,70	27,30	31,09
LCZ A	21,83	19,82	14,19	8,20	20,36	16,92	11,61	21,15	21,70	22,87
LCZ B	30,20	17,76	4,61	9,04	25,17	20,28	23,04	28,80	31,13	32,05
LCZ C	29,67	7,21	3,09	9,01	24,09	18,61	22,66	21,13	29,58	30,29
LCZ D	24,94	22,87	13,67	8,56	19,00	20,16	11,67	22,40	24,02	27,46
LCZ E	35,09	33,25	16,63	9,27	30,14	28,57	25,96	32,99	34,61	38,54
LCZ F	33,96	32,77	8,71	9,10	30,08	26,93	26,50	32,23	33,84	37,41
LCZ G	20,56	27,65	21,38	8,91	25,05	20,37	22,73	28,86	31,05	32,89

Fuente: Elaborado por la autora

Figura 300: Comportamiento de Ts en LCZ



Fuente: Elaborado por la autora

Tabla 81: Temperatura de la superficie (Ts) en C° por intensidad en LCZ y mediana estadística

TEMPERATURA DE SUPERFICIE (Ts) EN LCZ												
INTENSIDAD	INVIERNO						VERANO				MEDIANA INVIERNO	MEDIANA VERANO
	23/09/2018	28/12/2018	29/01/2019	18/03/2019	05/05/2019	21/05/2019	22/06/2019	09/08/2019	25/08/2019	10/09/2019		
MUY ALTO	35,09	33,25	21,73	9,41	30,14	28,57	26,5	32,99	34,61	38,54	28,57	34,61
MUY ALTO	33,96	32,77	21,67	9,35	30,08	26,93	26,4	32,23	33,84	37,41	26,93	33,84
MUY ALTO	31,08	31,84	21,38	9,27	27,86	26,04	25,96	31,02	32,14	34,56	26,04	31,08
MUY ALTO	30,37	29,57	19,3	9,18	27,67	24,52	24,91	30,1	31,57	33,65	24,52	30,37
ALTO	30,2	28,71	19,18	9,1	27,35	23,65	23,58	29,34	31,52	32,94	23,65	30,2
ALTO	30,02	28,64	18,24	9,04	26,93	22,72	23,04	28,86	31,13	32,05	22,72	30,02
ALTO	29,67	27,9	17,1	9,01	25,93	22,63	22,73	28,8	31,05	32,89	22,63	29,67
ALTO	29,42	27,85	17,06	8,94	25,17	21,8	22,66	26,85	29,58	30,29	21,8	29,42
MEDIO	29,28	27,83	16,63	8,91	25,05	21,61	22,43	26,32	29,53	31,02	21,61	29,28
MEDIO	28,69	27,65	14,91	8,88	25,01	21,37	22,41	25,94	29,06	29,61	21,37	28,69
MEDIO	28,69	27,53	14,19	8,85	24,54	20,37	21,2	25,7	29,01	31,27	20,37	28,69
MEDIO	28,35	24,2	13,67	8,59	24,09	20,28	20,5	22,4	28,3	31,99	20,28	28,3
BAJO	27,9	24,03	8,71	8,56	22,27	20,16	16,62	21,15	28,26	30,93	20,16	27,9
BAJO	27,72	22,87	8,29	8,56	20,36	18,61	12,79	21,13	27,98	30,26	18,61	27,72
BAJO	24,94	19,82	4,93	8,2	19	17,26	11,67	21,04	27,3	31,09	17,26	24,94
BAJO	21,83	17,76	4,61	8,1	15,31	16,92	11,61	15,93	24,02	27,46	15,31	21,83
BAJO	20,56	7,21	3,09	6,94	3,5	13,41	4,75	15,78	21,7	22,87	6,94	20,56

LCZ 1	LCZ 2	LCZ 3	LCZ 4	LCZ 5	LCZ 6	LCZ 7	LCZ 8	LCZ 9	LCZ 10
LCZ A	LCZ B	LCZ C	LCZ D	LCZ E	LCZ F	LCZ G			

Fuente: Elaborado por la autora

6.21. Análisis de temperatura del aire

Para la ubicación de la estación meteorológica se utilizó los mapas de densidad de Kernel de cada una de las LCZ en dichas áreas se eligió al edificio más alto, se colocó a una distancia horizontal de 2 metros de altura, los días comprendidos de 3 a 6, 13 a 16 y 28 a 31 de cada mes desde septiembre 2018 a septiembre 2019.

Para esta investigación se dispone de 10 equipos de medición (sensores) para lo cual se selecciona las 5 LCZ que con mayor porcentaje y las 5 LCZ que tienen mayor Ts (Ver tabla 82).

LCZ 3, LCZ B, LCZ D, LCZ 2 y LCZ 8, son prototipos que abarcan el 90, 33% del área de estudio; LCZ E, LCZ F, LCZ 5, LCZ 7 y LCZ 1 son las que presentan mayor temperatura de superficie, es por ello que los sensores son colocados en estos prototipos (Ver figura 301).

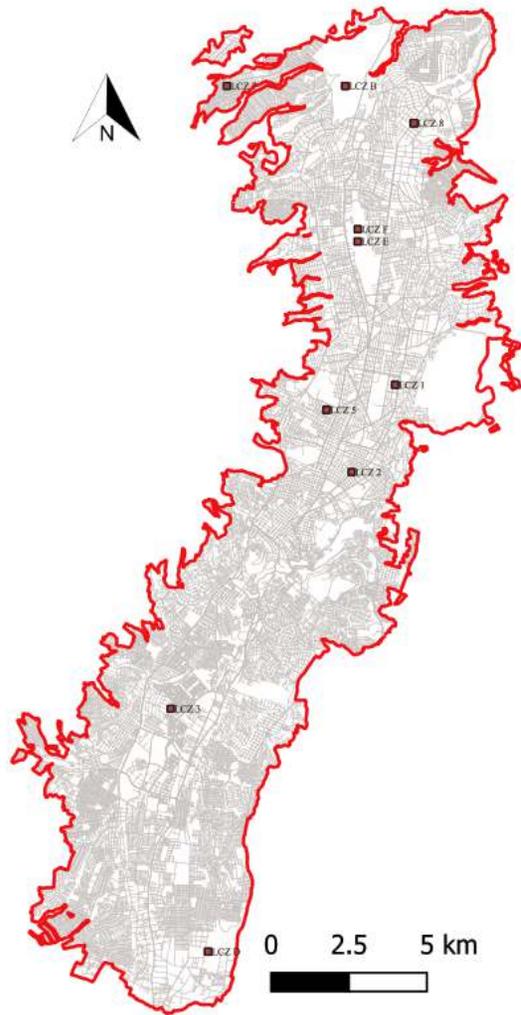
Con los datos obtenidos de la temperatura del aire se realiza a través de la interpolación IDW un mapa de temperaturas (Ver figura 302) para obtener LCZ 4, LCZ 6, LCZ 9, LCZ 10, LCZ A, LCZ C Y LCZ G.

Tabla 82: Selección de LCZ para medición de Ta (temperatura del aire)

Ubicación	% LCZ			Temperatura Superficie			
				Verano (2018)	C°	Invierno (2018)	C°
1	LCZ 3	45,78%	90,33%	LCZ E	35,09	LCZ E	28,57
2	LCZ B	17,78%		LCZ F	33,96	LCZ F	26,93
3	LCZ D	9,80%		LCZ 5	31,08	LCZ 2	26,04
4	LCZ 2	7,45%		LCZ 7	30,37	LCZ 1	24,52
5	LCZ 8	6,15%		LCZ B	30,2	LCZ 5	23,65
6	LCZ 9	3,37%	9,68%	LCZ 1	30,02	LCZ 6	22,72
7	LCZ A	2,54%		LCZ C	29,67	LCZ 10	22,63
8	LCZ 7	2,03%		LCZ 3	29,42	LCZ 3	21,8
9	LCZ 1	1,48%		LCZ 6	29,28	LCZ 4	21,61
10	LCZ F	1,28%		LCZ 2	28,69	LCZ 7	21,37
11	LCZ C	0,67%		LCZ 4	28,69	LCZ G	20,37
12	LCZ E	0,63%		LCZ 8	28,35	LCZ B	20,28
13	LCZ 5	0,55%		LCZ 10	27,9	LCZ D	20,16
14	LCZ 6	0,24%		LCZ 9	27,72	LCZ C	18,61
15	LCZ 10	0,22%		LCZ D	24,94	LCZ 8	17,26
16	LCZ 4	0,02%		LCZ A	21,83	LCZ A	16,92
17	LCZ G	0,02%		LCZ G	20,56	LCZ 9	13,41

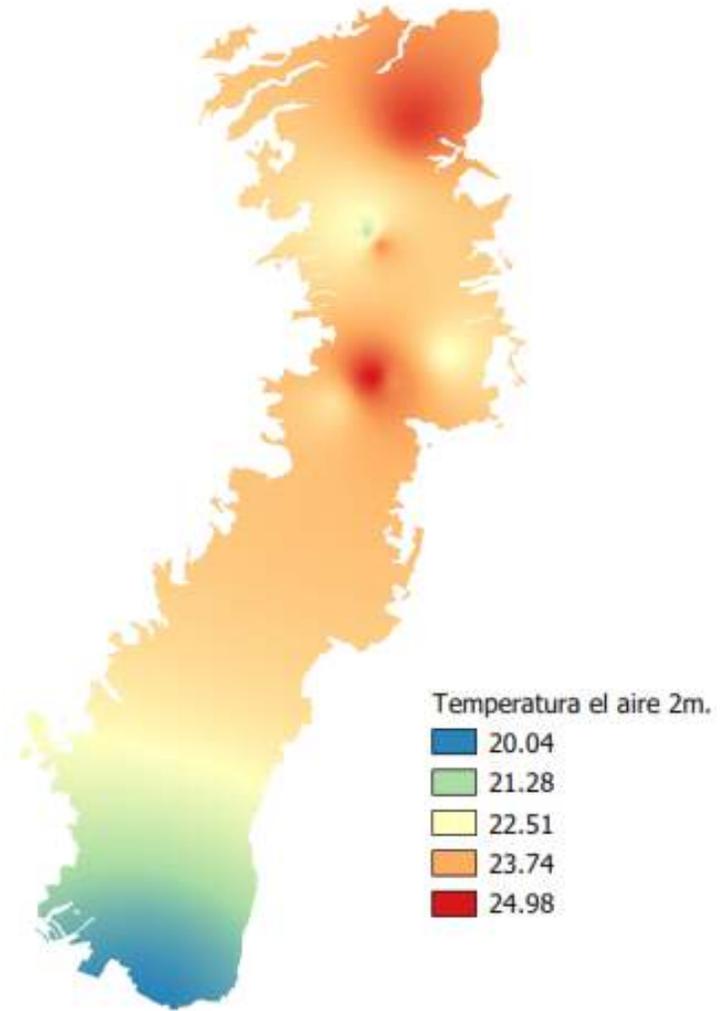
Fuente: Elaborado por la autora

Figura 301: Ubicación de sensores de temperatura en LCZ



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 302: Mapa de temperatura superficial de la Ciudad



Fuente: Elaborado por la autora

Se realiza un gráfico comparativo de T_a mínimo y T_a máxima para visualizar los grados extremos de T_a en la Ciudad de Quito en las 10 fechas analizadas, a través de una matriz se obtiene la media de las temperaturas de superficie mínima y máxima (Ver tabla 83).

Se extrae la T_a de cada prototipo, siendo 170 datos y a través de un gráfico (Ver figura 303) se visualiza el comportamiento de T_s en la clasificación LCZ.

Se clasifica de mayor a menor T_a ; las cuatro mayores T_a se asigna la denominación muy alto, las cuatro siguientes con la denominación alto, las siguientes cuatro T_a con la denominación medio y las cinco últimos T_a la denominación bajo, se calcula la estadística mediana en cada LCZ de las diez fechas analizadas (Ver tabla 84).

