

Análisis del microclima y confort urbano para el espacio público en los parques del área metropolitana de Bucaramanga

Ximena Amaya Guio

Trabajo de grado para optar el título de Magister en Arquitectura

Director

Arq. Sergio Alberto Tapias Uribe

Magister Arquitectura y Urbanismo Bioclimático

Codirector

Arq. Fabio Lizcano Prada

Magister Ordenamiento Territorial

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División Arquitectura e Ingenierías

Maestría en Arquitectura

2025

Dedicatoria

A mis hermanas María Camila Amaya y Adriana Sofía Amaya, quienes con generosidad y dedicación facilitaron todo lo que estuvo a su alcance para que pudiera culminar mis estudios. A mis padres, por su apoyo constante, por creer en mí y por brindarme ánimo en cada decisión que he tomado a lo largo de mi formación profesional.

A todos ellos, mi más profundo agradecimiento.

Agradecimientos

A mis profesores de la maestría, por su dedicación y por los conocimientos que contribuyeron a mi formación académica.

Al arquitecto Sergio Tapias Uribe, director de proyecto y tutor durante los últimos diez años, por su constante guía, disposición y acompañamiento, fundamentales para mi crecimiento profesional.

Al arquitecto Fabio Andrés Lizcano, por su apoyo durante mis estudios y por su labor como codirector en este proyecto.

A Torres y Zárate Arquitectura, representados por el arquitecto Luis Francisco Torres Puyana y la arquitecta Silvia Zárate Caycedo, quienes me brindaron flexibilidad y tiempo laboral para dedicarme a mis estudios.

Finalmente, a la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, por facilitarme los datos climáticos necesarios para el desarrollo de los análisis de este proyecto.

Contenido

Introducción	21
1. Análisis del microclima y confort urbano para el espacio en Bucaramanga	23
1.1 Planteamiento del problema	23
1.2 Justificación.....	24
1.3 Objetivos	26
1.3.1 Objetivo general	26
1.3.2 Objetivos específicos	26
2. Marco teórico conceptual.....	26
2.1 Clima y microclima	27
2.1.1 Clima cálido - húmedo	29
2.2 Microclima	29
2.3 Cambio climático.....	31
2.4 Salud urbana	32
2.5 Espacio Publico	33
2.5.1 Parque urbanos	34
2.6 Isla de calor urbana.....	35
3. Estado del Arte.....	37
3.1 Confort térmico	37
3.2 Índices de confort térmico	40
3.2.1 Temperatura equivalente Fisiológica – Physiological Equivalent Temperature (PET) 41	
3.2.2 Índice de Valoración Medio – Predicted Mean Vote (PMV).....	42
3.2.3 Índice de Clima Térmico Universal – Universal Thermal Climate Index (UTCI).....	42

3.2.4 Temperatura Efectiva Exterior – Outdoors Effective Temperature (OUT_SET)	42
4. Método	44
5. Diagnostico casos de estudio	46
5.1 Análisis del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	48
5.2 Datos climáticos del Área Metropolitana de Bucaramanga	50
5.2.1 Temperatura del aire.....	53
5.2.2 Humedad relativa.....	58
5.2.3 Velocidad del viento.....	62
5.2.4 Radiación solar	67
5.3 Criterios de selección de los casos de estudio.....	72
5.4 Parque Santander - Bucaramanga	74
5.4.1 Análisis del estado actual	75
5.5 Parque Principal – Floridablanca	76
5.5.1 Análisis del estado actual	77
5.6 Parque Principal – Girón.....	79
5.6.1 Análisis del estado actual	80
6. Caracterización de los Parques	82
6.1 Análisis de materiales	82
6.1.1 Parque Santander – Bucaramanga	82
6.1.2 Parque Principal Floridablanca.....	83
6.1.3 Parque Principal Girón	85
6.2 Análisis de Zonas Verdes – Arborización.....	87
6.2.1 Parque Santander – Bucaramanga	87

6.3.2 Parque Principal Floridablanca.....	88
6.3.2 Parque Principal Girón	91
6.3 Conclusiones	93
7. Estudio Microclima Urbano – Simulación Computacional	95
7.1 Modelos y Herramientas de simulación	95
7.1.1 Limitaciones de herramientas de simulación.....	96
7.2 Herramienta de cálculo ENVI-met v5.8.....	97
7.2.1 Protocolo de simulación	98
7.2.2 Configuración Inicial – Sede Central	99
7.2.3 Configuración Inicial – Administrar Proyectos y Espacios de Trabajo	100
7.2.4 Datos de entrada	102
7.2.4 Datos de salida.....	107
7.3 Análisis de modelos de simulación	107
7.3.1 Cálculo de parámetros ambientales - Parque Santander – Bucaramanga.....	109
7.3.1.1 Simulación Temperatura.....	109
7.3.1.2 Simulación Humedad Relativa.	115
7.3.1.3 Simulación Radiación Reflejada.	118
7.3.2 Cálculo de índice de evaluación de confort - Parque Santander – Bucaramanga	121
7.3.2.1 Simulación Índice UTCI.....	121
7.3.3 Cálculo de parámetros ambientales - Parque Floridablanca.....	124
7.3.3.1 Simulación Temperatura.....	124
7.3.3.2 Simulación Humedad Relativa.	135
7.3.3.3 Simulación Radiación Reflejada.	141

7.3.4 Cálculo de índice de evaluación de confort - Parque Floridablanca	147
7.3.4.1 Simulación Índice UTCI.....	147
7.3.5 Cálculo de parámetros ambientales - Parque Girón	153
7.3.5.1 Simulación Temperatura.....	153
7.3.5.2 Simulación Humedad Relativa.....	165
7.3.5.3 Simulación Radiación Reflejada.	171
7.3.6 Cálculo de índice de evaluación de confort - Parque Girón.....	177
7.3.6.1 Simulación Índice UTCI.....	177
7.4 Conclusiones	183
8. Estrategias Urbano – Ambientales.....	189
8.1 Criterios de diseño urbano bioclimático en espacios libres	189
8.1.1 Espacios Libres y Zonas Verdes.....	190
8.1.2 Uso de Vegetación.....	191
8.1.3 Selección de materiales y pavimentos urbanos	193
8.2 Modelo de evaluación de criterios de diseño urbano bioclimáticos.....	194
8.2.1 Cálculo de parámetros ambientales	196
8.2.1.1 Simulación Temperatura del Aire.....	196
8.2.1.2 Simulación Temperatura Radiante	200
8.2.1.3 Simulación Humedad Relativa.....	204
8.2.1.4 Simulación Radiación Reflejada.	208
8.2.2 Cálculo de evaluación del confort térmico.....	212
8.2.2.1 Simulación Índice UTCI.....	212
8.3 Análisis comparativo de resultados.....	217

9. Conclusiones	224
Referencias.....	228
Apéndices.....	233

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Clasificación Índices de Confort</i>	41
Tabla 2. <i>Índices Racionales</i>	43
Tabla 3. <i>Estaciones Climatológicas CDMB</i>	52
Tabla 4. <i>Lista de árboles - Parque Santander</i>	87
Tabla 5. <i>Lista de árboles - Parque Principal de Floridablanca Anterior</i>	88
Tabla 6. <i>Lista de árboles - Parque Principal de Floridablanca Actual</i>	90
Tabla 7. <i>Lista de árboles - Parque Principal de Girón Anterior</i>	91
Tabla 8. <i>Lista de árboles - Parque Principal de Girón Actual</i>	92
Tabla 9. <i>Datos Climáticos Calibrados</i>	108
Tabla 10. <i>Simulación Temperatura Aire 9:00am</i>	196
Tabla 11. <i>Simulación Temperatura Aire 12:00pm</i>	197
Tabla 12. <i>Simulación Temperatura Aire 3:00pm</i>	199
Tabla 13. <i>Simulación Temperatura Radiante 9:00am</i>	200
Tabla 14. <i>Simulación Temperatura Radiante 12:00pm</i>	201
Tabla 15. <i>Simulación Temperatura Radiante 3:00pm</i>	202
Tabla 16. <i>Simulación Humedad Relativa 9:00am</i>	204
Tabla 17. <i>Simulación Humedad Relativa 12:00pm</i>	205
Tabla 18. <i>Simulación Humedad Relativa 3:00pm</i>	206
Tabla 19. <i>Simulación Radiación Reflejada 9:00am</i>	208
Tabla 20. <i>Simulación Radiación Reflejada 12:00pm</i>	209
Tabla 21. <i>Simulación Radiación Reflejada 3:00pm</i>	210
Tabla 22. <i>Simulación Índice UTCI 9:00am</i>	212

Tabla 23. <i>Simulación Índice UTCI 12:00pm</i>	213
Tabla 24. <i>Simulación Índice UTCI 3:00pm</i>	215
Tabla 25. <i>Síntesis cuantitativa de promedio desempeño térmico</i>	222
Tabla 26. <i>Matriz de estrategias aplicables</i>	223

Lista de figuras

Figura 1. <i>Fenómeno de intercambio de calor – Cúpula Urbana – Urban Canopy Layer (UCL).</i>	30
Figura 2. <i>Metodología de trabajo.</i>	44
Figura 3. <i>Área Metropolitana de Bucaramanga.</i>	49
Figura 4. <i>Localización Parques de estudio.</i>	49
Figura 5. <i>Promedio Temperatura del Aire Máxima 2020-2024– Estación Acapulco.</i>	53
Figura 6. <i>Promedio Temperatura del Aire Máxima 2020-2024 – Estación Club Campestre.</i>	54
Figura 7. <i>Promedio Temperatura del Aire Máxima 2020-2024– Estación CDMB.</i>	55
Figura 8. <i>Resumen Promedio - Temperatura del Aire Máxima.</i>	56
Figura 9. <i>Resumen Promedio - Temperatura del Aire Máxima.</i>	57
Figura 10. <i>Promedio Humedad Relativa 2020-2024 – Estación Acapulco.</i>	58
Figura 11. <i>Promedio Humedad Relativa 2020-2024– Estación Club Campestre.</i>	59
Figura 12. <i>Promedio Humedad Relativa 2020-2024– Estación CDMB.</i>	60
Figura 13. <i>Resumen Promedio - Humedad Relativa.</i>	61
Figura 14. <i>Resumen Promedio - Humedad Relativa.</i>	62
Figura 15. <i>Promedio Velocidad del Viento 2024 – Estación Acapulco.</i>	63
Figura 16. <i>Promedio Velocidad del Viento 2024– Estación Club Campestrel.</i>	64
Figura 17. <i>Promedio Velocidad del Viento 2024– Estación CDMB.</i>	65
Figura 18. <i>Resumen Promedio - Velocidad del Viento.</i>	66
Figura 19. <i>Resumen Promedio - Velocidad del Viento.</i>	67
Figura 20. <i>Promedio Radicación Solar 2020-2024 – Estación Acapulco.</i>	68
Figura 21. <i>Promedio Radicación Solar 2020-2024– Estación Club Campestre.</i>	69

Figura 22. <i>Promedio Radicación Solar 2020-2024– Estación CDMB.</i>	69
Figura 23. <i>Resumen Promedio - Radicación Solar.</i>	70
Figura 24. <i>Resumen Promedio - Radicación Solar.</i>	71
Figura 25. <i>Parque Santander.</i>	74
Figura 26. <i>Parque Santander – Planta arquitectónica.</i>	75
Figura 27. <i>Parque Principal Floridablanca.</i>	76
Figura 28. <i>Parque Principal Floridablanca – Planta arquitectónica anterior.</i>	77
Figura 29. <i>Parque Principal Floridablanca – Planta arquitectónica actual.</i>	78
Figura 30. <i>Parque Principal Girón.</i>	79
Figura 31. <i>Parque Principal Girón – Planta arquitectónica anterior</i>	80
Figura 32. <i>Parque Principal Girón – Planta arquitectónica actual.</i>	81
Figura 33. <i>Materiales - Parque Santander.</i>	82
Figura 34. <i>Materiales - Parque Principal Floridablanca Anterior.</i>	83
Figura 35. <i>Materiales - Parque Principal Floridablanca Actual.</i>	84
Figura 36. <i>Materiales - Parque Principal Girón Anterior.</i>	85
Figura 37. <i>Materiales - Parque Principal Girón actual.</i>	86
Figura 38. <i>Arborización - Parque Santander.</i>	88
Figura 39. <i>Zonas Verdes - Parque Principal Floridablanca anterior.</i>	89
Figura 40. <i>Zonas Verdes - Parque Principal Floridablanca actual.</i>	90
Figura 41. <i>Zonas Verdes - Parque Principal Girón Anterior.</i>	91
Figura 42. <i>Zonas Verdes - Parque Principal Girón actual.</i>	92
Figura 43. <i>Modelado a escala climática.</i>	95
Figura 44. <i>Modelo Urbano usado por Envi-met.</i>	97