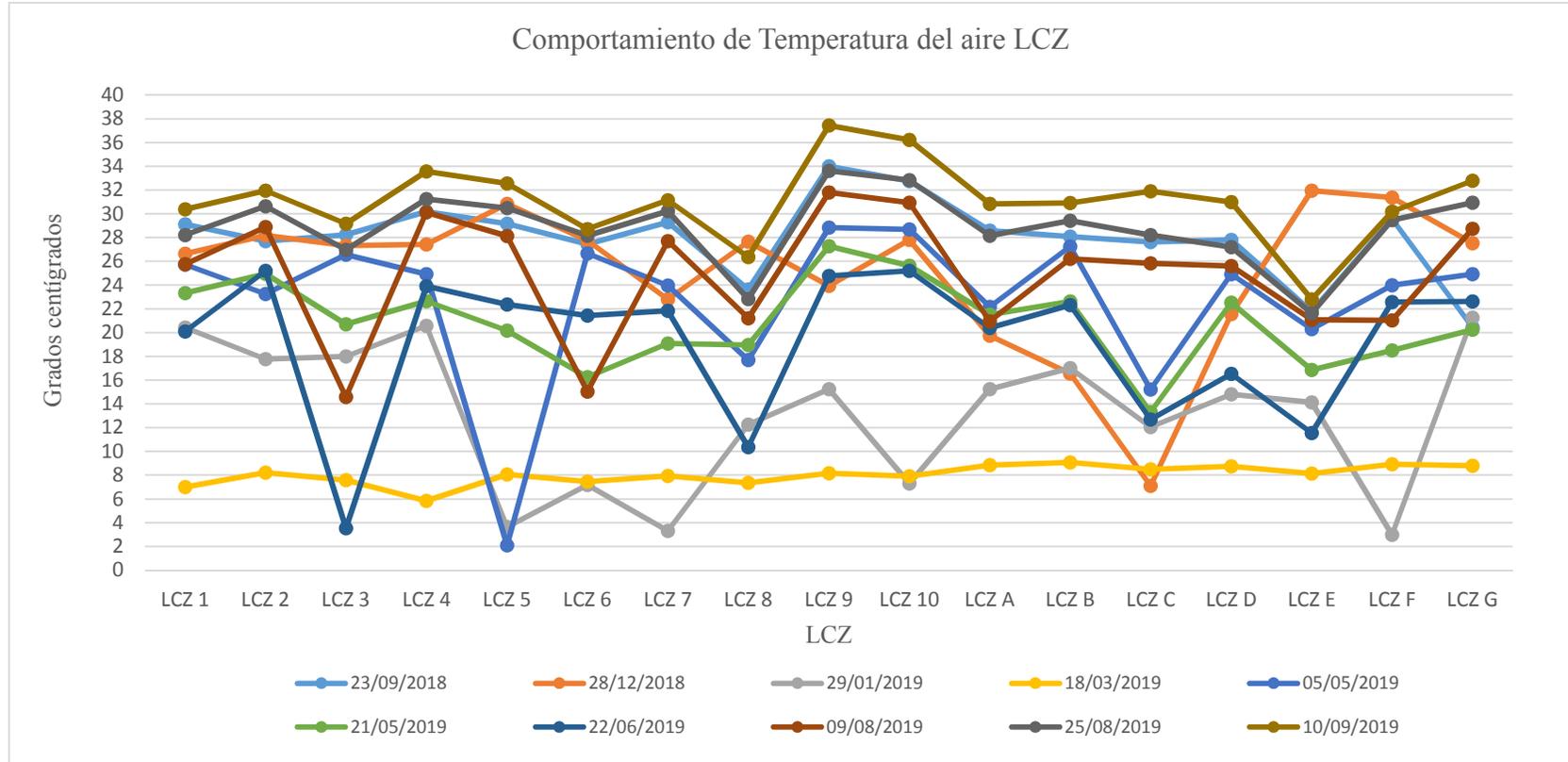
La información de datos de humedad relativa, velocidad del viento y ángulo del viento en la Ciudad de Quito se recolectada con los sensores de los equipos (Ver tabla 85).

Tabla 83: Temperatura del aire (Ta) en *Local Climate Zone* de la Ciudad de Quito

TEMPERATURA DEL AIRE (Ta) EN LCZ										
LCZ		INVIERNO					VERANO			
	23/09/2018	28/12/2018	29/01/2019	18/03/2019	05/05/2019	21/05/2019	22/06/2019	09/08/2019	25/08/2019	10/09/2019
LCZ 1	29,12	26,63	20,43	7	25,73	23,32	20,1	25,75	28,21	30,37
LCZ 2	27,69	28,17	17,78	8,21	23,24	24,94	25,2	28,9	30,62	31,94
LCZ 3	28,22	27,31	18	7,58	26,56	20,7	3,55	14,58	26,98	29,16
LCZ 4	30,18	27,43	20,57	5,84	24,93	22,65	23,91	30,12	31,24	33,56
LCZ 5	29,17	30,84	3,63	8,05	2,1	20,17	22,38	28,14	30,47	32,55
LCZ 6	27,45	27,75	7,19	7,46	26,67	16,26	21,43	15,03	28,16	28,71
LCZ 7	29,3	22,8	3,31	7,94	23,97	19,08	21,84	27,7	30,23	31,15
LCZ 8	23,64	27,64	12,27	7,36	17,7	18,96	10,37	21,2	22,82	26,36
LCZ 9	33,99	23,93	15,23	8,17	28,84	27,27	24,76	31,79	33,61	37,44
LCZ 10	32,76	27,8	7,31	7,9	28,68	25,63	25,2	30,93	32,84	36,21
LCZ A	28,59	19,75	15,24	8,84	22,17	21,51	20,4	20,94	28,16	30,83
LCZ B	28,08	16,56	17	9,08	27,25	22,62	22,31	26,22	29,43	30,92
LCZ C	27,62	7,11	12,06	8,49	15,21	13,31	12,69	25,84	28,2	31,89
LCZ D	27,8	21,57	14,81	8,75	24,91	22,53	16,52	25,6	27,2	30,99
LCZ E	21,76	31,95	14,12	8,13	20,29	16,85	11,54	21,08	21,63	22,8
LCZ F	29,57	31,37	2,99	8,91	23,99	18,51	22,56	21,03	29,48	30,19
LCZ G	20,44	27,53	21,26	8,79	24,93	20,25	22,61	28,74	30,93	32,77

Fuente: Elaborado por la autora

Figura 303: Comportamiento de Ta en LCZ



Fuente: Elaborado por la autora

Tabla 84: Temperatura del aire (Ta) en C° por intensidad en LCZ y mediana estadística

TEMPERATURA DEL AIRE (Ta) EN LCZ												
		INVIERNO					VERANO					
	23/09/2018	28/12/2018	29/01/2019	18/03/2019	05/05/2019	21/05/2019	22/06/2019	09/08/2019	25/08/2019	10/09/2019	Ts mediana invierno	Ts mediana verano
MUY ALTO	33,99	31,95	21,26	9,08	28,84	27,27	25,2	31,79	33,61	37,44	27,27	33,61
MUY ALTO	32,76	31,37	20,57	8,91	28,68	25,63	25,2	30,93	32,84	36,21	25,63	32,76
MUY ALTO	30,18	30,84	20,43	8,84	27,25	24,94	24,76	30,12	31,24	33,56	24,94	30,18
MUY ALTO	29,57	28,17	18	8,79	26,67	23,32	23,91	28,9	30,93	32,77	23,32	29,57
ALTO	29,3	27,8	17,78	8,75	26,56	22,65	22,61	28,74	30,62	32,55	22,65	29,3
ALTO	29,17	27,75	17	8,49	25,73	22,62	22,56	28,14	30,47	31,94	22,62	29,17
ALTO	29,12	27,64	15,24	8,21	24,93	22,53	22,38	27,7	30,23	31,89	22,53	29,12
ALTO	28,59	27,53	15,23	8,17	24,93	21,51	22,31	26,22	29,48	31,15	21,51	28,59
MEDIO	28,22	27,43	14,81	8,13	24,91	20,7	21,84	25,84	29,43	30,99	20,7	28,22
MEDIO	28,08	27,31	14,12	8,05	23,99	20,25	21,43	25,75	28,21	30,92	20,25	28,08
MEDIO	27,8	26,63	12,27	7,94	23,97	20,17	20,4	25,6	28,2	30,83	20,17	27,8
MEDIO	27,69	23,93	12,06	7,9	23,24	19,08	20,1	21,2	28,16	30,37	19,08	27,69
BAJO	27,62	22,8	7,31	7,58	22,17	18,96	16,52	21,08	28,16	30,19	18,96	27,62
BAJO	27,45	21,57	7,19	7,46	20,29	18,51	12,69	21,03	27,2	29,16	18,51	27,2
BAJO	23,64	19,75	3,63	7,36	17,7	16,85	11,54	20,94	26,98	28,71	16,85	23,64
BAJO	21,76	16,56	3,31	7	15,21	16,26	10,37	15,03	22,82	26,36	15,21	21,76
BAJO	20,44	7,11	2,99	5,84	2,1	13,31	3,55	14,58	21,63	22,8	5,84	20,44

LCZ 1	LCZ 2	LCZ 3	LCZ 4	LCZ 5	LCZ 6	LCZ 7	LCZ 8	LCZ 9	LCZ 10
LCZ A	LCZ B	LCZ C	LCZ D	LCZ E	LCZ F	LCZ G			

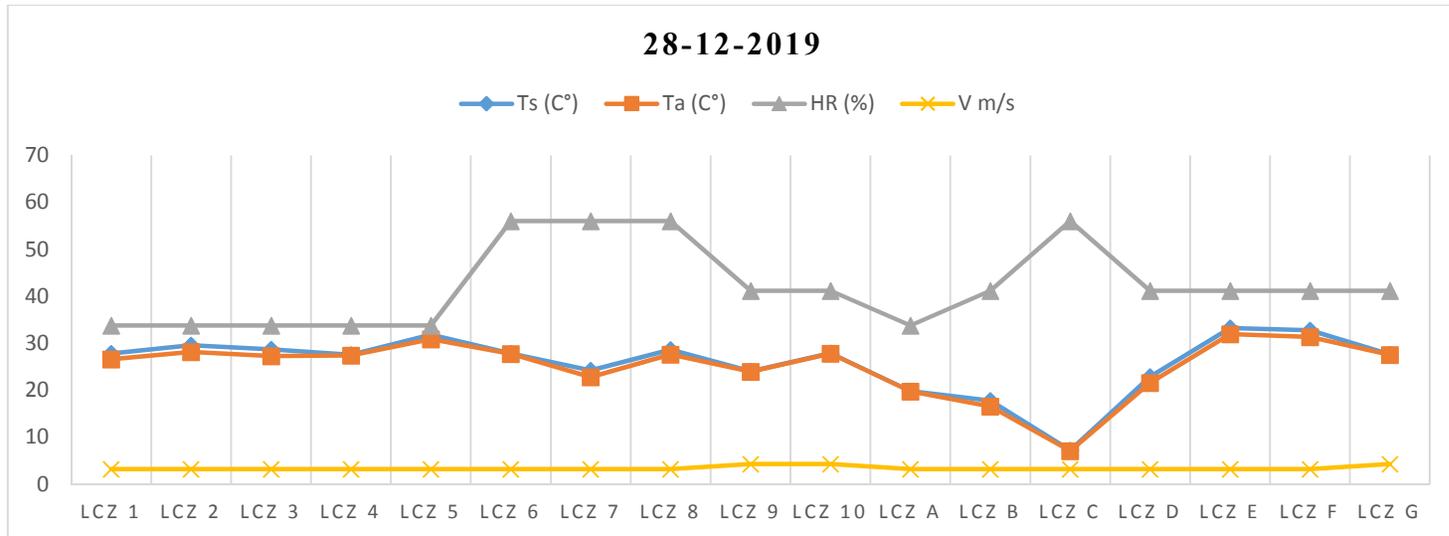
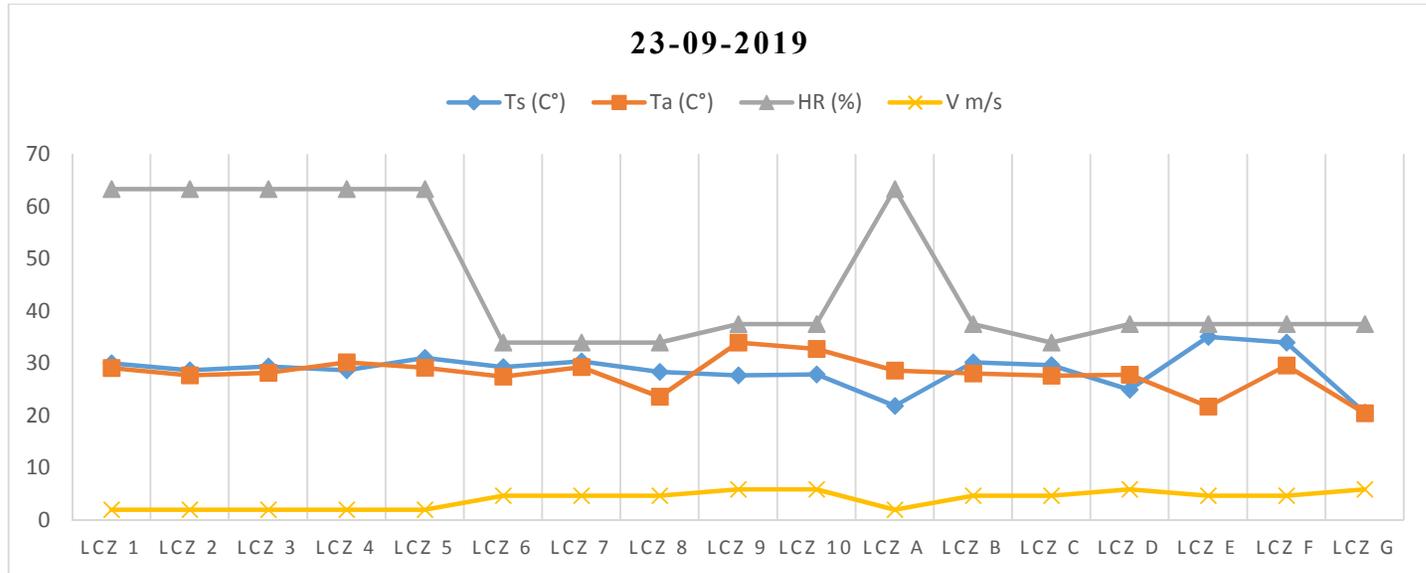
Fuente: Elaborado por la autora

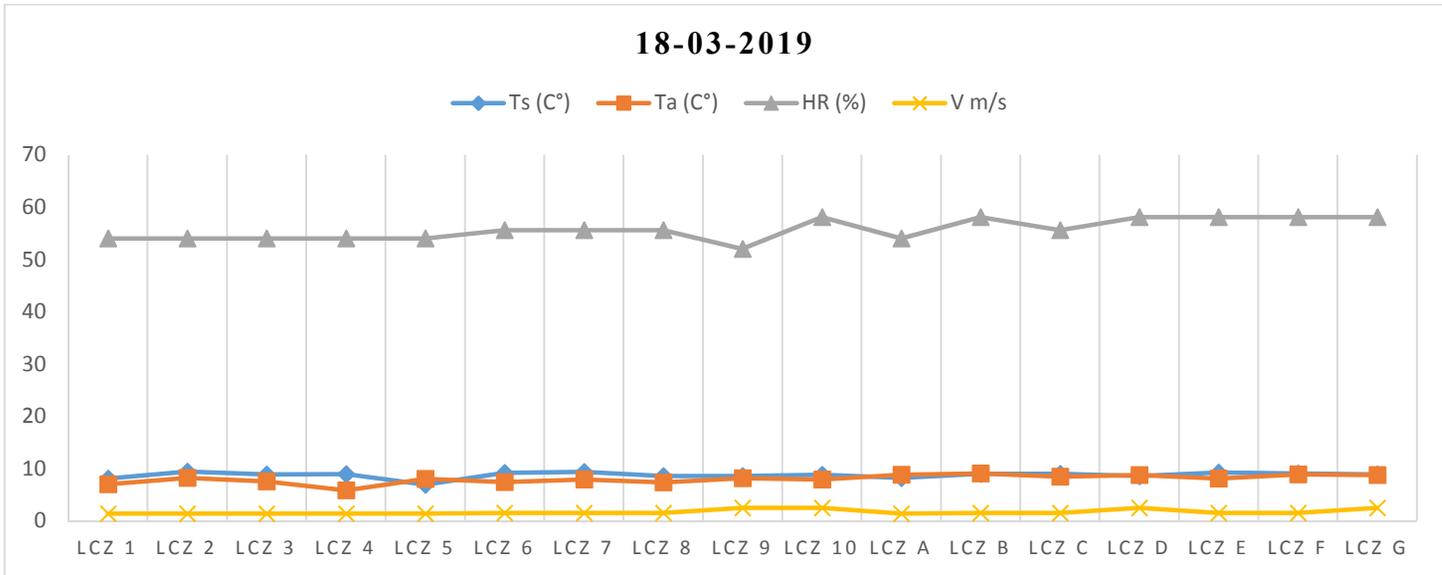
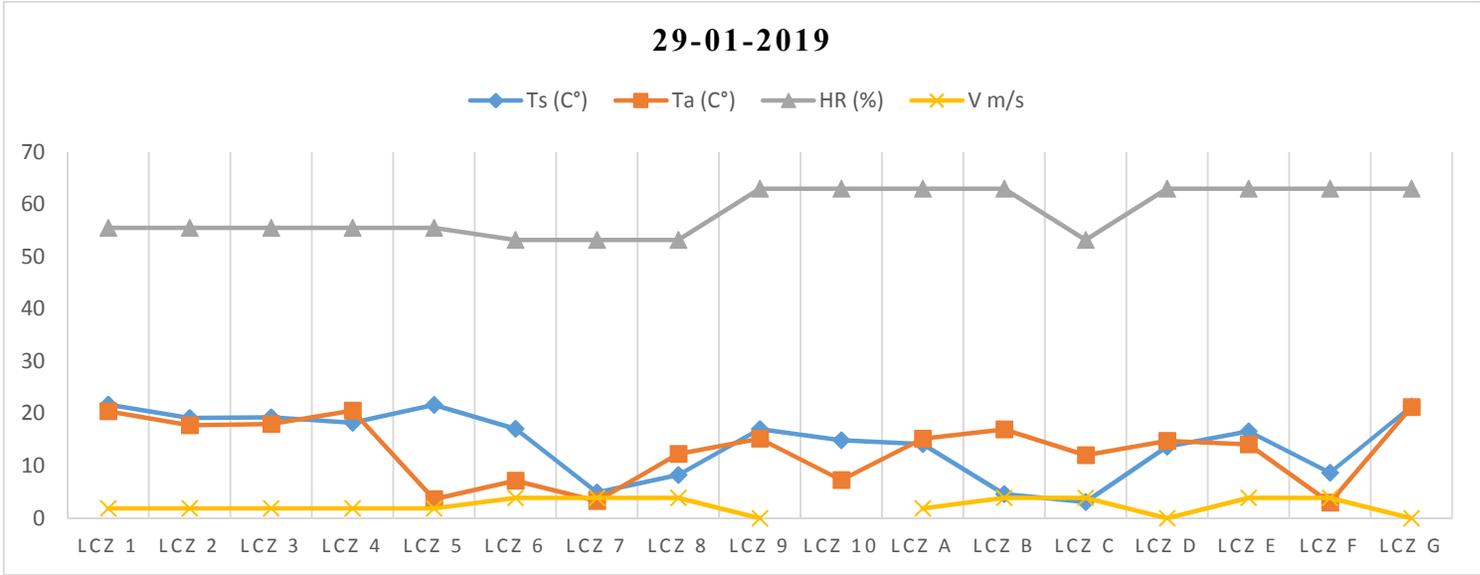
Tabla 85: Datos de humedad relativa, velocidad del viento y ángulo del viento en la Ciudad de Quito