Figura 45. <i>Procesos físicos y biológicos – Software ENVI-met.</i>	98
Figura 46. <i>Protocolo de modelación.</i>	98
Figura 47. <i>Principales Aplicaciones y Módulos.</i>	99
Figura 48. <i>Menú principal de ENVI-met.</i>	99
Figura 49. <i>Menú principal de ENVI-met – Funciones Principales.</i>	100
Figura 50. <i>Manager Workspace.</i>	100
Figura 51. <i>Pestaña de Espacio de Trabajo y Configuración.</i>	101
Figura 52. <i>Configuración Básica y Avanzada.</i>	103
Figura 53. <i>Configuración meteorológica.</i>	104
Figura 54. <i>Meteorología Básica.</i>	105
Figura 55. <i>Meteorología Avanzada.</i>	106
Figura 56. <i>Simulación Temperatura Aire 9:00am.</i>	109
Figura 57. <i>Simulación Temperatura Aire 12:00pm.</i>	110
Figura 58. <i>Simulación Temperatura Aire 3:00pm.</i>	111
Figura 59. <i>Simulación Temperatura Radiante 9:00am.</i>	112
Figura 60. <i>Simulación Temperatura Radiante 12:00pm.</i>	113
Figura 61. <i>Simulación Temperatura Radiante 3:00pm.</i>	114
Figura 62. <i>Simulación Humedad Relativa 9:00am.</i>	115
Figura 63. <i>Simulación Humedad Relativa 12:00pm.</i>	116
Figura 64. <i>Simulación Humedad Relativa 3:00pm.</i>	117
Figura 65. <i>Simulación Radiación Reflejada 9:00am.</i>	118
Figura 66. <i>Simulación Radiación Reflejada 12:00pm-</i>	119
Figura 67. <i>Simulación Radiación Reflejada 3:00pm.</i>	120

Figura 68. <i>Simulación Índice UTCI 9:00am.</i>	121
Figura 69. <i>Simulación Índice UTCI 12:00pm.</i>	122
Figura 70. <i>Simulación Índice UTCI 3:00pm.</i>	123
Figura 71. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Anterior 9:00am.</i>	124
Figura 72. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Nuevo 9:00am.</i>	125
Figura 73. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Anterior 12:00pm.</i>	126
Figura 74. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Nuevo 12:00pm.</i>	127
Figura 75. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Anterior 3:00pm.</i>	128
Figura 76. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Nuevo 3:00pm.</i>	128
Figura 77. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Anterior 9:00am.</i>	129
Figura 78. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Nuevo 9:00am.</i>	130
Figura 79. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Anterior 12:00pm.</i>	131
Figura 80. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Nuevo 12:00pm.</i>	132
Figura 81. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Anterior 3:00pm.</i>	133
Figura 82. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Nuevo 3:00pm.</i>	134
Figura 83. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Anterior 9:00am.</i>	135
Figura 84. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Nuevo 9:00am.</i>	136
Figura 85. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Anterior 12:00pm.</i>	137
Figura 86. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Nuevo 12:00pm.</i>	138
Figura 87. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Anterior 3:00pm.</i>	139
Figura 88. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Nuevo 3:00pm.</i>	140
Figura 89. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Anterior 9:00am.</i>	141
Figura 90. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Nuevo 9:00am.</i>	142

Figura 91. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Anterior 12:00pm.</i>	143
Figura 92. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Nuevo 12:00pm.</i>	144
Figura 93. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Anterior 3:00pm.</i>	145
Figura 94. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Nuevo 3:00pm.</i>	146
Figura 95. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Anterior 9:00am</i>	147
Figura 96. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Nuevo 9:00am.</i>	148
Figura 97. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Anterior 12:00pm.</i>	149
Figura 98. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Nuevo 12:00pm.</i>	150
Figura 99. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Anterior 3:00pm.</i>	151
Figura 100. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Nuevo 3:00pm.</i>	152
Figura 101. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Anterior 9:00am.</i>	153
Figura 102. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Nuevo 9:00am.</i>	154
Figura 103. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Anterior 12:00pm.</i>	155
Figura 104. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Nuevo 12:00pm.</i>	156
Figura 105. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Anterior 3:00pm.</i>	157
Figura 106. <i>Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Nuevo 3:00pm.</i>	158
Figura 107. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Anterior 9:00am.</i>	159
Figura 108. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Nuevo 9:00am.</i>	160
Figura 109. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Anterior 12:00pm.</i>	161
Figura 110. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Nuevo 12:00pm.</i>	162
Figura 111. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Anterior 3:00pm.</i>	163
Figura 112. <i>Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Nuevo 3:00pm.</i>	164
Figura 113. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Anterior 9:00am.</i>	165

Figura 114. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Nuevo 9:00am.</i>	166
Figura 115. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Anterior 12:00pm.</i>	167
Figura 116. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Nuevo 12:00pm.</i>	168
Figura 117. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Anterior 3:00pm.</i>	169
Figura 118. <i>Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Nuevo 3:00pm.</i>	170
Figura 119. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Anterior 9:00am.</i>	171
Figura 120. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Nuevo 9:00am.</i>	172
Figura 121. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Anterior 12:00pm.</i>	173
Figura 122. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Nuevo 12:00pm.</i>	174
Figura 123. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Anterior 3:00pm.</i>	175
Figura 124. <i>Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Nuevo 3:00pm.</i>	176
Figura 125. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Girón Anterior 9:00am.</i>	177
Figura 126. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Girón Nuevo 9:00am.</i>	178
Figura 127. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Girón Anterior 12:00pm.</i>	179
Figura 128. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Girón Nuevo 12:00pm.</i>	180
Figura 129. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Girón Anterior 3:00pm.</i>	181
Figura 130. <i>Simulación Índice UTCI – Parque Girón Nuevo 3:00pm.</i>	182
Figura 131. <i>Promedio – Temperatura del Aire.</i>	184
Figura 132. <i>Promedio – Temperatura Radiante.</i>	185
Figura 133. <i>Promedio – Humedad Relativa.</i>	185
Figura 134. <i>Promedio – Radiación Reflejada.</i>	186
Figura 135. <i>Promedio – Índice Universal de Confort Térmico (UTCI) .</i>	187
Figura 136. <i>Enfoques de estudios enfotados mitigar ICU.</i>	189

Figura 137. <i>Infraestructura Urbana – Verde y Azul</i>	192
Figura 138. <i>Planta Esquemática Escenarios</i>	195
Figura 139. <i>Resumen Datos Simulación Temperatura del Aire</i>	217
Figura 140. <i>Resumen Datos Temperatura Radiante</i>	218
Figura 141. <i>Resumen Datos Simulación Humedad Relativa</i>	219
Figura 142. <i>Resumen Datos Simulación Radiación Reflejada</i>	220
Figura 143. <i>Datos Simulación Índice UTCI</i>	221

Lista de apéndice

Apéndice A. <i>Datos de temperatura del aire 2020-2024</i>	233
Apéndice B. <i>Datos de humedad relativa 2020-2024</i>	234
Apéndice C. <i>Datos de radiación solar 2020-2024</i>	235
Apéndice D. <i>Datos de velocidad de viento 2024</i>	236

Resumen

El crecimiento urbano acelerado en las ciudades intermedias de América Latina ha intensificado las problemáticas ambientales relacionadas con el confort térmico y la calidad de los espacios públicos. En este contexto, los parques urbanos cumplen un papel fundamental como reguladores microclimáticos y como espacios de encuentro social que aportan a la sostenibilidad y a la calidad de vida urbana. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el confort térmico en parques urbanos de escala local en el área metropolitana de Bucaramanga, a través del análisis climático y microclimática de variables meteorológicas como la temperatura del aire, humedad relativa radiación solar y su integración mediante como con la temperatura radiante, radiación reflejada y el índice Universal de Confort Térmico (UTCI).

Para el desarrollo de este estudio se utilizaron datos horarios provenientes de la Red Hidroclimatológica de la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), durante el periodo de 5 años en estaciones ubicadas en tres municipios dentro del Área Metropolitana de Bucaramanga, analizando los valores máximos de las variables climáticas con el fin de identificar los escenarios térmicos críticos que afectan a los usuarios en los espacios públicos. Adicionalmente se estableció un marco teórico y conceptual que integra enfoques de urbanismo bioclimático, confort térmico exterior y gestión climática urbana.

Por medio del uso del software de simulación dinámica se puede realizar un planteamiento de las condiciones microclimáticas actuales de los casos de estudio y los efectos de la aplicación de las estrategias planteadas; entre los beneficios de las herramientas digitales encontramos que se pueden desarrollar diferentes escenarios y realizar comparaciones para la selección de las estrategias más eficientes.

Palabras clave: confort exterior, microclima, urbanismo bioclimático, simulación urbana

Abstract

The accelerated urban growth in intermediate cities across Latin America has intensified environmental issues related to thermal comfort and the quality of public spaces. In this context, urban parks play a fundamental role as microclimatic regulators and social gathering areas that contribute to sustainability and urban quality of life. This research aims to evaluate thermal comfort in local-scale urban parks within the Metropolitan Area of Bucaramanga through climatic and microclimatic analysis of meteorological variables such as air temperature, relative humidity, and solar radiation, as well as their integration with radiant temperature, reflected radiation, and the Universal Thermal Climate Index (UTCI).

The study utilized hourly data from the Hydroclimatological Network of the Regional Autonomous Corporation for the Defense of the Bucaramanga Plateau (CDMB) over a five-year period, using stations located in three municipalities of the metropolitan area. The analysis focused on identifying critical thermal scenarios that affect users in public spaces by examining maximum values of climatic variables. In addition, a theoretical and conceptual framework was established, integrating approaches from bioclimatic urbanism, outdoor thermal comfort, and urban climate management.

Through the use of dynamic simulation software, it was possible to assess current microclimatic conditions in the case studies and evaluate the effects of proposed design strategies. Among the benefits of these digital tools is the ability to model multiple scenarios and compare outcomes to determine the most efficient strategies for improving urban thermal performance.

Keywords: outdoor comfort, microclimate, bioclimatic urbanism, urban simulation

Introducción

En las últimas décadas, el acelerado procesos de urbanización ha transformado de manera significativa el entorno construido y las dinámicas ambientas en las ciudades intermedias de América Latina. Esta expansión, generalmente caracterizada por una ocupación intensiva del suelo, pérdida de áreas verdes y aumento de superficies impermeables, que han contribuido al deterioro de la calidad ambiental urbana y la intensificación de fenómenos como la isla de calor urbana (ICU), que genera un incremento de las temperaturas en las zonas urbanizadas respecto a las zonas circundantes (Howard, 1818) (Oke, 1987) (Landsberd, 1981). Esta situación impacta directamente en el confort térmico exterior, afectando la salud, el bienestar y el uso de los espacios públicos.

En este contexto, la implementación y mejora de espacios verdes urbanos adquiriendo un rol esencial como infraestructura verde se presenta como una estrategia eficaz para mitigar los efectos adversos del cambio climático. La calidad de vida urbana está estrechamente vinculada con la calidad ambiental y climática de estos espacios, por lo que su diseño debe integrar estrategias de adaptación al cambio climático y criterios de urbanismo bioclimático (Gómez de Perozo, 2012).

En este contexto, el Área Metropolitana de Bucaramanga representa un caso de estudio relevante debido a su dinámica de crecimiento urbano. El AMB cuenta con una red de parques locales que cuentan con una función recreativa y ecológica pero además ofrecen una oportunidad estratégica para implementar soluciones a microescala orientadas a mejorar el confort térmico y mitigar los efectos adversos de la urbanización.

Con el fin de evaluar las condiciones térmicas y de confort en los parques locales del AMB, se realiza un análisis datos climáticos horarios correspondientes al periodo entre 2020-2024.

Considerando variables climáticas como la temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. Para el análisis del comportamiento térmico se aplica el Índice Universal de Confort Térmico (UTCI) como herramienta de evaluación. La selección de este índice se debe a su versatilidad y capacidad de adaptación a diferentes climas, lo que hace más adecuado para estudios en entornos urbanos tropicales.