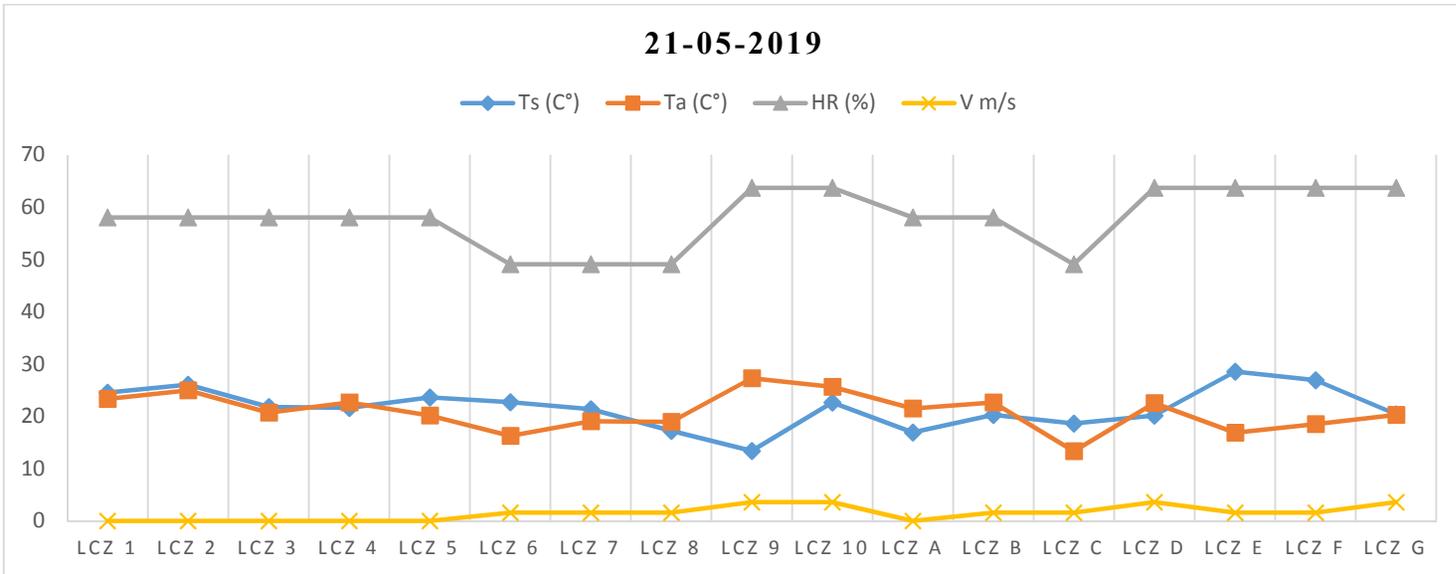
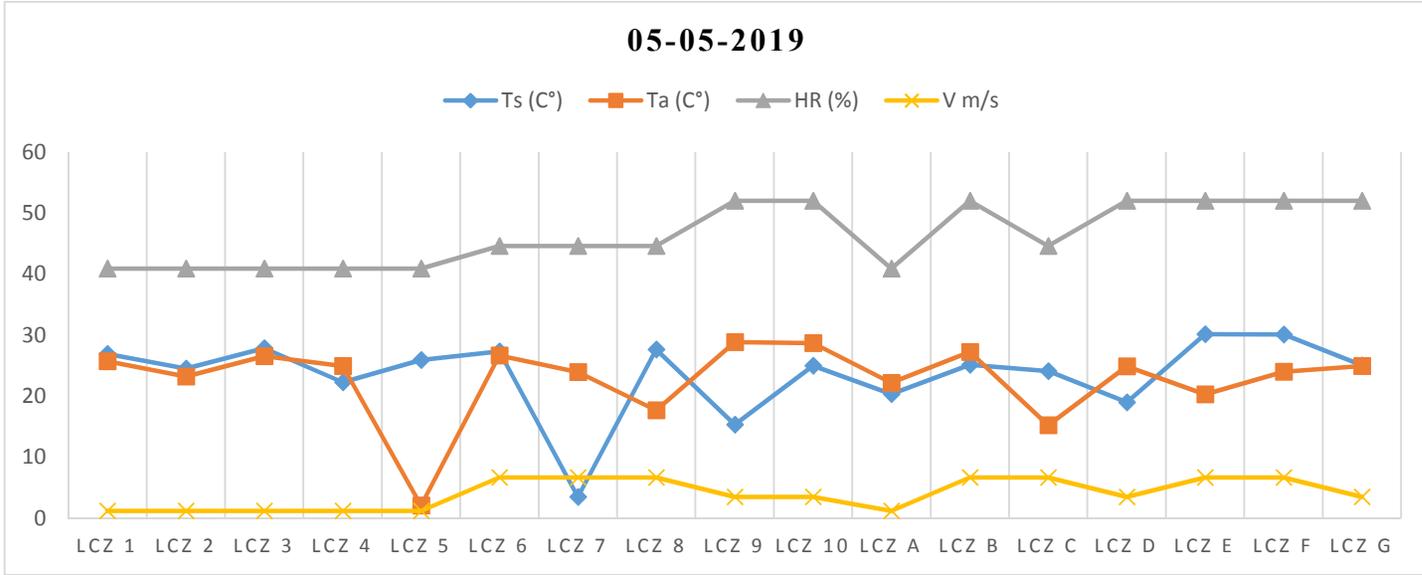
HUMEDAD Y VIENTO EN LCZ																																				
LCZ	INVIERNO																											VERANO								
	23/09/2018			28/12/2018			29/01/2019			18/03/2019			05/05/2019			21/05/2019			22/06/2019			09/08/2019			25/08/2019			10/09/2019								
	HR	V m/s	V°	HR	V m/s	V°	HR	V m/s	V°	HR	V m/s	V°	HR	V m/s	V°	HR	V m/s	V°	HR	V m/s	V°	HR	V m/s	V°	HR	V m/s	V°	HR	V m/s	V°						
LCZ 1	63,3	2,0	52,7	33,8	3,2	80,0	55,5	1,9	28,0	54,0	1,4	124,0	40,9	1,2	126,0	58,0	null	null	37,9	1,6	47,0	31,8	3,9	87,0	28,3	1,6	197,0	30,2	2,9	88,0						
LCZ 2	63,3	2,0	52,7	33,8	3,2	80,0	55,5	1,9	28,0	54,0	1,4	124,0	40,9	1,2	126,0	58,0	null	null	37,9	1,6	47,0	31,8	3,9	87,0	28,3	1,6	197,0	30,2	2,9	88,0						
LCZ 3	63,3	2,0	52,7	33,8	3,2	80,0	55,5	1,9	28,0	54,0	1,4	124,0	40,9	1,2	126,0	58,0	null	null	37,9	1,6	47,0	31,8	3,9	87,0	28,3	1,6	197,0	30,2	2,9	88,0						
LCZ 4	63,3	2,0	52,7	33,8	3,2	80,0	55,5	1,9	28,0	54,0	1,4	124,0	40,9	1,2	126,0	58,0	null	null	37,9	1,6	47,0	31,8	3,9	87,0	28,3	1,6	197,0	30,2	2,9	88,0						
LCZ 5	63,3	2,0	52,7	33,8	3,2	80,0	55,5	1,9	28,0	54,0	1,4	124,0	40,9	1,2	126,0	58,0	null	null	37,9	1,6	47,0	31,8	3,9	87,0	28,3	1,6	197,0	30,2	2,9	88,0						
LCZ 6	34,0	4,7	176,0	56,0	3,2	43,0	53,2	3,9	79,0	55,6	1,5	149,0	44,6	6,7	196,0	49,1	1,6	155,0	42,1	4,9	155,0	35,1	4,2	189,0	29,0	5,2	135,0	31,2	3,4	155,0						
LCZ 7	34,0	4,7	176,0	56,0	3,2	43,0	53,2	3,9	79,0	55,6	1,5	149,0	44,6	6,7	196,0	49,1	1,6	155,0	42,1	4,9	155,0	35,1	4,2	189,0	29,0	5,2	135,0	31,2	3,4	155,0						
LCZ 8	34,0	4,7	176,0	56,0	3,2	43,0	53,2	3,9	79,0	55,6	1,5	149,0	44,6	6,7	196,0	49,1	1,6	155,0	42,1	4,9	155,0	35,1	4,2	189,0	29,0	5,2	135,0	31,2	3,4	155,0						
LCZ 9	37,5	5,9	165,0	41,2	4,3	96,0	63,0	null	null	52,0	2,5	187,0	52,0	3,5	90,0	63,7	3,6	209,0	43,9	4,1	138,0	38,4	5,5	100,0	39,3	5,6	192,0	38,9	3,6	184,0						
LCZ 10	37,5	5,9	165,0	41,2	4,3	96,0	63,0			58,1	2,5	187,0	52,0	3,5	90,0	63,7	3,6	209,0	43,9	4,1	138,0	38,4	5,5	100,0	39,3	5,6	192,0	38,9	3,6	184,0						
LCZ A	63,3	2,0	52,7	33,8	3,2	80,0	63,0	1,9	28,0	54,0	1,4	124,0	40,9	1,2	126,0	58,0	null	null	37,9	1,6	87,0	31,8	3,9	87,0	28,3	1,6	197,0	30,2	2,9	88,0						
LCZ B	37,5	4,7	176,0	41,2	3,2	43,0	63,0	3,9	79,0	58,1	1,5	149,0	52,0	6,7	196,0	58,0	1,6	155,0	37,9	4,9	155,0	31,8	4,2	189,0	28,3	5,2	135,0	30,2	3,4	155,0						
LCZ C	34,0	4,7	176,0	56,0	3,2	43,0	53,2	3,9	79,0	55,6	1,5	149,0	44,6	6,7	196,0	49,1	1,6	155,0	42,1	4,9	155,0	35,1	4,2	189,0	29,0	5,2	135,0	31,2	3,4	155,0						
LCZ D	37,5	5,9	165,0	41,2	3,2		63,0	null	null	58,1	2,5	187,0	52,0	3,5	90,0	63,7	3,6	209,0	43,9	4,1	138,0	38,4	5,5	100,0	39,3	5,6	192,0	38,9	3,6	184,0						
LCZ E	37,5	4,7	176,0	41,2	3,2	43,0	63,0	3,9	79,0	58,1	1,5	149,0	52,0	6,7	196,0	63,7	1,6	155,0	43,9	4,9	155,0	38,4	4,2	189,0	39,3	5,2	135,0	38,9	3,4	155,0						
LCZ F	37,5	4,7	176,0	41,2	3,2	43,0	63,0	3,9	79,0	58,1	1,5	149,0	52,0	6,7	196,0	63,7	1,6	155,0	43,9	4,9	155,0	38,4	4,2	189,0	39,3	5,2	135,0	38,9	3,4	155,0						
LCZ G	37,5	5,9	165,0	41,2	4,3	96,0	63,0	null	null	58,1	2,5	187,0	52,0	3,5	90,0	63,7	3,6	209,0	43,9	4,1	138,0	38,4	5,5	100,0	39,3	5,6	192,0	38,9	3,6	184,0						

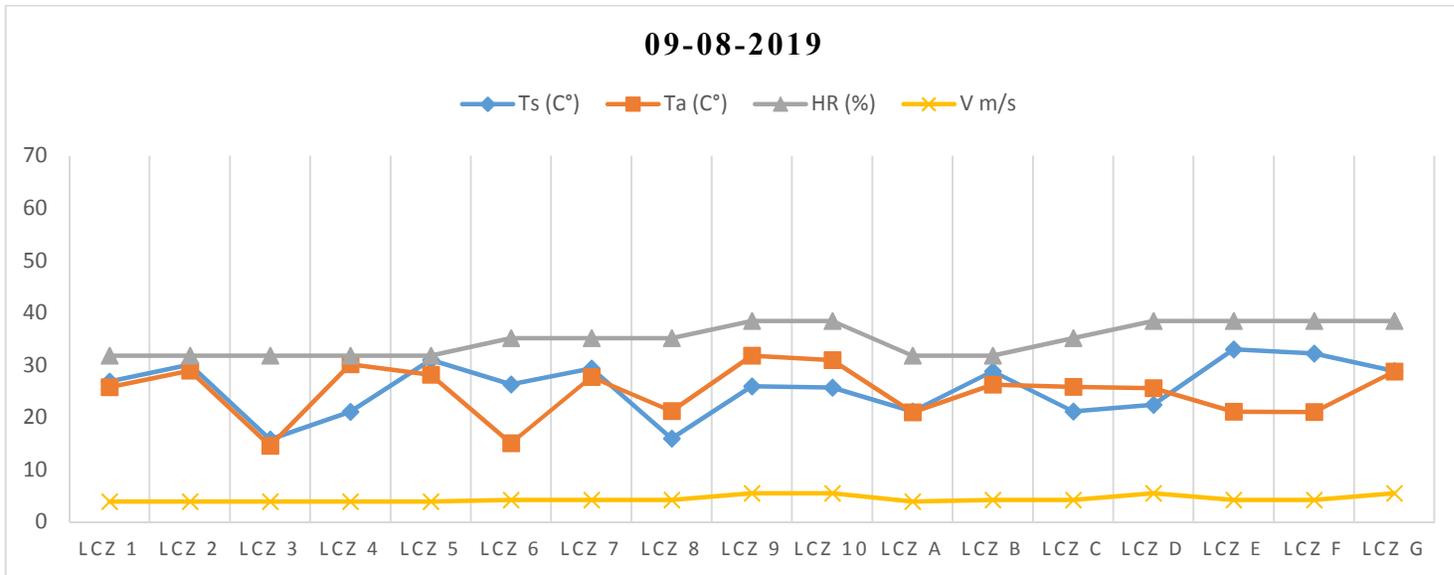
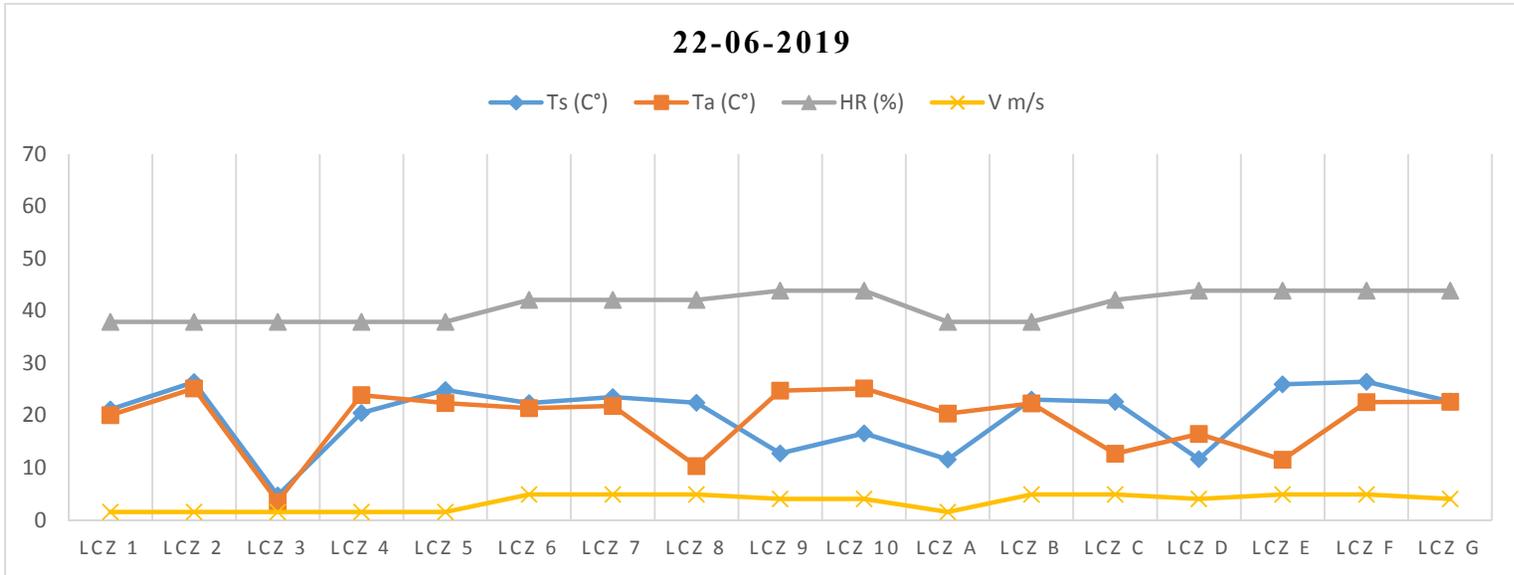
Fuente: Elaborado por la autora

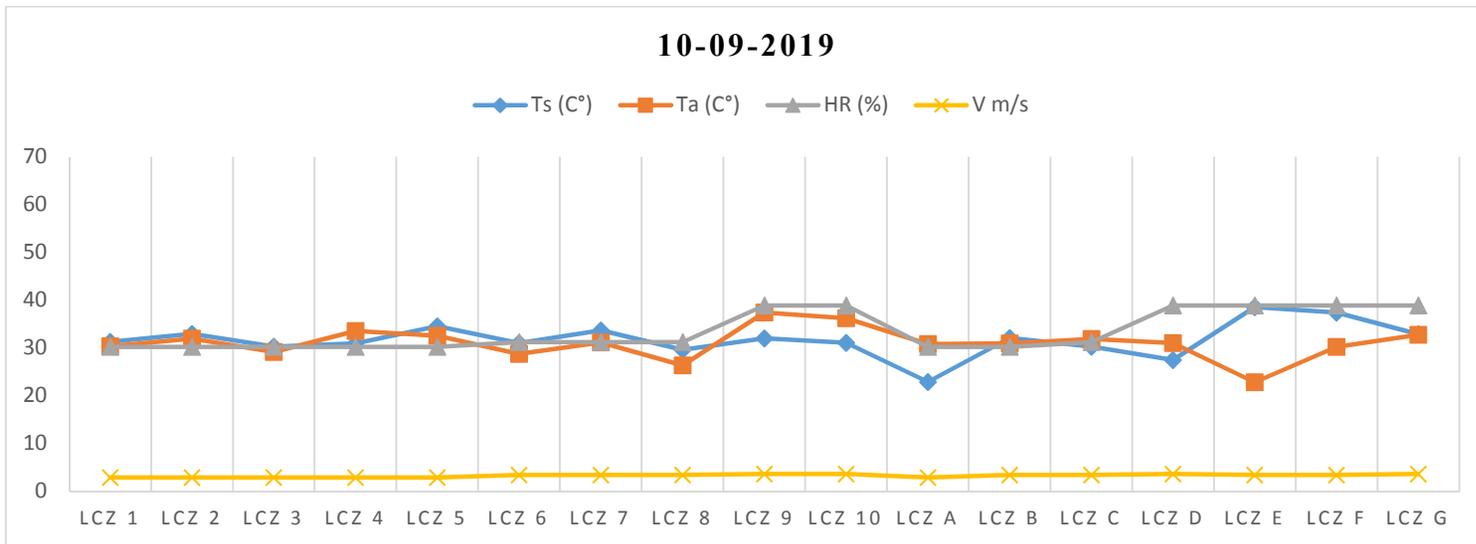
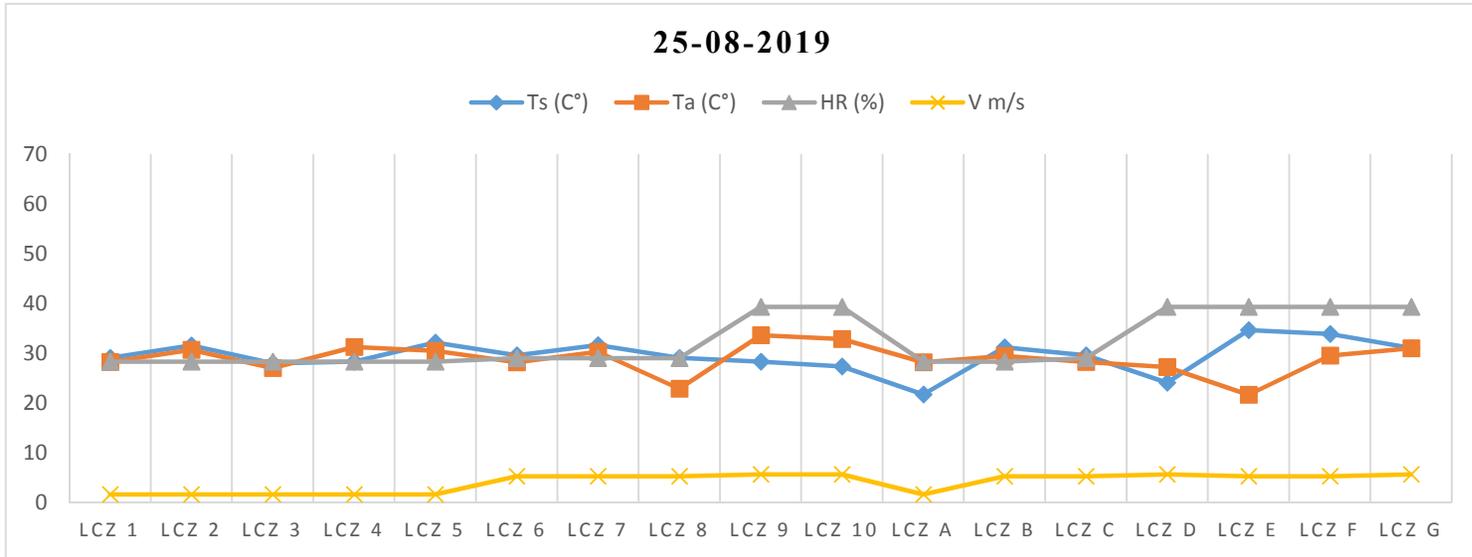
Figura 304: Comportamiento de Ts, Ta, RH, V (m/s) en LCZ











Fuente. Elaborado por la autora

6.22. Análisis de albedo de superficie (albedo de onda corta) en la Ciudad de Quito

El albedo es calculado desde GRASS, i.albedo, el cual calcula desde la banda ancha a partir de la radiancia de la superficie.

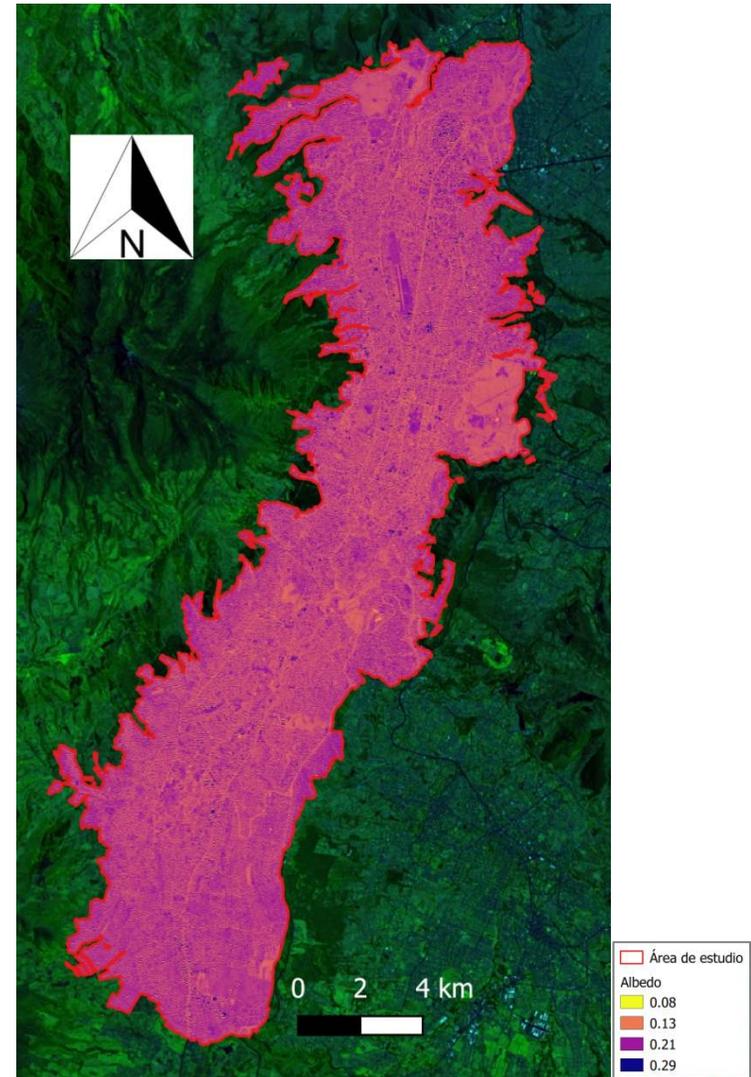
Según GRASS GIS 2003, (RHYDRO INGENIEROS, 2019) i.albedo, calcula el albedo, es decir, la reflectancia de la superficie de onda corta en el rango de 0.3-3 micro metros.

Toma como entrada bandas individuales de radiancia de superficie originadas por sensores satelitales MODIS, AVHRR, Landsat y calcula el albedo.

La ecuación usada para imágenes Landsat 8, es la sumatoria de las bandas de radiancia 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7., se obtiene un mapa ráster de albedo de superficie, en la Ciudad de Quito (Ver figura 305) el rango de albedo se encuentra entre 0.08 y 0.29, siendo el rango de 0 a 1, 0 para superficies negras y 1 para superficies blancas.

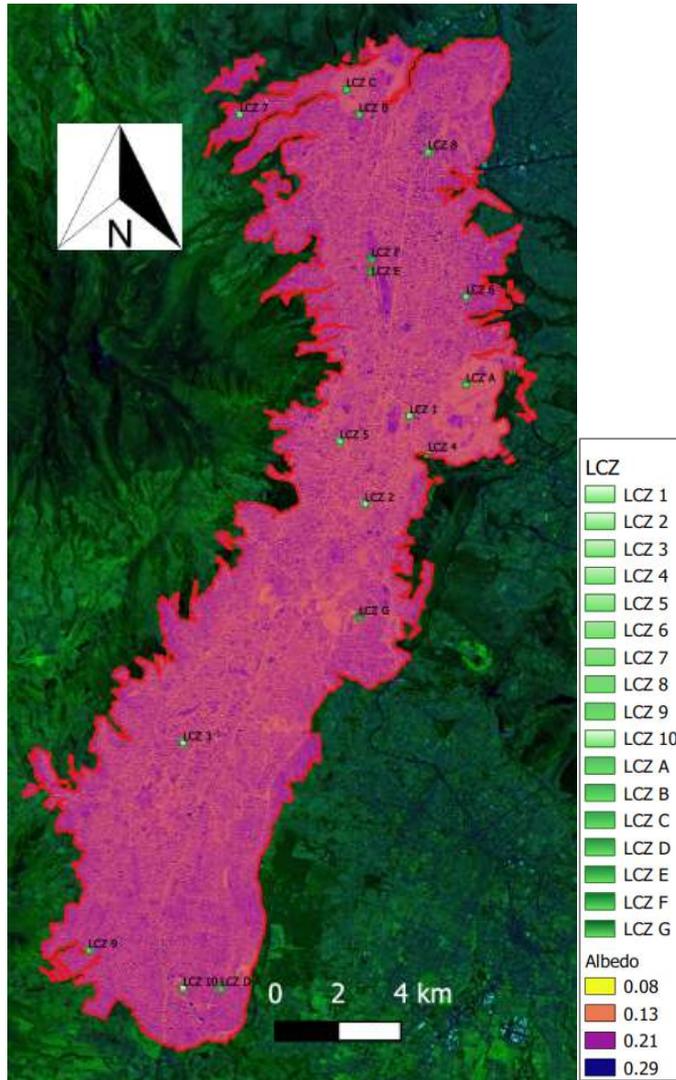
El albedo de superficie menor con 0.08 (Ver figura 306) corresponde al reservorio de agua Puengasí en donde se encuentra LCZ G, el albedo mayor con 0.29 se encuentra en el antiguo aeropuerto de la Ciudad de Quito.