Finalmente, este estudio busca aportar herramientas técnicas que fortalezcan la planificación y el diseño urbano adaptativo, promoviendo espacios públicos más confortables, resilientes y sostenibles. Al integrar análisis microclimático con principios de urbanismo bioclimáticos, se pretende contribuir a la construcción de ciudades más habitables.

1. Análisis del microclima y confort urbano para el espacio en Bucaramanga

1.1 Planteamiento del problema

El crecimiento urbano acelerado en el Área Metropolitana de Bucaramanga ha generado transformaciones en la estructura urbana y en las condiciones microclimáticas locales. La expansión de áreas construidas, la disminución de zonas verdes y el aumento de superficies impermeables han alterado el balance térmico urbano, propiciando un aumento de las temperaturas y reduciendo la capacidad de regular el clima de forma natural. Estas modificaciones contribuyen a que se intensifique la isla de calor urbana, agravando los impactos ambientales y comprometiendo la calidad de espacio público.

Si bien los parques locales representan un componente clave en la consolidación de infraestructura verde, en muchos casos no han sido diseñados ni gestionados considerando criterios bioclimáticos, lo que evita que estos sean moduladores térmicos en las ciudades. La falta de estudios detallados sobre su comportamiento térmico en condiciones reales dificulta la toma de decisiones efectivas en materia de planificación urbana y adaptación al cambio climático.

En el contexto del AMB, la ausencia de información sobre confort térmico en espacios públicos abiertos representa un vacío, más si se considera que al tener un clima cálido húmedo esta caracterizados por variaciones climáticas diarias significativas. Esto repercute en la habitabilidad de los espacios, afectando la salud y el bienestar térmico y la apropiación social por parte de la población.

Por lo tanto, es necesario evaluar el comportamiento térmico de los parques de escala local a través de indicadores, como el UTCI que permite analizar de manera integral la interacción entre variables climáticas y percepción térmica humana. La comprensión de estos patrones permitirá

identificar las condiciones críticas, proponer estrategia de adaptación y mitigación fortaleciendo la planificación urbana basada en criterios ambientales.

1.2 Justificación

Según datos del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (UN DESA), en 2023 aproximadamente el 57% de la población mundial vivía en zonas urbanas, y se proyecta que esta cifra aumente al 68% para el año 2050 (United Nations, 2018). Este acelerado proceso de urbanización ha derivado en un crecimiento desordenado de las ciudades, caracterizado por altas densidades edificadas, escasez de espacios verdes y una expansión considerable de la infraestructura vial. Dichas condiciones han contribuido significativamente al incremento de las temperaturas en áreas urbanas entre 5 °C y 9 °C respecto a las zonas rurales, fenómeno conocido como “isla de calor urbana” (Santamouris, 2015). Este fenómeno, incrementa el consumo energético asociado a la climatización de interiores y agrava los efectos sobre la salud humana.

Las temperaturas extremas representan una amenaza creciente para la salud pública, asociándolas a múltiples riesgos para la salud, entre ellos el estrés térmico, los golpes de calor, la deshidratación, así como enfermedades respiratorias y cardiovasculares. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), las temperaturas extremas son responsables de aproximadamente 5 millones de muertes al año, siendo el calor excesivo uno de los factores de mayor aumento en los últimos años (United Nations Environment Programme [UNEP], 2022). Frente a este escenario, la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible promueven la creación de ciudades sostenibles, resilientes y equitativas mediante el aumento de

infraestructura verde, el fortalecimiento de espacios públicos abiertos y la implantación de estrategias de urbanismos sostenible y adaptativo.

El PNUMA, a través de la iniciativa Cool Coalition, plantea como objetivo inmediato mejorar las condiciones térmicas en comunidades vulnerables durante olas de calor extremo, y como meta a largo plazo, incrementar la resiliencia climática urbana mediante soluciones basadas en la naturaleza (UNEP, 2022). En este marco, el espacio público en particular los parques urbanos, adquieren un rol estratégico, el de reguladores microclimáticos al reducir temperaturas locales, mejorar el confort térmico y contribuir al bienestar colectivo (Borja y Muxí, 2003) (Rogers y Gumuchdjian, 2000).

Para orientar de forma efectiva la planificación y el diseño urbano, resulta fundamental comprender y cuantificar las condiciones microclimáticas y la percepción térmica de los usuarios en los espacios públicos. El uso de índices de confort térmico y herramienta de simulación computacionales constituye una estrategia clave para la evaluación de escenario y proponer soluciones adaptativas.

Este estudio aporta evidencia técnica que puede ser utilizada con el fin de fortalecer la planificación y el diseño de espacios resilientes al cambio climático. Al vincular el análisis microclimático con estrategias de urbanismo bioclimático y herramientas de simulación, se busca contribuir a la construcción de ciudades más confortables, saludables y sostenibles.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Proponer lineamientos para el diseño urbano bioclimático del espacio público urbano en entornos caracterizados por un clima cálido húmedo, integrando el análisis de variables climáticas, el confort térmico y herramientas de simulación microclimática.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar los espacios públicos seleccionados mediante indicadores físico-ambientales que permitan identificar sus condiciones actuales.
2. Realizar análisis climático del Área Metropolitana de Bucaramanga con el fin de generar insumos técnicos para la calibración y validación de la herramienta de simulación.
3. Aplicar herramientas de simulación microclimática para evaluar escenarios urbanos y determinar su impacto sobre el confort térmico exterior.
4. Definir lineamientos de diseño urbano que contribuyan a mejorar el microclima y el confort térmico en entornos urbanos de clima cálido húmedo

2. Marco teórico conceptual

Este capítulo presenta los fundamentos teóricos y conceptuales que sustentan la investigación, abordando de manera integral las nociones de confort térmico, percepción ambiental, sostenibilidad urbana y espacio público, asimismo, se analizan las principales teorías y modelos desarrollados en torno a la experiencia térmica humana, así como las estrategias urbanas y normativas internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que orientan la

adaptación climática de las ciudades mediante soluciones basadas en la naturaleza (UNEP, 2022) (United Nations, 2018).

Comprender estos conceptos resulta fundamental para evaluar la calidad del espacio público en función de las condiciones térmicas percibidas por los usuarios. Así, el marco teórico y conceptual proporcionará las bases necesarias para sustentar el enfoque metodológico de la investigación, permitiendo interpretar los hallazgos desde una perspectiva científica y contextualizada.

2.1 Clima y microclima

El clima está determinado por diversos factores como la temperatura atmosférica, la presión, la humedad, el viento y las precipitaciones. A su vez, se ve modificado por elementos como la latitud, altitud, orientación, relieve, corrientes marinas, topografía, flora, fauna y procesos de urbanización o modificaciones del entorno.

El clima de un lugar es el resultado de una combinación compleja de distintos elementos, parámetros y factores determinantes (Neila, 2004). Los elementos del clima definen y caracterizan las condiciones atmosféricas de una zona, y los mecanismos que lo condicionan pueden considerarse recursos o limitantes (Ugarte, 2006).

Entre los elementos climáticos más relevantes se encuentran la humedad, la temperatura, el viento y la pluviosidad. Un factor clave relacionado con los rayos solares es la radiación solar, que, una vez absorbida por las superficies urbanas, genera calentamiento del aire a mayor o menor temperatura. Esto provoca diferentes grados de humedad, nubosidad y pluviometría (Neila, 2004).

La clasificación climática se establece según un conjunto homogéneo de condiciones atmosféricas, a través de distintos niveles espaciales:

- *Macroescala*: condiciones generales que se repiten en amplias zonas geográficas, los climas derivan de la circulación general de la atmósfera (Picone, 2014)
- *Mesoescala*: compartimentación en zonas con diferencias significativas de valores climáticos. Los climas se desarrollan en la troposfera (hasta 10 km de altura).
- *Clima Local*: se manifiesta en la capa límite urbana, la zona de la atmósfera más cercana a la superficie, afectada directamente por las características urbanas y las actividades humanas. Esta capa suele extenderse hasta 10 veces la altura de los edificios (Errel, et ál., 2011), aunque su espesor varía en función del estado del tiempo y la hora del día (Oke, 1987; Picone, 2014); durante el día puede alcanzar entre 0.6 y 1.5 km, mientras que por la noche disminuye a 0.1–0.3 km (García, 1990).
- *Microescala*: por su parte se refiere a la escala urbana más pequeña, en la cual elementos individuales como edificios, árboles y materiales urbanos proyectan sombras, desvían el flujo de aire y modifican la reflexión solar y las temperaturas radiantes a las que están expuestas las personas (Errel, et ál., 2011). Esta capa también se denomina “cúpula urbana” (Picone, 2014), “capa de albedo urbano” o “capa celeste” (Errel, et ál., 2011), y se extiende desde el nivel del suelo hasta la parte superior de edificaciones, vegetación u otros elementos del entorno. Su variabilidad depende de la proporción espacial, las propiedades térmicas y ópticas de los materiales, la cobertura vegetal y las turbulencias inducidas por procesos microclimáticos.

Existen múltiples clasificaciones climáticas, entre ellas, aquellas basadas en criterios higrotérmicos, que agrupan las regiones según características como el calor, el frío, la humedad o la sequedad (Neila, 2004). Estas clasificaciones contemplan los siguientes tipos:

- Clima cálido y seco

- Clima cálido y húmedo
- Clima frío y seco
- Clima frío y húmedo

Para efectos del presente trabajo, se destaca el clima de las regiones tropicales, en las cuales predomina el clima cálido y húmedo, propio del Área Metropolitana de Bucaramanga.

2.1.1 Clima cálido - húmedo

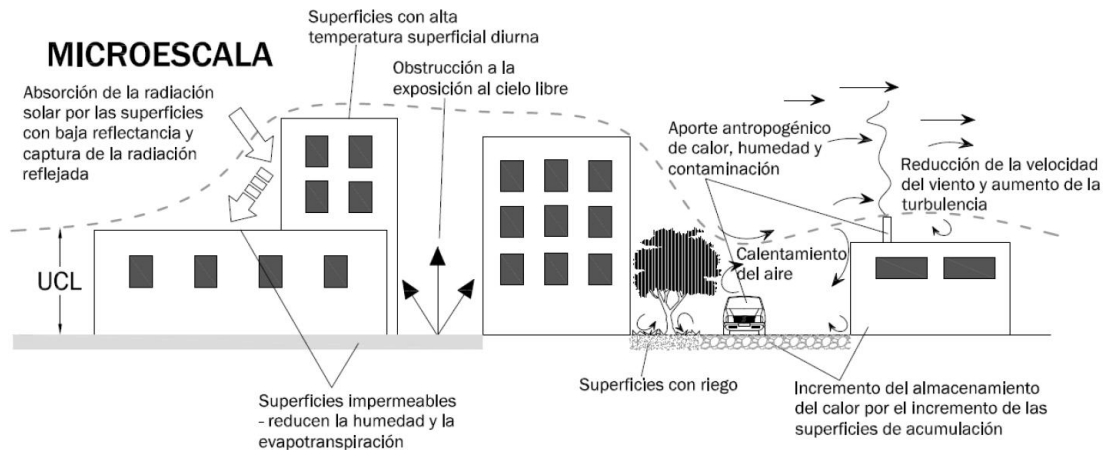
En las regiones tropicales, el clima cálido y húmedo corresponde a la zona climática comprendida entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, caracterizada por latitudes bajas con incidencia perpendicular de la radiación solar durante casi todo el año. Esta condición implica que la radiación atraviesa una menor masa atmosférica, generando una elevada irradiancia y temperaturas muy altas. En estas zonas, la radiación difusa es más intensa, y el contenido de vapor de agua en las nubes limita el paso de la radiación directa. En áreas con alta humedad, se dificulta la llegada de la radiación a la superficie terrestre, reduciendo la irradiancia superficial (Neila, 2004).

2.2 Microclima

El concepto de microclima urbano surge a partir de las diferencias entre el entorno rural y el urbano. Los primeros estudios datan del siglo XIII, destacando el trabajo de Evelyn (1772) sobre el clima londinense, en el que se refería a las nubes de humo y azufre como resultado de la combustión del carbón, el principal combustible utilizado en Londres en esa época (Tumini, 2012) (Norman, 2019). Posteriormente, el estudio de Howard (1818), en la misma ciudad identificó diferencias de temperatura entre el centro urbano y la periferia, fenómeno que más tarde se

conocería como “Isla de Calor Urbana” (ICU), uno de los aspectos más estudiados en climatología urbana (Picone, 2014). En ese entonces, dichas diferencias se atribuían principalmente a la combustión del carbón tanto en usos domésticos como industriales (García, 1990).