Figura 305: Albedo de la superficie en la Ciudad



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 306: Albedo de la superficie en LCZ de la Ciudad



Fuente: Elaborado por la autora

6.23. Análisis de calor antropogénico en la Ciudad de Quito

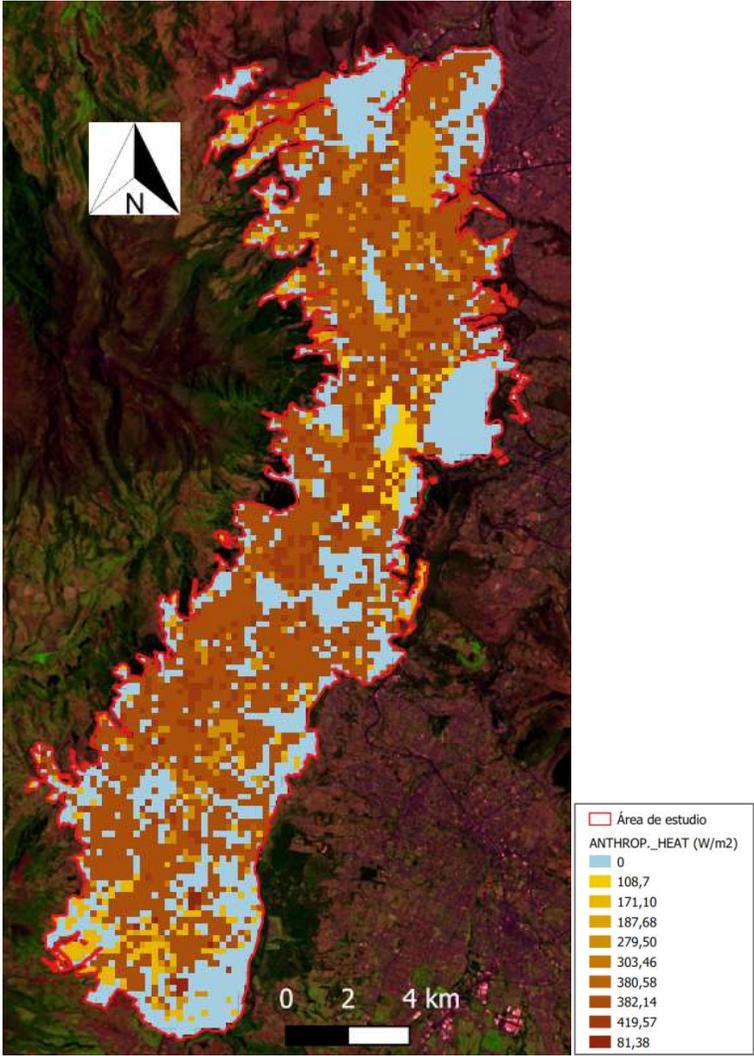
Partiendo de la fórmula indicada en la ecuación 2, página 49, el $Q_f = Q_{fb} + Q_{fv} + Q_{fm}$.

Q_{fv} es calculada desde el consumo total de hidrocarburos en la ciudad de Quito, es decir, la cantidad consumida es convertida a litros y multiplicada por 31.5 MJ (Megajulio). 1 litro de gasolina la misma que genera 31.5 MJ (Megajulio) (ENOTE, 2020).

Q_{fb} es calculada por el consumo promedio de cada persona en la Ciudad de Quito, según en el año 2017 el consumo anual por persona es de 1.157,99 kWh/hab., este valor fue multiplicado por la cantidad de población en las parroquias.

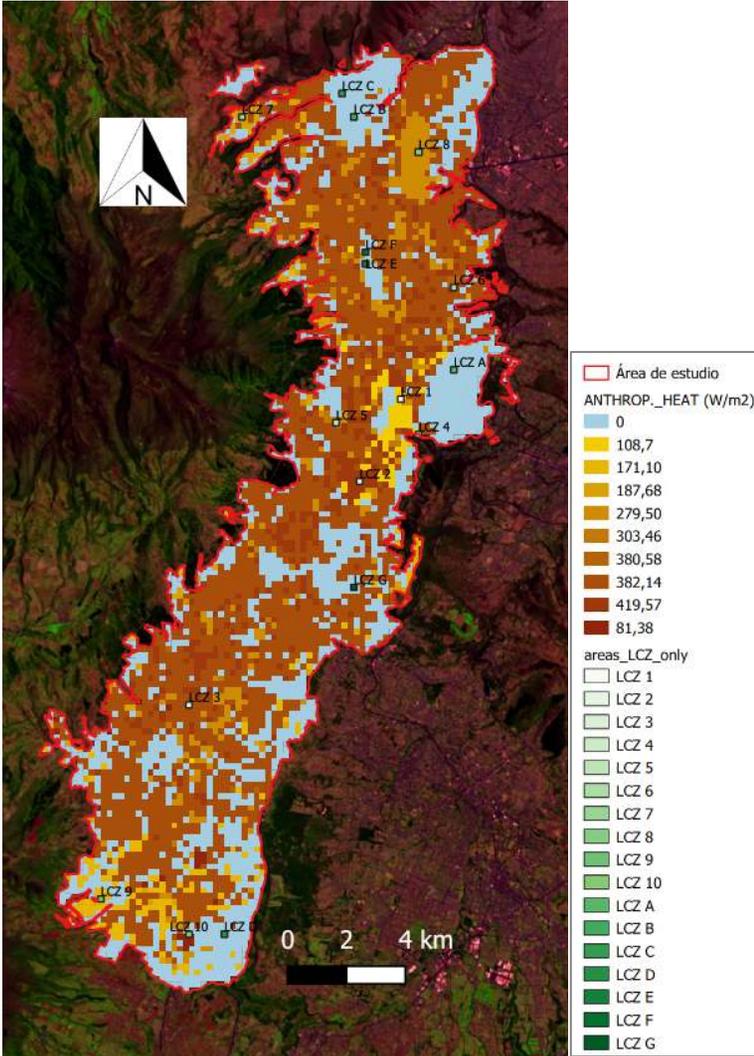
Q_{fm} se calcula en base al calor corporal que generan las personas que es 150 W (watts) más el calor corporal de los animales que es 40 W (watts); (STEWART; KENNEDY, 2015, p.2) indican que por cada 10 personas existe una mascota, en esa relación se aplica el cálculo. Con la sumatoria de los tres flujos de calor, la información es geoprocesada para obtener un mapa ráster de estimación de calor antropogénico (Ver figura 307), en el mapa ráster se inserta las LCZ más representativas (Ver figura 308).

Figura 307: Estimación de Calor antropogénico en la Ciudad



Fuente: Elaborado por la autora

Figura 308: Estimación de Calor antropogénico en LCZ



Fuente: Elaborado por la autora

6.24. Síntesis de los resultados de valoración termal de LCZ en la Ciudad de Quito

Los resultados son procesados en una matriz de valoración termal de LCZ en la ciudad (Ver figura 86).

Tabla 86: Valoración termal de LCZ en la Ciudad de Quito

Local climate zone (LCZ)	Surface albedo %	Anthropogenic heat output (wm2)
LCZ-1	0,06 - 0,15	279
LCZ-2	0,07 - 0,13	419
LCZ-3	0,07 - 0,16	382
LCZ-4	0,08 - 0,15	382
LCZ-5	0,09 -0,13	303
LCZ-6	0,07 - 0,17	382
LCZ-7	0,10 - 0,15	187
LCZ-8	0,08 - 0,16	279
LCZ-9	0,09 - 0,15	171
LCZ-10	0,07 - 0,18	81
LCZ-A	0,09 - 0,10	0
LCZ-B	0,09 - 0,13	0
LCZ-C	0,09 - 0,10	0
LCZ-D	0,11 -0,15	0
LCZ-E	0,10 - 0,14	0
LCZ-F	0,10 - 0,12	0
LCZ-G	0,17 - 0,29	0

Fuente: Elaborado por la autora

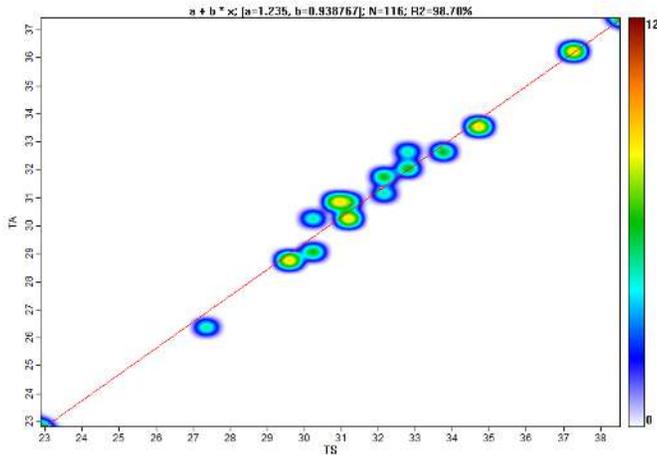
7. Correlación de LCZ, Ts y Ta

Con la clasificación LCZ, los datos de temperatura de la superficie (Ts) y los datos de temperatura del aire (Ta) se realiza la correlación de las tres variables, aplicando la técnica geoestadística. Para la correlación, LCZ que es una variable cualitativa es transformada a cuantitativa, el valor que se coloca a cada una corresponde al porcentaje de construcción que tiene.

Una vez obtenidas tres variables cuantitativas se aplica un diagrama de dispersión llamado en SAGA GIS *Scatterplot*, en donde se relaciona las variables Ts – Ta (Ver figura 309); LCZ – Ts (Ver figura 310); LCZ – Ta (Ver figura 311).

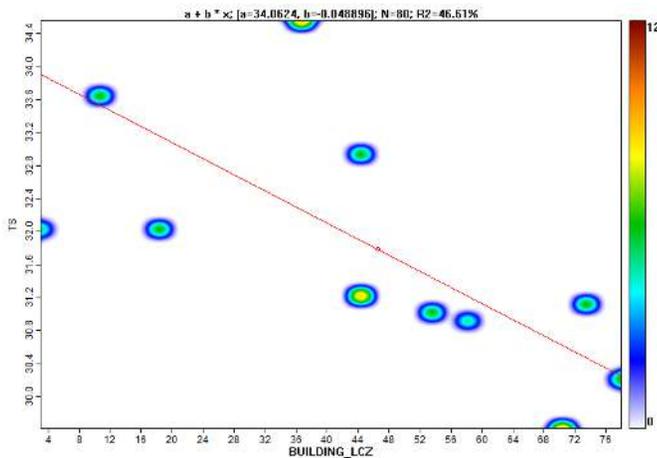
Se obtiene 3 diagramas Ts – Ta tienen una relación lineal fuerte de 98,70%, LCZ – Ts tienen una relación lineal mediana de 46,61% y LCZ – Ta tienen una relación lineal mediana con 46,10%, por lo tanto, la correlación de Pearson puede ser aplicada.

Figura 309: Relación lineal entre Ts y Ta



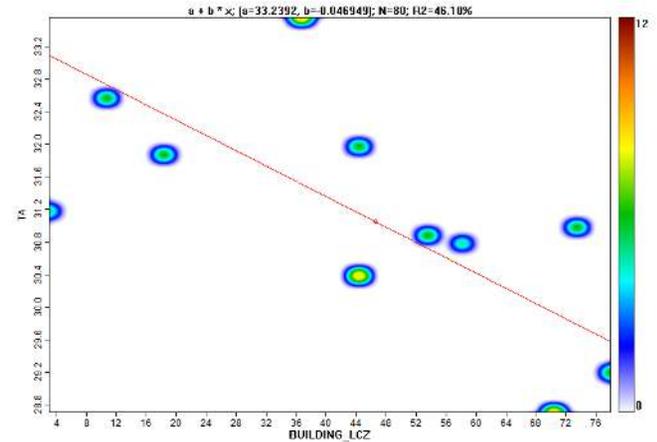
Fuente. Elaborado por la autora en base a SAGA GIS

Figura 310: Relación lineal entre LCZ y Ts



Fuente. Elaborado por la autora en base a SAGA GIS

Figura 311: Relación lineal entre LCZ y Ta



Fuente. Elaborado por la autora en base a SAGA GIS

A través del software QGIS con el *plugin* GRASS, Ráster, r.covar se aplica la correlación de variables, la misma que genera una matriz de covarianza que expresa el grado de similitud de los comportamientos de dos o más variables e indica que fuerte es la correlación entre LCZ – Ts - Ta.

Tabla 87: Correlación de las tres variables de la investigación

	LCZ	TS	TA
LCZ	1	-0,685040	-0,682850
TS	-0,685040	1	0,969160
TA	-0,682850	0,969160	1

Fuente. Elaborado por la autora en base a QGIS, GRASS, i.covar

Los parámetros de correlación de Pearson son:

Fuerte negativa		No existe		Fuerte positiva	
-1	-0,5	0	0,5	1	
Moderada negativa			Moderada positiva		

Por lo tanto, la correlación entre:

LCZ y Ts es moderada negativa

LCZ y Ta es moderada negativa

Ta y Ts es fuerte positiva

8. Consideraciones finales

En esta presente investigación de tesis doctoral, las conclusiones son las contribuciones al estudio del comportamiento del clima urbano en la Ciudad de Quito.