Figura 1. Fenómeno de intercambio de calor – Cúpula Urbana – Urban Canopy Layer (UCL).



Tomado de Irina Tumini (2013).

El microclima incide en múltiples aspectos del diseño y la planificación urbana, entre ellos:

- Optimización de los patrones de uso del suelo según las actividades desarrolladas.
- Identificación y creación de microclimas adecuados para actividades específicas como parques o zonas recreativas.
- Detección de condiciones microclimáticas adversas que puedan influir en el diseño urbano, como vientos locales intensos.
- Optimización de la forma de los edificios en relación con los flujos climáticos externos, como el viento y la radiación solar.
- Consideración del impacto microclimático en el entorno inmediato de edificaciones altas, como turbulencias y vientos acelerados a nivel del suelo.

- Evaluación de la seguridad estructural frente a vientos fuertes.
- Selección de materiales de construcción adecuados al contexto climático.
- Planificación del proceso constructivo considerando restricciones climáticas.
- Control de escorrentías pluviales.
- Estimación de los costos operativos de los edificios (calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación) antes de su construcción.
- Evaluación del impacto ambiental de los sistemas de transporte en el entorno urbano inmediato.

2.3 Cambio climático

El cambio climático se refiere a las variaciones a largo plazo en los patrones climáticos globales o regionales, atribuibles en gran parte a las actividades humanas. Si bien la Tierra ha atravesado ciclos climáticos naturales a lo largo de su historia, el cambio climático actual presenta una particularidad: su rápida intensificación como consecuencia directa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), producto de la quema de combustibles fósiles, la deforestación, y ciertas prácticas industriales y agrícolas (IPCC, 2023).

Desde la era preindustrial, la temperatura media global ha aumentado en aproximadamente 1.1 °C, provocando efectos tangibles como la acelerada pérdida de hielo en el Ártico, el ascenso del nivel del mar, el retroceso de glaciares, y una mayor frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos como olas de calor, sequías, huracanes e inundaciones (IPCC, 2023). Estos cambios no solo alteran los ecosistemas naturales, sino que amenazan directamente la salud, el bienestar y la seguridad de las poblaciones humanas, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas.

Las ciudades enfrentan un desafío particular ante el cambio climático. Debido a su configuración morfológica y a la elevada concentración de población e infraestructuras, son más propensas a sufrir fenómenos como la isla de calor urbana, pérdida de confort térmico, escasez hídrica y vulnerabilidad energética (PNUMA, 2012) (IPCC, 2023). Además, se espera que la severidad de las condiciones climáticas extremas aumente durante los meses cálidos, particularmente en las regiones del sur de Europa y América Latina, afectando la calidad de vida de millones de personas (IPCC, 2023).

2.4 Salud urbana

Para que una ciudad sea considerada un medio saludable, debe cumplir con tres lineamientos fundamentales, los cuales están interrelacionados con la sostenibilidad y el bienestar de sus habitantes, siendo estos:

Ciudad para caminar: Una ciudad saludable debe contar con la densidad adecuada y garantizar una complejidad y continuidad en los usos urbanos que permita un acceso diverso y equitativo para todos los usuarios. La prioridad debe ser el peatón, asegurando que la infraestructura sea accesible para personas de todas las capacidades. Esto incluye la seguridad y el confort de los espacios públicos, así como la provisión de equipamientos que faciliten la actividad física y favorezcan el caminar, promoviendo una movilidad activa y saludable (Gehl, 2010).

Introducción de la naturaleza en la ciudad: La presencia de espacios verdes y vegetación en la proximidad de los habitantes, idealmente en un radio no mayor a 400 metros, ha demostrado tener efectos positivos en la salud de las personas. Estos espacios no solo contribuyen a la reducción del estrés, sino que también mejoran la calidad del aire y tienen un impacto positivo en la salud mental y física de la población. Estudios recientes han evidenciado que el acceso a la

naturaleza puede reducir la prevalencia de enfermedades relacionadas con el estrés, promoviendo un ambiente saludable y resiliente (Maas, et ál., 2006) (van den Bosch y Meyer-Lindenberg, 2019).

Crear espacios para la convivencia: Una ciudad saludable debe satisfacer las necesidades de salud social y mental de sus habitantes. Los espacios públicos son fundamentales para fomentar la interacción social, sirviendo como lugares de encuentro que previenen problemas de aislamiento y soledad. Estos espacios han cobrado especial relevancia en tiempos recientes, debido al aumento de la percepción de aislamiento social en áreas urbanas. La calidad de estos espacios públicos contribuye significativamente a la cohesión social, al desarrollo comunitario y a la mejora del bienestar general (World Health Organization [WHO], 2016).

2.5 Espacio Publico

En Colombia, el artículo 63 de la Constitución Política establece que el espacio público comprende los bienes de uso público de propiedad de la Nación o de las entidades territoriales, cuyo uso pertenece a todos los habitantes del territorio. Asimismo, la Ley 388 de 1997 y el Decreto 1504 de 1998 definen el espacio público como el conjunto de inmuebles públicos y los elementos arquitectónicos y naturales de los inmuebles privados destinados, por naturaleza, uso o afectación, a la satisfacción de necesidades urbanas colectivas que trascienden los límites de los intereses individuales de los habitantes.

El espacio público no debe entenderse como el residuo entre edificaciones ni como un vacío catalogado como público únicamente por una definición jurídica. Tampoco se trata de un espacio especializado al que se acude ocasionalmente, como si se tratara de un museo o espectáculo. Por el contrario, el espacio público es el escenario donde la sociedad se hace visible,

donde se materializan las relaciones entre los ciudadanos, así como entre el poder y la ciudadanía (Borja y Muxí, 2003).

Henri Lefebvre (1972), definió el espacio urbano como “el enclave donde se opera el contacto entre las cosas y las gentes, donde tiene lugar el intercambio”. Este espacio no solo refleja las dinámicas sociales existentes, sino que también las moldea. De acuerdo con Rodríguez (2001), la proximidad, el intercambio y el contacto son elementos constitutivos esenciales de la ciudad contemporánea.

La calidad de una ciudad se mide en la calidad de su espacio público. Un diseño urbano que aspire a ser sostenible no puede limitarse únicamente a soluciones tecnológicas o formales; debe integrar también los estilos de vida y los aspectos sociales. Es fundamental identificar estrategias ecológicamente adecuadas para enfrentar los desafíos urbanos actuales. En este sentido, la microescala se presenta como la dimensión ideal para promover una restauración medioambiental efectiva, ya que es en ese nivel donde las personas experimentan de forma directa los beneficios o agravios de su entorno urbano (Gómez de Perozo, 2012).

2.5.1 Parque urbanos

Los parques y zonas verdes son elementos fundamentales en la configuración urbana, ya que satisfacen diversas necesidades recreativas, ambientales y sociales de la población. Estos espacios se caracterizan por ser seguros, accesibles, atractivos y relajantes, al contar con vegetación natural, fauna y, en algunos casos, cuerpos de agua, contribuyen a mejorar la calidad de vida de los habitantes al mitigar la contaminación ambiental y acústica, reducir el estrés diario, regular el clima urbano y fomentar la actividad física.

Aunque comúnmente se atribuye a la Organización Mundial de la Salud (OMS) la recomendación de que cada habitante disponga de entre 10 y 15 m² de zonas verdes a una distancia máxima de 300 metros o a 5 minutos a pie, esta afirmación no se encuentra respaldada por documentos oficiales de la OMS. Sin embargo, diversas organizaciones y estudios han propuesto estándares similares para promover el acceso equitativo a espacios verdes en entornos urbanos (Chequeado, 2020).

Desde la perspectiva de la planificación y el diseño urbano, los parques son espacios versátiles que ofrecen oportunidades para abordar problemáticas relacionadas con el cambio climático. Gracias a sus características, estos espacios poseen una mayor flexibilidad de transformación en comparación con el entorno urbano edificado. Los parques urbanos, comúnmente compuestos por vegetación predominante y superficies permeables, pueden presentar una reducción de temperatura en relación con su entorno urbano, generando un efecto de "isla de frescor" que se extiende hacia sus alrededores cercanos (Spronken-Smith y Oke, 1998).

2.6 Isla de calor urbana

La isla de calor urbana (ICU) es una de las manifestaciones más significativas del clima urbano y representa un impacto directo de la urbanización sobre el entorno atmosférico. Fue observada por primera vez por el meteorólogo británico Luke Howard en 1818, quien documentó diferencias térmicas entre áreas urbanas y rurales en la ciudad de Londres, evidenciando que las zonas urbanizadas presentaban temperaturas notablemente más altas (Howard, 1818).

El fenómeno de la ICU se refiere al incremento de las temperaturas en zonas urbanas en comparación con sus alrededores rurales, como consecuencia de la transformación del entorno natural en superficies construidas. Esta transformación reduce la vegetación, incrementa la

superficie impermeable, y altera el balance energético urbano. Según Oke (1987), la isla de calor urbana puede definirse como “la diferencia de condiciones climáticas registradas por un observador situado en la ciudad frente a otro localizado en su entorno rural”.

Landsberg (1981), sostiene que la ICU está presente en prácticamente todas las ciudades del mundo y constituye la manifestación más evidente de cómo la urbanización altera el clima local. En esta línea, Gómez (1993) señala que la diferencia promedio de temperatura entre zonas rurales y urbanas suele estar entre 2 °C y 3 °C; sin embargo, en determinadas condiciones esta diferencia puede superar los 10 °C, especialmente en áreas densamente edificadas o con escasa vegetación.

La intensificación de este fenómeno ha sido objeto de creciente preocupación, no solo por su implicación en el aumento del consumo energético para refrigeración, sino también por sus efectos sobre la salud humana, la calidad del aire y la habitabilidad de las ciudades. En este sentido, la ICU se convierte en un indicador clave para comprender y mitigar los impactos negativos de un urbanismo no planificado y ambientalmente insostenible.

Las causas del fenómeno de las Islas de Calor Urbana se forman debido a diversos factores asociados al desarrollo urbano:

- *Reducción de superficies vegetales*: la sustitución de vegetación por construcciones y pavimentos impermeables reduce los procesos de evapotranspiración, lo cual limita el enfriamiento natural (Zhao, et ál., 2014).
- *Propiedades de los materiales urbanos*: materiales como el asfalto y el concreto absorben y almacenan más energía solar durante el día, liberándola lentamente durante la noche (Santamouris, 2015).

- *Fuentes antropogénicas de calor*: vehículos, sistemas de climatización, actividades industriales y otros procesos humanos liberan calor adicional en las ciudades (Oke, 1982).
- *Contaminación atmosférica*: las partículas suspendidas y los gases contaminantes contribuyen al atrapamiento del calor a través del efecto invernadero (Santamouris, 2014).

Se distinguen dos tipos principales de ICU:

1. *Isla de calor superficial (ICS)*: se produce cuando la temperatura de las superficies urbanas (calles, techos, fachadas) es más alta que en las zonas rurales. Es más visible durante el día, en condiciones de cielo despejado (Voogt y Oke, 2003).
2. *Isla de calor atmosférica (ICA)*: se refiere a la diferencia de temperatura del aire entre áreas urbanas y rurales. Puede subdividirse en:
 - A nivel del suelo: afecta a los peatones y se encuentra entre el suelo y el nivel de los techos o copas de árboles.
 - En altura: se extiende desde la parte superior del paisaje urbano hasta aproximadamente 1,5 km (Oke, 1987).

3. Estado del Arte

3.1 Confort térmico

El ser humano posee una notable capacidad de adaptación que le permite sobrevivir ante las variaciones climáticas (Fariña, 1998). Esta adaptación puede ser involuntaria como la fisiológica y la psicológica o voluntaria y controlada mediante acciones físicas o conductuales.

El confort térmico es tanto una percepción subjetiva como una respuesta fisiológica, por lo que cada individuo puede experimentar de manera distinta las condiciones térmicas de un entorno.