El I capítulo, corresponde a la Ciudad de Quito, los censos poblacionales y evolución de la mancha urbana desde el año 1760 al año 2015, corrobora la relación entre la urbanización y

el crecimiento poblacional en la Ciudad de Quito; además el cálculo de NDVI en el año 1977 y 2019 evidencia la disminución de la vegetación en la ciudad y por ende la discusión de la evapotranspiración que es otro factor en la formación de las islas de calor.

El II capítulo, Forma urbana y *Local Climate Zone (LCZ)*, es el más extenso, al revisar la teoría varios autores concuerdan que el clima urbano es indispensable en el análisis urbano de las ciudades. Además que el uso de la herramienta GIS y la técnica de la teledetección permite el manejo de los datos de una forma eficiente en espacio-tiempo.

Para aplicar la clasificación LCZ es importante definir el tamaño del grid lo cual posteriormente será el tamaño del pixel quien a su vez es un prototipo, por lo tanto para definir el tamaño se lo hace en base a la dimensión más predominante de las manzanas, siempre y cuando en su interior existan los parámetros de valoración de geometría urbana, cobertura de superficie y valoración termal.

En la Ciudad de Quito, predomina LCZ 3, este prototipo ocupa el 46% de la superficie de la ciudad y en este prototipo tiene el 78% de cobertura de superficie ocupada por edificaciones y un

8% de superficie permeable, lo cual se relaciona con la carencia de vegetación baja y arborización en la ciudad; por consiguiente el 46% de la Ciudad de Quito presenta escasez en la evapotranspiración aportando de esta manera a la formación de la isla de calor urbano.

La presencia del prototipo LCZ B, que es árboles dispersos, tiene el 18% de en la Ciudad de Quito, el cual está concentrado en la red de parques metropolitanos, si bien es cierto regula el microclima urbano, más lo hace en su entorno inmediato, al contrario de la arborización urbana que se integra en los espacios públicos (parques, aceras, parterre, etc.) y mantiene el balance de energía urbana.

El tercer prototipo con mayor presencia es LCZ D, tiene 9,80% en la ciudad, corresponde a vegetación baja, esto es beneficioso ya que contribuye en el enfriamiento y evapotranspiración, además permite la circulación de los vientos al tener una rugosidad de 0,25 cm.

La clasificación LCZ 2, tiene 7,45% de presencia en la ciudad y el porcentaje de suelo permeable es del 7%, presenta los mismos problemas que en LCZ 3, carencia de vegetación baja y

arborización urbana, provocando una baja evapotranspiración y aportando a ICU.

LCZ 8, es alargado de baja altura, tiene el 6,15% de área en la ciudad, siendo uno de los prototipos que contribuyen a la formación de ICU por la gran presencia de suelo impermeable y el uso de materiales de construcción como el acero, cemento, pavimento los cuales tienen poca reflectancia (albedo), mayor absorción y almacenamiento del calor.

El prototipo LCZ G que corresponde a la presencia de agua, es casi nula y tiene el 0,02% de presencia en la ciudad, siendo los cuerpos de agua elementos que contribuyen en el enfriamiento por evaporación, en la Ciudad de Quito es inexistente por ende el agua no aporta en la regulación del microclima urbano.

Siendo predominante LCZ 3 en la Ciudad de Quito, quien ocupa cerca del 50% del área de la ciudad y presenta una gran carencia de vegetación y un porcentaje bajo de suelo permeable, cuerpos de agua nulos, es LCZ 3 quien más contribuye en el cambio del microclima urbano reflejándose en la presencia de ICU.

En el III capítulo que corresponde a Clima urbano, se analizan dos factores temperatura de la superficie, temperatura del aire, albedo (onda corta) y calor antropogénico.

Una vez obtenida la temperatura de la superficie en la Ciudad de Quito los valores indican que la más alta se encuentra en el antiguo aeropuerto de la ciudad y que corresponde a la clasificación LCZ E, el mismo que presenta el 83 % de cobertura de asfalto siendo superficie impermeable, la temperatura de superficie más baja se encuentra en el Parque Metropolitano de la ciudad con el 0% de suelo impermeable, lo que indica que la temperatura de la superficie está relacionada con la cantidad de superficie de construcción y material de construcción.

De acuerdo con los datos obtenidos, la temperatura del aire más alta está en LCZ 9 ubicada al sur de la Ciudad en los barrios Héroes de Paquisha y Guamaní, este prototipo tiene el 20% de superficie impermeable; la temperatura del aire más baja es en LCZ E que corresponde al antiguo aeropuerto de la ciudad.

Se observa que LCZ E tiene la temperatura superficial más alta y es también la que presenta la temperatura del aire más baja, esto es debido a que el antiguo aeropuerto de la Ciudad de Quito no tiene en un diámetro de 1 km edificaciones, lo cual permite la

circulación del viento, por lo tanto, la temperatura del aire desciende rápidamente.

El mismo comportamiento tiene LCZ 5 es el tercer prototipo con mayor temperatura de superficie y presenta temperatura del aire menor, LCZ 5 tiene el 20% de superficie impermeable.

En el cálculo de albedo el antiguo aeropuerto de la ciudad es el que tiene un albedo del 0.28 siendo una superficie de asfalto y el albedo más bajo se encuentra en el reservorio de Puengasí con 0.08 que corresponde a agua.

La estimación de calor antropogénico en donde se observa que la mayor concentración de calor antropogénico se encuentra en LCZ 2 con 479 w/m², LCZ 3 con 382 w/m² y LCZ 1 con 279 w/m²; los prototipos LCZ A – B no presentan calor antropogénico porque no existen actividades humanas sobre ellos.

Las estadísticas para obtener la correlación de las tres variables, obteniendo como resultados que la geometría urbana (LCZ) y T_s tienen una correlación moderada negativa, geometría urbana (LCZ) y T_a tienen una correlación moderada negativa y T_s y T_a

muestran que su correlación es fuerte positiva; por lo tanto, la correlación existe entre las variables propuestas.

9. Sugerencias

En el proceso de esta investigación se encontraron varios parámetros que sirven de insumo para realizar futuros estudios de climatología urbana, como es la relación de la urbanización con la ET (evapotranspiración), NDBI (Índice de Diferencia Normalizada Edificada, NDWI (Índice diferencial de agua normalizado), UI (Índice Urbano), la medición de la isla de calor urbano a través del balance de energía urbano.

10. Referencias Bibliográficas

ALMANZA, Rafael. DICCIONARIO TÉCNICO CORREGIDO Y AUMENTADO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN ENERGÍA SOLAR. **Ingeniería de la energía solar III**, [s. l.], 2009. Disponible em: <https://anes.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/DiccionarioSolar_31_03_2016.pdf>

ANDALUCÍA, Junta De. **Factores que afectan a los niveles**

de radiación UV. 2014. Disponible em: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.04dc44281e5d53cf8ca78ca731525ea0/?vgnextoid=42aff1ad7eb56010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=de7705bfdc979310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextfmt=rediam&lr=lang_es>.

ANITA GRASER AKA UNDERDARK. **3D viz with QGIS & three.js**. 2014. Disponible em: <<https://anitagraser.com/2014/03/15/3d-viz-with-qgis-three-js/>>.

ASTROMET. Estación meteorológica WIFI PRO - VENTUS. [s. l.], 2014. Disponible em: <<http://www.astromet.es/Estacion-meteorologica-WIFI-PRO-LOW-COST>>

BANCO MUNDIAL. **Población urbana**. 2019. Disponible em: <<https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL?view=chart>>.

BAUMULLER, Juergen. A summary of key methodologies. **The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning**, New York, 2015.

BUYADI, Siti Nor Afzan; MOHD, Wan Mohd Naim Wan; MISNI, Alamah. Green Spaces Growth Impact on the Urban Microclimate. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s. l.], v. 105, p. 547–557, 2013. Disponible em:

<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042813044339>>

CASTELLS, Manuel. **LA ERA DE LA INFORMACION : ECONOMIA, SOCIEDAD Y CULTURA. LA SOCIEDAD RED**. Madrid: Alianza Editora, 2005.

CHAO REN, EDWARD YAN-YUNG NGA, Lutz Katzschnerb. Urban climatic map studies: a review. **International Journal of Climatology**, [s. l.], 2010.

Disponible em:

<<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.2237>>

CHONG, Zhun Min Adrian et al. Predicting the envelope performance of commercial office buildings in Singapore. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 66, p. 66–76, 2013.

Disponible em:

<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778813003964>>

CHOU, S. .. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**. [s. l.], v. 3, p. 438–454, 2014. a.

CHOU, S. .. et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**. [s. l.], v. 3, p. 512–527, 2014. b.

CIMMERY, Vern. **User Guide for SAGA (version 2.0.5)**. [s.l: s.n.].

COMBER, Alexis et al. Análisis espacial de la precisión de clasificación de imágenes de teledetección. **Teledetección del medio ambiente**, [s. l.], v. 127, 2012.

CONSTRUCTOR, MUNDO. **Centro Histórico, mitos y realidades**. 2018. Disponible em:

<<https://www.mundoconstructor.com.ec/?s=centro+historico>>.

COSEO, Paul; LARSEN, Larissa. How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago. **Landscape and Urban Planning, Volume 125**, [s. l.], 2014.

COTANA, Franco et al. Albedo control as an effective strategy

to tackle Global Warming: A case study. **Applied Energy**, **Volume 30**, [s. 1.], 2014.

DEMPSEY, Nicola et al. **Dimensions of the Sustainable City**. London: Springer, 2010.

DEMUZERE, Matthias et al. Mapping Europe into local climate zones. **PLOS ONE**, [s. 1.], 2019.

DRUCK, S. et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT. European Green City Index. **Munich: Siemens AG**, [s. 1.], p. 51, 2009. Disponível em:

<<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=in+title:European+Green+City+Index#0>>

ENOTE. ¿Cuál es la cantidad de energía liberada \ requerida para la combustión de gasolina de 1 litro ? 2020. Disponível em: <<https://www.enotes.com/homework-help/what-amount-energy-released-required-combustion-1-485649>>.

EPA, United States Environmental Protection Agency. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies**,

2008.

ESPERE, EARTH ENVIRONMENTAL SCIENCE PUBLISHED FOR EVERYBODY ROUND THE. **EL CLIMA DE LAS CIUDADES**. 2011. Disponível em:

<https://web.archive.org/web/20070205181842/http://www.atmosphere.mpg.de:80/enid/2__Clima_Urbano/-__Qu_lo_controla__3x3.html>.

FEYISA, Gudina Legese; DONS, Klaus; MEILBY, Henrik. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. **Landscape and Urban Planning**, **Volume 123**, [s. 1.], 2014.

FREDRIK LINDBERG, TING SUN, SUE GRIMMOND, Yihao Tang. UMEP tutorial. [s. 1.], 2018. Disponível em: <<https://umep-docs.readthedocs.io/en/latest/Introduction.html>>

GISTESTER. **3D vizualization in QGIS with three.js javascript library**. 2015. Disponível em: <<http://gisdevelopptest.blogspot.com/2015/04/3d-vizualization-in-qgis-with-threejs.html>>.

GRASS GIS. **GRASS GIS, i.albedo**. 2003. Disponível em: <<https://grass.osgeo.org/grass76/manuals/i.albedo.html>>.

GRIMMOND, SUE. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. **The Geographical Journal**, [s. l.], v. 173, n. 1, p. 83–88, 2007. Disponible em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x>

HABITAT, ONU. **ONU HABITAT**. 2011. Disponible em: <<https://es.unhabitat.org/temas-urbanos/cambio-climatico/>>.

HAMMERBERG, Kris et al. Implications of employing detailed urban canopy parameters for mesoscale climate modelling: a comparison between WUDAPT and GIS databases over Vienna, Austria. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 38, p. e1241–e1257, 2018.

IMP, Instituto Metropolitano de Patrimonio. **Diagnóstico Centro Histórico de Quito** Quito, 2007. Disponible em: <http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Comisiones del Concejo/Usode Suelo/Centro Histórico/Información IMP/Plan Parcial Centro Histórico/1. Diagnóstico del CHQ.pdf>

INAMHI. **Condiciones actuales del tiempo las últimas 24h**. 2015. Disponible em: <<http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>>.

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. **Censo 1962**, 1962.