Sin embargo, el principio fisiológico básico es el mismo: el cuerpo genera calor y este debe disiparse hacia el ambiente para mantener el equilibrio térmico (Erell, et ál., 2011). Según Höppe (2002), existen tres enfoques principales para entender el confort térmico:

1. Psicológico: definido por la ASHRAE como “la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico”.
2. Termo-fisiológico: aquel estado en el que existe un mínimo de señales nerviosas transmitidas desde los receptores térmicos de la piel al hipotálamo.
3. Balance térmico: refiere al equilibrio entre el calor producido por el cuerpo y el ambiente, siendo confortable aquella zona donde el cuerpo gasta la menor cantidad de energía para adaptarse al entorno (Olgay, 2006).

El confort térmico está determinado por múltiples factores, entre ellos:

- Factores geográficos (latitud, altitud, localización) (Neila, 2004) (Basantes y García, 2018).
- Factores microclimáticos (temperatura, humedad, radiación solar, viento),
- Factores personales (actividad, vestimenta, edad, sexo, salud) (Nikolopoulou y Steemers, 2003) (Nikolopoulou y Lykoudis, 2007).
- Factores del entorno construido (vegetación, sombras, tipo de materiales, calidad del microclima urbano) (Erell, et ál., 2011).

Se considera que el confort térmico se mantiene cuando el calor generado por el metabolismo humano se disipa adecuadamente, permitiendo conservar el equilibrio con el entorno. Cualquier desviación en este equilibrio provoca sensaciones de incomodidad (Gaitani y Santamouris, 2005).

Es importante destacar que el confort térmico no depende exclusivamente de la temperatura del aire. También influyen factores personales (psicológicos, sociológicos y situacionales), así como ambientales: temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, viento, y el tipo de actividad realizada en el espacio.

Si bien los parámetros que afectan al confort térmico exterior son similares a los del interior, estos son más variables y complejos. Por ello, comprender el confort térmico en espacios abiertos implica considerar su variabilidad temporal y espacial, así como la diversidad de actividades humanas que allí se desarrollan.

El estudio sistemático del confort térmico comenzó a consolidarse a principios del siglo XX, siendo una de las áreas pioneras dentro de la ciencia de la construcción. Surgió con el desarrollo de técnicas de aire acondicionado, cuyo objetivo era mejorar el confort de las personas. La primera definición formal del concepto de “zona de confort” fue propuesta por Houghton y Yaglou (1923), quienes establecieron un rango de condiciones térmicas en las que la mayoría de las personas manifiestan sensación de neutralidad (Erell, et ál., 2011).

Posteriormente, Olgyay y Olgyay (1963), desarrollaron la Carta Bioclimática, una herramienta para arquitectos y urbanistas, donde se indican los rangos de condiciones en los que es posible alcanzar el confort térmico. Más adelante, Baruch Givoni (1969), elaboró el Climograma Psicrométrico, útil para evaluar el confort higrotérmico y proponer estrategias de diseño pasivo en interiores.

Entre 1960 y 1970, diversos estudios (Fanger, 1970) (Gagge, 1971) (Rohkes y Nevins, 1971) realizaron experimentos en laboratorio que permitieron desarrollar índices de evaluación térmica como la “Nueva Escala de Temperatura Efectiva”, basados en modelos que predecían la sensación térmica a partir de la temperatura y el grado de humedad de la piel (Erell, et ál., 2011).

Posteriormente, P.O. Fanger (1973), desarrolló un método más completo que incluye todas las variables de intercambio térmico entre el cuerpo humano y el entorno: nivel de actividad, vestimenta, temperatura seca, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del aire.

Más recientemente, Neila González (2004) propuso el Climograma de Bienestar Adaptado (CBA), basado en los modelos de Olgyay y Givoni, pero integrando los avances teóricos de la ASHRAE. Este incluye la temperatura seca, la humedad relativa, el nivel de vestimenta (clo) y la actividad metabólica (met).

3.2 Índices de confort térmico

El cuerpo humano intercambia calor con el ambiente mediante varios mecanismos: radiación, convección, evaporación, respiración y conducción, esta última cuando se está en contacto directo con superficies sólidas (Fiala y Havenith, 2015). Este intercambio depende de cuatro variables ambientales, temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar a estas se les suma otras dos variables personales: la tasa metabólica y el aislamiento térmico de la vestimenta. Conformando así seis parámetros, conocidos como los "parámetros básicos", constituyen el entorno térmico humano (Parsons, 2014).

Para cuantificar el confort térmico, se han desarrollado diversos índices que permiten establecer escalas de respuesta frente a las condiciones climáticas. Los primeros índices térmicos surgieron a finales del siglo XIX con fines industriales y de seguridad laboral, centrados en ambientes interiores con condiciones controladas (García et ál., 2012) (Coccolo et ál., 2016). Por su parte, MacPherson (1962) propone una clasificación adicional:

Tabla 1. *Clasificación Índices de Confort*

Índice	Característica	Variables
<i>Índices Directos</i>	Se obtienen mediante la medición directa de variables ambientales principales	Temperatura (°C), Humedad, Velocidad del aire (m/s), Presión de Vapor (hPa), Punto de rocío (T _{pr} °C), Temperatura Media Radiante (T _{mrt} , °C)
<i>Índices Empíricos</i>	Se basan en combinaciones de variables meteorológicas (tensión subjetiva y objetiva), ignoran algunos datos personales como actividad, vestimenta y fisiología humana (Tornero et ál. 2006)	Temperatura Efectiva (ET), Índice de enfriamiento eólico (WCI), Temperatura Aparente (AT), Temperatura Equivalente (EqT) Temperatura Operativa (To), Índice de estrés térmico Temperatura Humedad - Temperatura de Globo (WBGT)
<i>Índices Racionales</i>	Basados en el balance energético humano, mediante la interrelación entre las actividades metabólicas, vestimenta, los parámetros ambientales	Temperatura equivalente fisiológica (PET), Índice de Valoración Medio (PMV), Índice temperatura efectiva estándar exterior (OUT_SET), Índice de Clima Térmico Universal (UTCI), Previsión del Porcentaje de Insatisfechos (PPD)

Para el presente trabajo se profundizará en los índices racionales ya que representan los desarrollos más avanzados para calcular el confort térmico, al integrar la interacción entre el metabolismo, vestimenta y condiciones ambientales. A continuación, se describen los principales índices racionales para evaluar el confort especialmente en exteriores.

3.2.1 Temperatura equivalente Fisiológica – Physiological Equivalent Temperature (PET)

Desarrollado por Höppe (1999), este índice simula la temperatura que tendría una persona en un entorno interior estándar con las mismas condiciones térmicas externas. Considera una tasa metabólica baja (80 W), una resistencia de vestimenta de 0.9 clo, y condiciones de referencia como viento a 0.1 m/s y humedad relativa del 50% (Höppe, 2002) (Thorsson et ál., 2007) (Golasi et ál., 2018). Su aplicación se ha expandido notablemente desde 2003, siendo el índice más utilizado para evaluar confort exterior en 2012 (Potchter et ál., 2018).

3.2.2 Índice de Valoración Medio – Predicted Mean Vote (PMV)

Desarrollado por Fanger (1970), este índice predice la sensación térmica promedio (PMV) de un grupo de personas y el porcentaje estimado de insatisfechos (PPD). Aunque fue creado para interiores, ha sido adaptado a exteriores en diversos estudios (ASHRAE, 1966, 1992; ISO 7730) (Erell et ál., 2011). Su modelo se basa en que no existe un ambiente térmico perfecto para todos, sino unas condiciones aceptables para la mayoría de la población. Fanger recomendaba una satisfacción del 95%, mientras que ASHRAE acepta un 80% como estándar.

3.2.3 Índice de Clima Térmico Universal – Universal Thermal Climate Index (UTCI)

Desarrollado por la COST Action 730, el UTCI es un índice unificado para evaluar el estrés térmico en exteriores. Se basa en un modelo fisiológico detallado que simula la respuesta del cuerpo ante condiciones ambientales diversas (Bröde et ál., 2012). Utiliza como referencia un ambiente con 50% de humedad, aire calmo y temperatura radiante igual a la del aire. El índice se expresa en °C y presenta una escala de estrés térmico con una zona de confort entre 9 y 26 °C. Requiere datos como temperatura del aire a 2 m, velocidad del viento a 10 m, temperatura media radiante y humedad relativa.

el UTCI presenta una alta aplicabilidad en modelos meteorológicos con resolución de obstáculos, como ENVI-met, al proporcionar una representación más precisa del estrés térmico percibido por las personas en entornos urbanos complejos. (Fischereit et ál., 2018)

3.2.4 Temperatura Efectiva Exterior – Outdoors Effective Temperature (OUT_SET)

Desarrollado por Gagge et ál. (1971), es una evolución del índice ET, incorporando variables como la vestimenta y el nivel de actividad metabólica. Originalmente diseñado para

interiores, se ha adaptado a condiciones exteriores (Spagnolo y de Dear, 2003). Su modelo considera un entorno de referencia con 50% de humedad relativa, aire quieto y sin radiación.

Tabla 2. Índices Racionales

Índice	Nombre en inglés / español	Aplicación Principal	Variables Consideradas	Escala de Confort	Adecuación Climática
PMV/PPD	Predicted Mean Vote / Voto Medio Previsto Predicted Percentage of Dissatisfied / Porcentaje Previsto de Insatisfechos	Interiores	Ta, HR, Va, Tmrt, Met, Clo	PMV: -3 = frío extremo 0 = confort térmico neutro +3 = calor extremo PPD: Estima el % de personas insatisfechas. Mínimo: 5% (óptimo).	Climas controlados
PET	Physiological Equivalent Temperature / Temperatura Fisiológica Equivalente	Exteriores	Ta, HR, Va, Tmrt, Met, Clo	<10°C = frío 18–23°C = confort >29°C = calor >35°C = estrés por calor extremo	Diversos climas
SET	Standard Effective Temperature / Temperatura Efectiva Estándar	Interiores y Exteriores	Ta, HR, Va, Tmrt, Met, Clo	<20°C = fresco 25–27°C = confort >30°C = disconfort térmico y posible estrés	Climas templados y cálidos
UTCI	Universal Thermal Climate Index / Índice Universal de Clima Térmico	Exteriores	Ta, HR, Va, Tmrt, Met, Clo	> +46°C: estrés por calor extremo +38 a +46°C: calor muy fuerte +32 a +38°C: calor fuerte +26 a +32°C: calor moderado +9 a +26°C: sin estrés térmico 0 a +9°C: frío leve -13 a 0°C: frío moderado -27 a -13°C: frío fuerte < -27°C: frío extremo	Todos los climas
OUT_SET*	Outdoor Standard Effective Temperature / Temperatura Efectiva Estándar para Exteriores	Exteriores	Ta, HR, Va, Tmrt, Met, Clo, Radiación solar directa y reflejada	Similares a SET*, pero adaptado a la exposición solar exterior directa.	Climas cálidos, tropicales y subtropicales

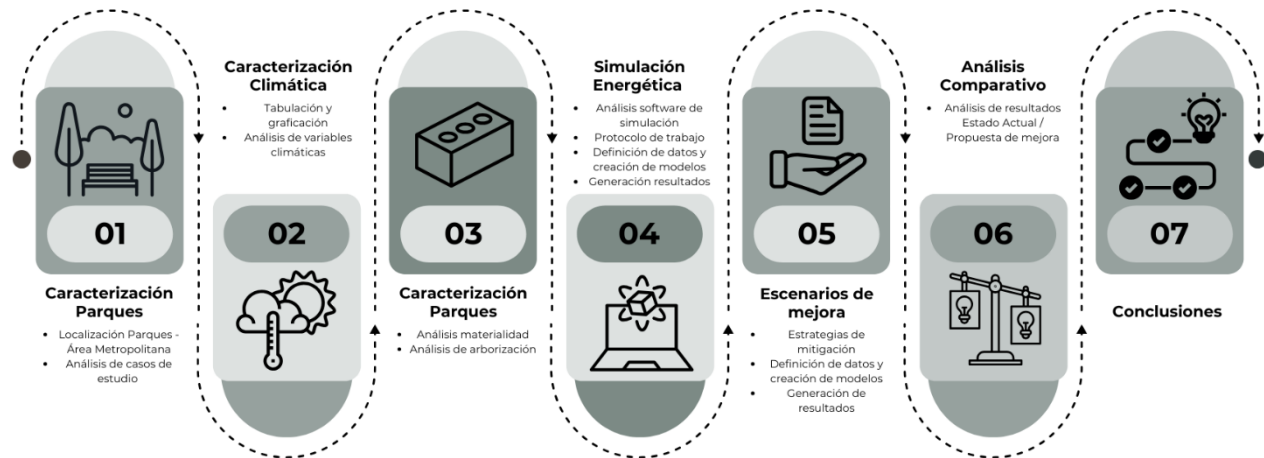
La selección del índice para evaluar el confort térmico constituye un elemento fundamental para garantizar la precisión y pertinencia del análisis microclimático urbano. Para esto se deben considerar diferentes factores como la aplicabilidad en distintos climas, la sensibilidad a las variables ambientales, la facilidad de interpretación y disponibilidad de datos de entrada. Partiendo de esto se opta por utilizar el *Índice de Confort Térmico (UTCI)* siendo un índice de aplicación

global, adecuado para el clima cálido húmedo del Área Metropolitana de Bucaramanga y es uno de los indicadores recomendados en la herramienta de simulación ENVI-met, lo que favorece la constancia metodológica y compatibilidad de resultados.