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. **Censo 1974**, 1974.

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. **Censo 1982**. 1982.

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. **Censo 1990**, 1990.

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. **Censo 2001**, 2001.

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. **Censo 2010**. 2010. Disponible em: <<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>>.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE. IAUC Newsletter. [s. l.], p. 19, 2004. Disponible em: <<http://www.urban-climate.org/>>

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, AMT FÜR UMWELTSCHUTZ, Abt. Stadtklimatologie. **STADTKLIMA**. 2004. Disponible em: <https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?climate_climate_atlas_1992_9_climatop es>.

LANDSBERG, Helmut E. **The Urban Climate**. New York.

LEE, Sungwon; LEE, Bumsoo. The influence of urban form on GHG emissions in the U.S. household sector. **Energy Policy**, **Volume 68**, [s. l.], 2014.

LINDBERG, Fredrik et al. Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services. **Environmental Modelling & Software**, **Volume 99**, [s. l.], 2018.

LYRA, A. et al. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution *Theor Appl Climatol*. [s. l.], 2017. Disponible em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-017-2067-z>>

MAPPING GIS. **Combinación de bandas en Landsat y Sentinel**. 2012. Disponible em: <<https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>>.

MUNICIPIO DE QUITO. **GEOSERVICIOS**. 2018. Disponible em: <<http://geoportal.quito.gob.ec/smiq/>>.

NASSA. Resumen de la Teledetección de la Cubierta Terrestre. [s. l.], 2017. Disponible em: <https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/water/Brazil_2017/Day3/S5P1-span.pdf>

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **QUARTERLY JOURNAL OF THE ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY**, [s. l.], 1980. Disponible em: <http://www.patarnott.com/pdf/Oake1982_UHI.pdf>

OKE, T. R. **BOUNDARY LAYER CLIMATES**. [s.l: s.n.].

OKE, T. R. Street Design and Urban Canopy Layer Climate. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 11, p. 103–113, 1988.

OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **World Meteorological Organization**, [s. l.], n. 81, p. 51, 2004. Disponible em: <<http://www.geog.ubc.ca/~toke/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>>

OKE, T. R. INSTRUMENTS AND OBSERVING METHODS REPORT No. 81. [s. l.], 2006. Disponible em: <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9286>

OMM. **World Weather Information Service**. 2018.

Disponível em:

<<http://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=291>>.

OMM. **Climate**. 2020. Disponível em:

<<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate>>.

ONDA, PEOPLE ON DATA. **LANDSAT 8**. 2018. Disponível em: <<https://www.onda-dias.eu/cms/es/data/catalogue/landsat-8/>>.

QGIS PROJECT. **QGIS User Guide, Release 3.4**, 2020.

Disponível em: <<https://docs.qgis.org/3.4/pdf/zh-Hant/QGIS-3.4-UserGuide-zh-Hant.pdf>>

RADHI, Hassan; SHARPLES, Stephen. Quantifying the domestic electricity consumption for air-conditioning due to urban heat islands in hot arid regions. **Applied Energy**, **Volume 112**, [s. l.], 2013.

READING, UNIVERSITY OF. **Urban Micromet London Urban Meteorological Observatory**. 2020. Disponível em: <<http://micromet.reading.ac.uk/people/>>.

REN, Chao et al. WUDAPT Global Initiative : Census of Global Cities I Background and Challenges II The Urban Data Gap. **ICUC9, Toulouse, France (20-24 July)**, [s. l.], v. 168, n.

Level 0, p. 19–34, 2015. Disponível em:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877881733918X%0Ahttp://www.wudapt.org/wp-content/uploads/2017/06/WUDAPT-Briefing-Doc_20170630.pdf>

RHYDRO INGENIEROS, Consultores Especializados en Recursos Hídricos. **Albedo de superficie_sensoramiento remoto**. 2019. Disponível em:

<<https://rhydroingenieros.com/blog/2018/11/21/calculo-de-la-evapotranspiracion-con-el-algoritmo-sebal-y-qgis-with-grass>>.

RICHARDS, John A.; JIA, Xiuping. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. New York: Springer, 2006.

ROHLI, ROBERT; VEGA, Anthony. **Climatology**. Segunda ed. Mississauga: Jones & Bartlett Learning, 2012. Disponível em:

<<http://physicalscience.jbpub.com/rohli/climatology/chapterOutlines.aspx>>

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **ARQUITETURA DO**

LUGAR, UMA VISAO BIOCLIMATICA DA SUSTENTABILIDADE EM BRASILIA. [s.l.] : Sao Paulo, 2011.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [s. l.], v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 2012. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>>

STEWART, Iain; KENNEDY, Chris. Estimating anthropogenic heat release from megacities. In: ICUC9 - 9 SYMPOSIUM ON THE URBAN ENVIRONMENT, 20–24 JULY 2015, TOULOUSE, FRANCE TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE HELD JOINTLY WITH THE 12TH 2015, **Anais...** [s.l: s.n.]

TALEB, Dana; ABU-HIJLE, Bassam. Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE. **Renewable Energy, Volume 50**, [s. l.], 2013.

TAPIQUÉN, Efrain Porto. **Shapefiles (*.shp) de Sudamérica.**

[s.d.]. Disponível em: <<https://tapiquen-sig.jimdofree.com/descargas-gratuitas/sudamérica/>>.

THE CONVERSATION. **Building cool cities for a hot future.** 2010. Disponível em: <<https://theconversation.com/building-cool-cities-for-a-hot-future-57489>>.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Land Use.** 2007. Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=45>.

UGUR, Avdan; JOVANOVSKA, Gordana. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. [s. l.], 2016.

UMEP. **Urban Multi-scale Environmental Predictor – getting started.** 2016. Disponível em: <http://www.met.reading.ac.uk/umep/docs/UMEP_get_started.pdf>.

UMEP. **UMEP_manual.** 2018. Disponível em: <[https://umep-docs.readthedocs.io/en/latest/pre-processor/Urban Geometry Sky View Factor Calculator.html](https://umep-docs.readthedocs.io/en/latest/pre-processor/Urban%20Geometry%20Sky%20View%20Factor%20Calculator.html)>.

UNIVERSIDAD DE MURCIA. **Clasificaciones climáticas.**

La componente zonal de los climas. 2000a. Disponible em:
<<https://www.um.es/geograf/clima/tema09.pdf>>.

UNIVERSIDAD DE MURCIA. **Fundamentos de la teledetección.** 2000b. Disponible em:

<<https://www.um.es/geograf/sig/teledet/fundamento.html>>.

USGS, U. S. Geological Survey. **USGS.** 2018a.

USGS, U. S. Geological Survey. **Full Display of**

LC08_L1TP_010060_20170920_20171012_01_T1. 2018b.

Disponible em:

<<https://earthexplorer.usgs.gov/metadata/12864/LC80100602017263LGN00/>>.

VIANNA, Elen Oliveira. **O CAMPO TÉRMICO URBANO – Ilhas de Calor em Brasília DF.** 2018. Universidade de Brasília, [s. l.], 2018.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment** **86**, [s. l.], 2002.

WANG, Yupeng; AKBARI, Hashem. The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal.

Sustainable Cities and Society, Volume 27, [s. l.], 2016.

WONG, Man Sing et al. A simple method for designation of urban ventilation corridors and its application to urban heat island analysis. **Building and Environment** **45**, [s. l.], 2010.

ZAMBRANO, Carolina et al. Quito's Climate Change Strategy: A Response to Climate Change in the Metropolitan District of Quito, Ecuador. **Building Resilience to Climate Change in Asian Cities**, [s. l.], v. 1, p. 515–529, 2011.

ZHOU, Xilin et al. Mapping Local Climate Zones for Japanese Ordinance-designated Cities based on urban morphology detection: A case study of Sendai (Extended Abstract for ICUC10). In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE/ 14TH SYMPOSIUM ON THE URBAN ENVIRONMENT 2018, **Anais...** [s.l: s.n.] Disponible em:
<<https://ams.confex.com/ams/ICUC10/meetingapp.cgi/Paper/342883>>

ZONE GIS. **Conociendo la herramienta “Densidad de Kernel”.** 2017. Disponible em: <<https://zonegis.es/aplicando-la-herramienta-densidad-de-kernel-en-capas-de-arbolado-con-arccgis/>>.

Anexos

ANEXO 1 - Tabla 88: Imágenes satelitales Landsat 8 seleccionadas para la investigación

Cantidad	ID -Imagen satelital Landsat 8	Fecha	Selección
1	LC08_L1TP_010060_20180907_20180912_01_T1	07/09/18	Rechazada
2	LC08_L1GT_118184_20180912_20180927_01_T2	12/09/18	Rechazada
3	LC08_L1TP_010060_20180923_20180929_01_T1	23/09/18	Aceptada
4	LC08_L1GT_010060_20181009_20181029_01_T2	09/10/18	Rechazada
5	LC08_L1TP_010060_20181025_20181114_01_T1	25/10/18	Rechazada
6	LC08_L1TP_010060_20181110_20181127_01_T1	10/11/18	Rechazada
7	LC08_L1GT_010060_20181126_20181210_01_T2	26/11/18	Rechazada
8	LC08_L1TP_010060_20181212_20181226_01_T1	12/12/18	Rechazada
9	LC08_L1GT_118184_20181217_20181227_01_T2	17/12/18	Rechazada
10	LC08_L1TP_010060_20181228_20190129_01_T1	28/12/18	Aceptada
11	LC08_L1GT_010060_20190113_20190131_01_T2	13/01/19	Rechazada
12	LC08_L1TP_010060_20190129_20190206_01_T1	29/01/19	Aceptada
13	LC08_L1GT_010060_20190214_20190222_01_T2	14/02/19	Rechazada
14	LC08_L1GT_118184_20190219_20190222_01_T2	19/02/19	Rechazada
15	LC08_L1TP_010060_20190302_20190309_01_T1	02/03/19	Rechazada
16	LC08_L1GT_118184_20190307_20190324_01_T2	07/03/19	Rechazada
17	LC08_L1TP_010060_20190318_20190325_01_T1	18/03/19	Aceptada
18	LC08_L1GT_118184_20190323_20190403_01_T2	23/03/19	Rechazada
19	LC08_L1GT_010060_20190403_20190421_01_T2	03/03/19	Rechazada
20	LC08_L1GT_118184_20190408_20190422_01_T2	08/03/19	Rechazada
21	LC08_L1GT_010060_20190419_20190423_01_T2	19/03/19	Rechazada
22	LC08_L1GT_118184_20190424_20190508_01_T2	24/04/19	Rechazada
23	LC08_L1TP_010060_20190505_20190520_01_T1	05/05/19	Aceptada
24	LC08_L1GT_118184_20190510_20190521_01_T2	10/05/19	Rechazada

25	LC08_L1TP_010060_20190521_20190604_01_T1	21/05/19	Aceptada
26	LC08_L1GT_118184_20190526_20190605_01_T2	26/05/19	Rechazada
27	LC08_L1GT_010060_20190606_20190619_01_T2	06/06/19	Rechazada
28	LC08_L1GT_118184_20190611_20190619_01_T2	11/06/19	Rechazada
29	LC08_L1TP_010060_20190622_20190704_01_T1	22/06/19	Aceptada
30	LC08_L1GT_118184_20190627_20190705_01_T2	27/06/19	Rechazada
31	LC08_L1GT_010060_20190708_20190719_01_T2	08/07/19	Rechazada
32	LC08_L1GT_118184_20190713_20190719_01_T2	13/07/19	Rechazada
33	LC08_L1GT_010060_20190724_20190801_01_T2	24/07/19	Rechazada
34	LC08_L1GT_118184_20190729_20190801_01_T2	29/07/19	Rechazada
35	LC08_L1TP_010060_20190809_20190820_01_T1	09/08/19	Aceptada
36	LC08_L1GT_118184_20190814_20190820_01_T2	14/08/19	Rechazada
37	LC08_L1TP_010060_20190825_20190903_01_T1	25/08/19	Aceptada
38	LC08_L1GT_118184_20190830_20190903_01_T2	30/08/19	Rechazada
39	LC08_L1TP_010060_20190910_20190917_01_T1	10/09/19	Aceptada
40	LC08_L1GT_118184_20190915_20190925_01_T2	15/09/19	Rechazada