4. Método

Este trabajo se desarrolla bajo un enfoque mixto, que combina métodos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión integral del confort térmico en espacios públicos urbanos. Por un lado, el método cuantitativo se centra en la medición y modelación de variables climáticas y físicas de los parques, mientras que el método cualitativo aborda la percepción térmica de los usuarios, permitiendo contrastar el comportamiento microclimático.

Figura 2. Metodología de trabajo.



La estructura metodológica propuesta sigue un proceso analítico y progresivo que integra levantamiento de información, construcción de insumos técnicos, simulación microclimática y evaluación de escenarios. Las fases se describen a continuación:

- *Fase 1 – Caracterización parques:* esta fase consiste en la identificación y descripción de los parques seleccionados del Área Metropolitana de Bucaramanga que se analizarán. Se tendrán en cuenta criterios como, localización geográfica, ocupación y uso, materialidad, cobertura vegetal, tipología del parque. La información de esta fase servirá como insumo para realizar los modelos de simulación.
- *Fase 2 – Caracterización climática:* en esta fase se realizará un análisis climático del AMB con el fin de obtener datos confiables para la calibración de los modelos que posteriormente se simularán. Para ello se recopilarán datos meteorológicos de los últimos cinco años, se organizará los datos climáticos de entrada que requiere en software de ENVI-met
- *Fase 3 – Caracterización de los materiales:* creación de la biblioteca de materiales presenten en cada parque, en donde se debe incluir las propiedades térmicas y físicas de cada material instalado en los parques. Esta información constituye otro insumo para la calibración del modelo de simulación, asegurando que los modelos que se simulen tengan las condiciones más reales.
- *Fase 4 – Simulación microclimática y evaluación del confort térmico:* para esta etapa se llevarán a cabo simulaciones numéricas mediante el software ENVI-MET, con el fin de determinar el comportamiento térmico y microclimático de los parques. Este proceso comprende la definición de parámetros de simulación, ejecución de simulaciones y procesamiento y visualización de resultados.
- *Fase 5 – Escenarios Alternativos:* con base en el diagnóstico inicial, se planteará una propuesta esquemática orientada a mejorar las condiciones actuales de los parques. Para ello se aplicarán principios de diseño urbano bioclimáticos, infraestructura verde y estrategias de mitigación utilizando elementos naturales.

- *Fase 6 – Análisis comparativo:* en esta fase se realizará un análisis comparativo entre el escenario base y los escenarios alternativos, con el fin de identificar las variaciones en las condiciones microclimáticas y el confort térmico, determinar la efectividad de las estrategias, evaluar el impacto térmico sobre los usuarios.
- *Fase 7 – Conclusiones:* finalmente, se sintetizarán los resultados obtenidos en las etapas anteriores para así, validar el cumplimiento de los objetivos planteados, generar conclusiones sobre el comportamiento térmico de los parques, formular recomendaciones aplicables a futuros proyectos urbanos en contextos climáticos similares.

5. Diagnostico casos de estudio

El espacio público en Colombia es reconocido constitucionalmente como un bien colectivo. El artículo 63 de la Constitución Política lo define como un conjunto de bienes de uso público cuya propiedad pertenece a la Nación o a las entidades territoriales, y cuyo disfrute corresponde a todos los habitantes del territorio nacional.

En este marco legal, los parques urbanos cumplen un papel central en la configuración del espacio público. Estos no deben entenderse únicamente como intersticios residuales entre edificaciones o como vacíos urbanos legalmente clasificados como públicos. Su función va mucho más allá de la recreación ocasional: constituyen escenarios fundamentales donde se expresan las dinámicas sociales, las relaciones comunitarias y las interacciones entre ciudadanía y poder (Borja y Muxí, 2003).

Henri Lefebvre (1972), describió el espacio urbano como el enclave en el que ocurre el contacto entre objetos y personas, un lugar de intercambio vital para la reproducción de la vida urbana. La calidad de estos espacios incide directamente en la calidad de vida de los habitantes urbanos. Desde una perspectiva de sostenibilidad, el diseño urbano no puede enfocarse

exclusivamente en soluciones tecnológicas, estéticas o formales; debe considerar también los estilos de vida, las prácticas sociales y las condiciones ambientales del entorno. En este sentido, la microescala se presenta como la escala adecuada para implementar estrategias de restauración ambiental efectivas y perceptibles (Gómez de Perozo, 2012).

En el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga, compuesta por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, los parques urbanos representan una infraestructura clave para el bienestar colectivo y la adaptación climática. Estos espacios no solo cumplen funciones ecológicas y recreativas, sino que también ofrecen oportunidades para intervenir sobre el confort térmico urbano, mediante estrategias integradas de diseño, vegetación y uso de materiales adecuados.

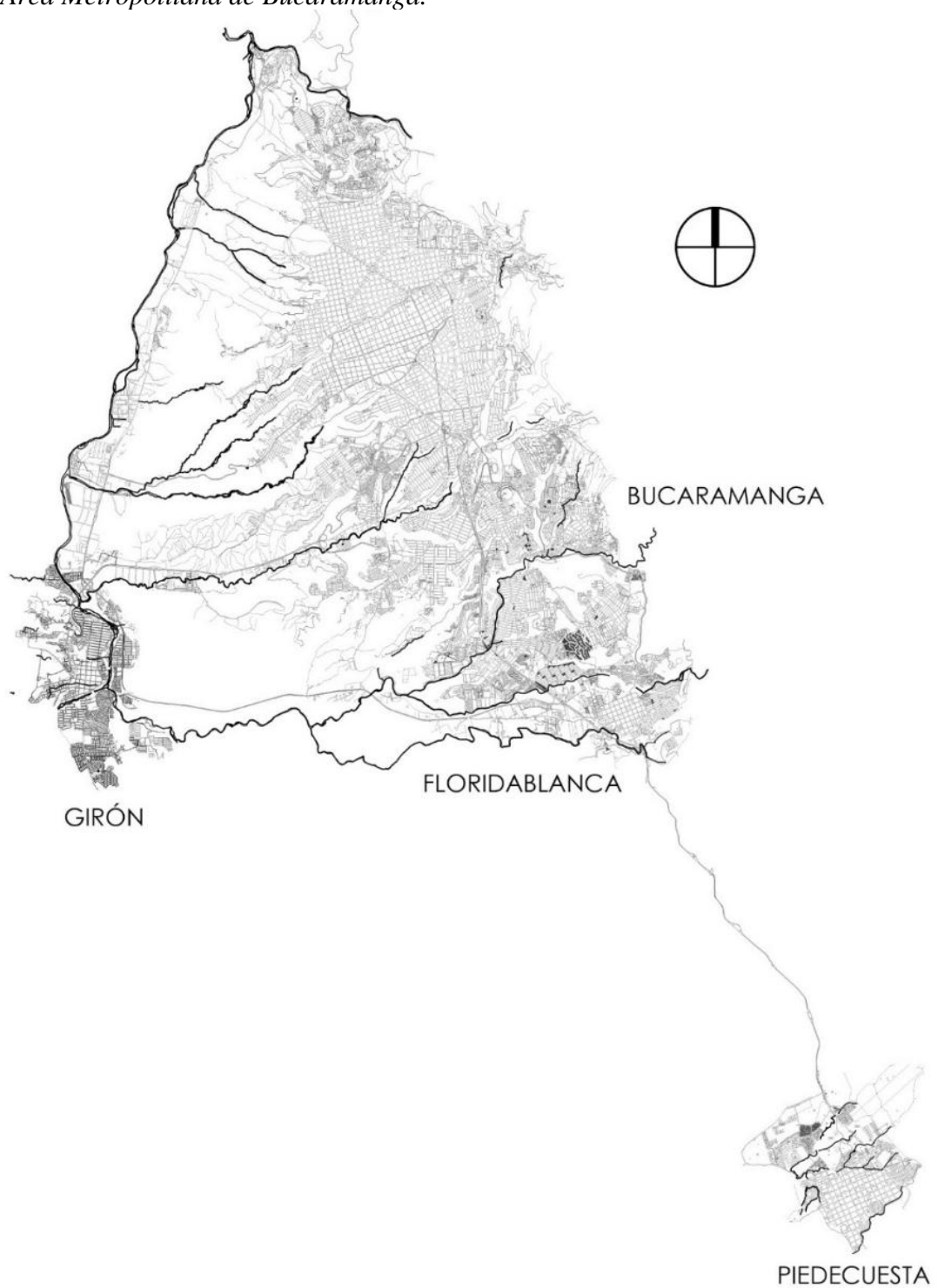
En este capítulo se analizan tres casos específicos, con el fin de evaluar su impacto en el microclima urbano y proponer lineamientos para su mejoramiento desde una perspectiva bioclimática y socialmente inclusiva.

Para el presente estudio, se realizó una clasificación centrada en los parques urbanos de escala local dentro del Área Metropolitana de Bucaramanga. Esta categoría incluye espacios de proximidad barrial con áreas comprendidas entre 1.000 m² y 1,5 hectáreas, pensados para atender poblaciones entre 1.000 y 10.000 habitantes. Se priorizaron aquellos parques que permiten el desarrollo de actividades al aire libre, tanto de recreación activa como pasiva, con juegos para niños y adultos, y cuya ubicación facilita el acceso peatonal en menos de cinco minutos, sin la necesidad de atravesar vías principales de tráfico alto. Estas condiciones permiten que dichos parques funcionan como nodos vitales de encuentro social, bienestar comunitario y resiliencia urbana.

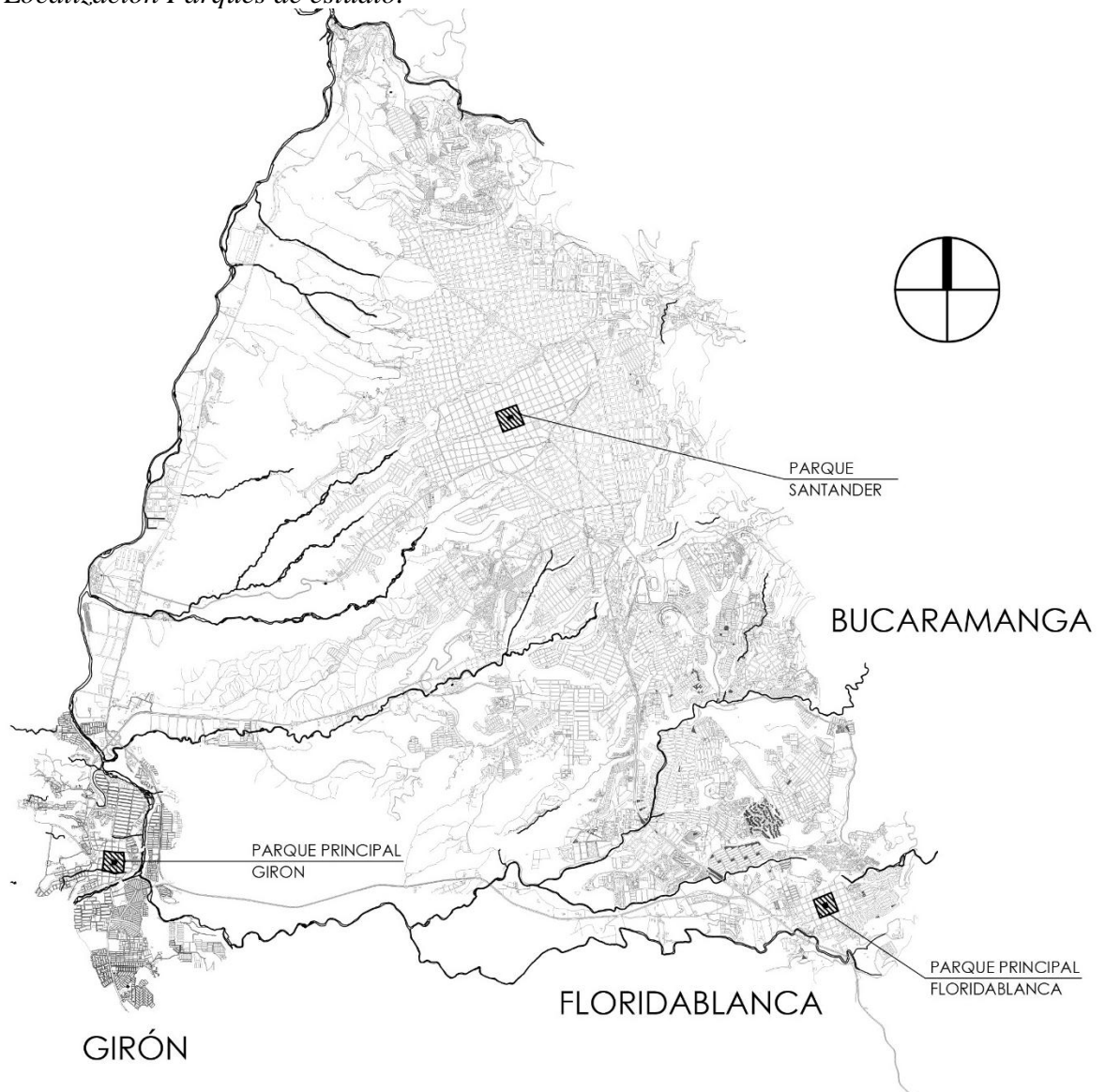
5.1 Análisis del Área Metropolitana de Bucaramanga

El Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), como se dijo anteriormente está conformada por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, ubicados en el departamento de Santander, al nororiente de Colombia. Con una población estimada superior a 1.2 millones de habitantes (DANE, 2023), distribuida en una extensión aproximada de 1.479 km², de los cuales más del 60 % corresponde a suelo urbano o en proceso de urbanización. Su localización geográfica, en una región montañosa orientada al oriental de la cordillera de los Andes, con altitudes que oscilan entre los 600 y 1.200 m s. n. m. y un clima cálido húmedo. Estas condiciones generan desafíos específicos en términos de confort térmico, islas de calor urbanas y gestión del espacio público como regulador climático.

Figura 3. *Área Metropolitana de Bucaramanga.*



Tomado. Planes de Ordenamiento Territorial – Bucaramanga y Floridablanca

Figura 4. Localización Parques de estudio.

Tomado. Planes de Ordenamiento Territorial – Bucaramanga y Floridablanca

5.2 Datos climáticos del Área Metropolitana de Bucaramanga

El análisis climático constituye un insumo fundamental en los estudios urbanos y ambientales, en tanto permite comprender la dinámica de las variables atmosféricas y su relación con la calidad de vida de la población. En el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), en

cumplimiento de su misión como autoridad ambiental, ha dispuesto una Red Hidroclimatológica que permite monitorear, procesar y analizar información climática.

Las estaciones climatológicas cumplen un papel esencial en este proceso, dado que permiten la medición de variables como la temperatura y humedad del aire, la precipitación, la presión atmosférica, la velocidad y dirección del viento, así como la radiación solar. Dichas variables presentan variaciones en función de la localización geográfica y del tiempo, lo que hace que su medición y análisis resulten indispensables para la planeación territorial y la gestión sostenible de los recursos naturales (IDEAM, 2018).

De acuerdo con los informes más recientes, la Red Hidroclimatológica de la CDMB se encuentra integrada, para el primer semestre del año 2024, por veintidós (22) estaciones, de las cuales veinte (20) corresponden a estaciones climatológicas y dos (2) a estaciones de niveles de agua. La captura y transmisión de los datos recolectados por los sensores se realiza en su mayoría con frecuencia horaria, enviando la información a una plataforma de almacenamiento central a través de señal celular. Posteriormente, la información es sometida a procesos de depuración y validación, siguiendo los lineamientos metodológicos establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2018). Este procedimiento garantiza la confiabilidad de los registros y su utilidad en la interpretación climática.

El presente capítulo organiza y analiza la información ambiental registrada en la Red Hidroclimatológica de la CDMB para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 31 de diciembre de 2024. Con el fin de centrar el estudio en el contexto del Área Metropolitana de Bucaramanga, se seleccionaron tres estaciones climatológicas automáticas ubicadas en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón, dado que constituyen el ámbito de estudio. Los datos obtenidos servirán como base para el análisis microclimático y la posterior aplicación

de modelos de simulación, necesarios para comprender las dinámicas locales del confort térmico y la calidad ambiental urbana.

Tabla 3. *Estaciones Climatológicas CDMB*

Código	Nombre	Cuenca	Municipio	Elevación (msnm)
<i>C4</i>	Club Campestre	Río de Oro	Floridablanca	940
<i>C20</i>	Acapulco	Río de Oro – Medio	Girón	1001
<i>C25</i>	CDMB	Río de Oro	Bucaramanga	975

Para el análisis climático orientado a la modelación microclimática urbana, se utilizaron series de datos horarios, dado que estas permiten representar de manera precisa la variabilidad térmica y ambiental a lo largo del día, condición fundamental para evaluar la dinámica del confort térmico en espacios abiertos. Sin embargo, dentro de dichas series se identificaron y analizaron los valores máximos de variables críticas como la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento, debido a que estos representan los escenarios más extremos de disconfort térmico y, por tanto, constituyen los estados críticos para la salud y el bienestar de la población (Klemm, et ál., 2015). Este enfoque permite no solo captar los patrones horarios de exposición al calor, esenciales para la simulación en modelos como ENVI-met (Bruse y Flear, 1998), sino también poner énfasis en los momentos de mayor riesgo, en los que el espacio urbano se convierte en un ambiente más hostil para sus habitantes. De esta manera, se evita una visión reduccionista basada exclusivamente en promedios, los cuales pueden enmascarar los eventos extremos, y se logra un análisis integral que articula tanto la dinámica horaria como la identificación de condiciones críticas (Oke, et ál., 2017).

5.2.1 Temperatura del aire

Unidad de medida: Grados Centígrados (C°).

La temperatura del aire es uno de los parámetros más relevantes para la caracterización del microclima urbano, ya que refleja de manera directa la ganancia o pérdida de calor en la atmósfera próxima a la superficie terrestre. En entornos urbanos, la temperatura está fuertemente influenciada por procesos como la isla de calor urbana, la absorción y emisión de calor por materiales de construcción, la morfología urbana y la escasez de vegetación (Oke, 1987) (Santamouris, 2015).

Figura 5. Promedio Temperatura del Aire Máxima 2020-2024– Estación Acapulco.

DATOS TEMPERATURA DEL AIRE MÁXIMA °C - ESTACION ACAPULCO													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	22,87	24,12	25,44	25,80	24,17	23,28	21,94	23,38	23,58	21,68	23,01	21,82	23,42
Hora01	22,60	23,93	25,17	25,21	23,71	22,91	21,81	23,13	23,39	21,33	22,72	21,55	23,12
Hora02	22,24	23,72	24,97	25,94	23,19	22,69	21,61	22,84	23,25	21,08	22,51	21,27	22,94
Hora03	22,02	23,45	25,11	25,46	23,33	22,14	21,33	22,62	22,77	20,85	22,11	21,01	22,68
Hora04	21,70	23,25	24,24	24,83	22,69	21,95	21,08	22,16	22,45	20,59	21,91	20,71	22,30
Hora05	21,39	22,95	23,77	24,44	22,29	21,71	20,93	21,82	22,05	20,42	21,54	20,50	21,98
Hora06	21,34	22,21	24,24	24,36	21,71	21,45	20,75	21,28	21,79	20,42	21,60	20,35	21,79
Hora07	21,42	22,22	24,33	24,43	22,91	22,06	21,28	21,90	23,34	21,41	22,50	20,47	22,35
Hora08	22,93	23,69	26,22	25,84	25,56	25,57	23,65	25,61	25,86	23,16	24,15	22,32	24,55
Hora09	25,84	26,42	26,99	28,43	28,09	28,54	26,08	28,01	28,49	25,01	26,43	24,36	26,89
Hora10	27,96	28,44	28,09	29,62	30,52	30,15	28,13	29,98	30,72	27,01	28,80	26,37	28,81
Hora11	29,66	30,40	30,00	30,50	31,61	31,49	29,49	31,67	32,59	28,96	31,08	28,86	30,53
Hora12	31,41	31,92	31,05	31,10	32,35	32,22	30,18	32,05	33,37	29,85	32,10	30,29	31,49
Hora13	31,40	32,00	31,61	32,09	32,73	31,87	30,07	32,87	33,24	29,91	32,04	30,35	31,68
Hora14	31,27	32,15	31,91	32,02	32,75	32,09	29,55	32,41	33,22	29,74	32,28	30,35	31,65
Hora15	31,07	31,51	31,99	31,85	32,56	31,60	28,76	31,97	32,75	28,89	31,90	29,94	31,23
Hora16	29,70	31,30	31,37	31,05	31,87	30,72	28,06	31,24	31,45	28,04	30,39	28,98	30,36
Hora17	28,28	30,56	29,87	31,22	30,54	29,91	27,11	30,24	30,66	26,41	28,12	27,42	29,20
Hora18	26,43	29,75	28,77	29,98	29,06	27,82	25,71	28,99	28,99	24,67	26,03	25,22	27,62
Hora19	25,12	28,47	27,86	27,26	26,84	25,55	24,13	26,18	26,23	23,59	24,77	23,84	25,82
Hora20	24,12	26,97	27,81	26,99	25,64	24,88	23,35	25,07	25,24	23,05	24,17	23,11	25,03
Hora21	23,84	26,06	26,87	26,34	25,03	24,27	22,95	24,41	24,59	22,67	23,77	22,67	24,46
Hora22	23,45	25,49	26,74	26,17	24,61	23,82	22,67	23,83	24,24	22,40	23,44	22,34	24,10
Hora23	23,30	25,04	26,10	25,60	24,43	23,63	22,30	23,62	23,94	21,97	23,28	22,10	23,78
PROMEDIO	25,47	26,92	27,52	27,77	27,01	26,35	24,70	26,55	27,01	24,30	25,86	24,42	

Datos Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.

En la estación Acapulco se observa que la temperatura supera la zona de confort térmico establecida en 27,8 °C a partir de las 10:00 horas, manteniéndose por encima de este valor hasta las 16:00 horas. Dentro de esta franja horaria se registran las temperaturas más elevadas, con un pico máximo cercano a 32 °C alrededor de las 13:00 horas, lo que evidencia un periodo crítico de

sobrecalentamiento. Posteriormente, hacia las 17:00 horas, los valores descienden nuevamente hacia la zona de confort, lo que indica que el tramo horario más desfavorable para las condiciones térmicas corresponde entre las 10:00 y las 16:00 horas. Asimismo, el análisis mensual muestra que los meses más cálidos del año son febrero, marzo y septiembre, donde las temperaturas alcanzan sus máximos promedios y se intensifican las horas fuera de la zona de confort térmico.

Figura 6. Promedio Temperatura del Aire Máxima 2020-2024 – Estación Club Campestre.

DATOS TEMPERATURA DEL AIRE MÁXIMA °C- ESTACION CLUB CAMPESTRE													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	24,75	26,00	25,95	25,33	25,53	24,36	24,76	24,66	24,82	24,58	23,94	24,00	24,89
Hora01	24,38	25,20	25,18	24,90	25,33	24,10	24,22	24,14	24,38	24,02	23,44	23,70	24,42
Hora02	24,28	24,73	24,68	24,35	24,97	23,74	23,56	23,72	23,78	23,56	23,10	23,15	23,97
Hora03	23,58	24,53	24,23	24,25	24,57	23,46	23,52	23,20	23,40	23,42	22,80	23,00	23,66
Hora04	23,50	24,35	24,15	23,63	24,27	23,16	23,14	23,32	23,32	23,16	22,58	22,88	23,45
Hora05	23,20	24,13	23,78	23,40	23,90	23,00	23,06	23,06	23,06	22,68	22,32	22,63	23,18
Hora06	22,78	23,70	23,68	23,48	23,83	22,70	22,54	22,88	23,08	22,72	22,64	22,45	23,04
Hora07	22,85	23,93	24,30	24,40	24,47	23,50	23,44	23,38	23,84	24,06	24,30	23,50	23,83
Hora08	24,58	25,45	26,75	26,48	26,40	26,00	26,22	26,26	26,38	25,92	26,12	25,73	26,02
Hora09	27,18	28,25	28,55	28,80	29,27	28,02	28,06	28,52	28,66	28,32	28,56	27,73	28,33
Hora10	29,38	30,23	30,83	30,85	31,20	29,72	30,00	30,32	30,62	30,34	30,12	29,60	30,27
Hora11	31,13	31,90	31,73	31,65	32,70	31,48	31,52	31,64	32,10	31,70	31,30	30,93	31,65
Hora12	32,30	33,18	31,85	31,65	32,17	31,78	31,94	32,18	33,06	31,74	31,00	30,83	31,97
Hora13	31,73	31,85	31,63	31,43	32,00	31,34	32,10	32,06	32,24	31,68	30,60	30,75	31,62
Hora14	31,33	32,03	31,93	31,58	32,17	31,04	31,24	31,28	31,82	31,10	30,68	29,98	31,36
Hora15	30,93	32,15	31,53	31,35	32,07	30,52	30,80	31,02	31,20	31,08	30,42	29,98	31,09
Hora16	30,90	31,55	31,48	30,88	31,50	30,16	31,06	30,86	31,08	30,38	29,22	29,45	30,70
Hora17	29,93	30,83	30,40	29,53	30,23	29,06	30,18	29,92	30,04	28,86	27,60	28,08	29,55
Hora18	28,25	29,63	29,33	28,13	28,80	27,96	28,60	28,24	28,52	27,54	26,44	26,90	28,19
Hora19	27,60	28,80	28,68	27,55	28,10	27,32	27,48	27,46	27,64	26,82	25,74	26,40	27,47
Hora20	27,00	28,30	28,25	27,33	27,77	26,84	26,88	26,80	27,02	26,24	25,42	25,98	26,98
Hora21	26,38	27,93	27,68	26,98	27,40	25,96	26,20	26,22	26,56	25,76	25,00	25,65	26,48
Hora22	25,98	27,30	27,13	26,35	27,13	25,84	25,86	25,70	25,94	25,48	24,52	25,10	26,03
Hora23	25,58	26,65	26,53	25,50	26,27	25,02	25,26	25,22	25,46	24,94	24,28	24,70	25,45
PROMEDIO	27,06	28,02	27,92	27,49	28,00	26,92	27,15	27,17	27,42	26,92	26,34	26,38	

Datos Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.

En la estación Club Campestre, la temperatura supera el umbral de confort térmico de 27,8 °C a partir de las 11:00 horas, manteniéndose por encima de este valor hasta las 16:00 horas, con un pico máximo cercano a 31,8 °C entre las 13:00 y 14:00 horas. Esto indica que la franja horaria crítica, en la que predominan condiciones de sobrecalentamiento, se concentra entre las 11:00 y las 16:00 horas, aunque con una menor amplitud horaria que en la estación Acapulco. Adicionalmente, el análisis estacional señala que los meses más calurosos corresponden a febrero,

marzo y septiembre, coincidiendo con la época de mayor radiación solar, lo que intensifica las temperaturas y reduce las condiciones de confort térmico en este sector.

Figura 7. Promedio Temperatura del Aire Máxima 2020-2024– Estación CDMB.

DATOS TEMPERATURA DEL AIRE MÁXIMA °C- ESTACION CDMB													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	24,83	25,49	25,79	24,00	25,42	23,54	24,22	23,66	24,97	24,07	24,00	24,31	24,52
Hora01	24,52	25,13	25,06	23,58	24,87	23,28	23,98	23,19	24,42	23,85	23,61	23,94	24,12
Hora02	24,28	24,57	24,52	23,36	24,86	23,01	23,71	22,89	24,03	23,42	23,31	23,47	23,79
Hora03	23,99	24,33	24,15	22,78	24,60	22,75	23,58	22,61	23,55	23,16	22,92	23,20	23,47
Hora04	23,57	24,11	24,05	22,57	24,08	22,34	23,26	22,43	23,54	23,07	22,69	22,76	23,20
Hora05	23,26	23,87	23,83	22,68	23,70	22,20	23,06	22,31	23,10	22,68	22,36	22,58	22,97
Hora06	23,08	23,69	23,88	22,64	23,66	22,20	22,72	22,34	23,04	22,67	22,72	22,53	22,93
Hora07	23,71	24,06	24,24	22,92	24,57	22,64	23,34	22,88	24,20	24,39	24,03	23,79	23,73
Hora08	25,93	26,07	25,86	24,98	26,45	23,96	25,48	24,69	26,14	25,79	25,85	25,90	25,69
Hora09	27,32	27,64	27,88	26,87	28,21	25,38	27,40	26,25	28,18	27,75	27,15	27,57	27,30
Hora10	29,33	29,32	29,68	27,86	29,85	27,26	29,09	27,91	29,68	29,23	28,90	29,20	28,94
Hora11	30,89	31,05	31,27	28,91	31,43	28,86	30,51	28,97	31,41	30,55	30,15	30,50	30,37
Hora12	31,89	32,05	31,49	29,07	31,93	29,30	30,61	30,07	31,85	31,00	30,49	30,89	30,87
Hora13	31,81	31,79	32,13	29,04	31,81	29,22	31,04	29,56	31,68	30,90	30,49	30,94	30,87
Hora14	31,55	32,18	31,89	28,95	31,41	28,47	30,24	29,45	31,18	30,23	30,09	30,72	30,53
Hora15	31,80	32,30	31,84	28,63	30,75	27,81	29,61	28,89	30,69	30,83	30,06	30,42	30,29
Hora16	30,80	31,21	31,24	28,07	30,19	27,33	28,97	28,30	30,33	29,20	28,91	29,53	29,51
Hora17	29,37	30,17	30,04	26,78	29,04	26,78	28,14	27,12	29,00	27,83	27,07	28,20	28,29
Hora18	27,57	28,50	28,35	25,71	27,66	25,93	26,97	25,76	27,63	26,41	25,90	26,49	26,91
Hora19	26,77	27,52	27,60	25,16	26,93	25,07	26,17	25,22	26,75	25,62	25,35	25,82	26,16
Hora20	26,38	27,09	27,17	24,85	26,65	24,61	25,82	24,79	26,31	25,38	25,29	25,46	25,81
Hora21	25,98	26,81	26,85	24,77	26,48	24,26	25,40	24,50	25,94	25,19	25,00	25,11	25,62
Hora22	25,59	26,50	26,59	24,36	26,08	23,94	25,13	23,96	25,59	24,72	24,61	24,83	25,16
Hora23	25,31	26,39	26,07	24,07	25,93	23,77	24,90	23,77	25,18	24,34	24,40	24,68	24,90
PROMEDIO	27,05	27,57	27,56	25,53	27,36	25,16	26,39	25,48	27,02	26,34	26,05	26,37	

Datos Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.

En la estación CDMB, los registros de temperatura muestran que la franja horaria con mayores valores se concentra entre las 10:00 y las 16:00 horas, alcanzando picos que superan los 30 °C, especialmente entre las 12:00 y las 15:00 horas, donde las temperaturas promedio llegan a estar por encima de los 31 °C. Estas condiciones indican una clara salida de la zona de confort térmico (27.8 °C), lo que evidencia un estrés térmico importante en horas centrales del día.

Al comparar con los valores más bajos observados en la madrugada y primeras horas de la mañana (por debajo de los 25 °C), se aprecia un contraste marcado en el ciclo térmico diario. Esto confirma que en esta estación la exposición al calor extremo es más crítica en el mediodía y primeras horas de la tarde, coincidiendo con los momentos de mayor radiación solar.

Figura 8. Resumen Promedio - Temperatura del Aire Máxima.

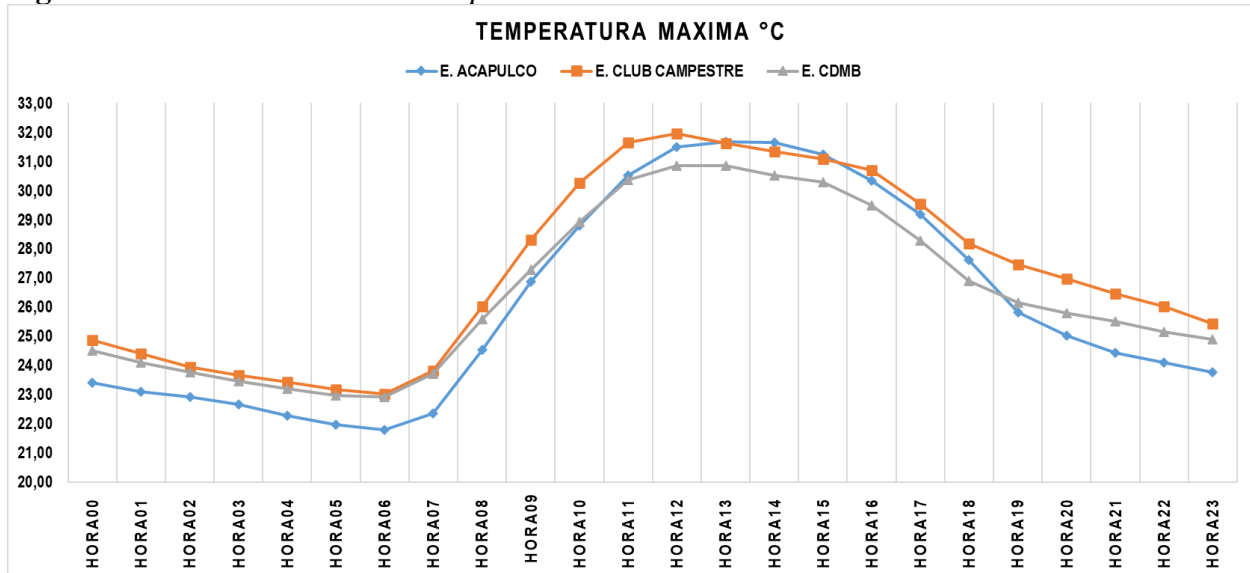
RESUMEN - TEMPERATURA DEL AIRE MAXIMA °C				
FECHA	E. ACAPULCO	E. CLUB CAMPESTRE	E. CDMB	PROMEDIO
Hora00	23,42	24,89	24,52	24,28
Hora01	23,12	24,42	24,12	23,88
Hora02	22,94	23,97	23,79	23,56
Hora03	22,68	23,66	23,47	23,27
Hora04	22,30	23,45	23,20	22,99
Hora05	21,98	23,18	22,97	22,71
Hora06	21,79	23,04	22,93	22,59
Hora07	22,35	23,83	23,73	23,30
Hora08	24,55	26,02	25,59	25,39
Hora09	26,89	28,33	27,30	27,50
Hora10	28,81	30,27	28,94	29,34
Hora11	30,53	31,65	30,37	30,85
Hora12	31,49	31,97	30,87	31,44
Hora13	31,68	31,62	30,87	31,39
Hora14	31,85	31,35	30,53	31,17
Hora15	31,23	31,09	30,29	30,87
Hora16	30,35	30,70	29,51	30,18
Hora17	29,20	29,55	28,29	29,01
Hora18	27,62	28,19	26,91	27,57
Hora19	25,82	27,47	26,16	26,48
Hora20	25,03	26,98	25,81	25,94
Hora21	24,46	26,48	25,52	25,49
Hora22	24,10	26,03	25,16	25,09
Hora23	23,78	25,45	24,90	24,71

Datos Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.

El análisis comparativo de las tres estaciones (Acapulco, Club Campestre y CDMB) evidencia un patrón térmico similar, con temperaturas mínimas en la madrugada (22–24 °C) y un ascenso progresivo que alcanza sus máximos entre las 11:00 y las 15:00 horas, momento en el que se superan los 27,8 °C, límite de confort térmico. La estación Acapulco registra picos de hasta 31,8 °C, principalmente en marzo, abril y septiembre, mientras que en el Club Campestre se observa una mayor persistencia de valores superiores a 30 °C durante el mediodía, lo que refleja una acumulación de calor más marcada en esta zona. Por su parte, la estación CDMB muestra las condiciones más críticas, con máximos cercanos a 32 °C entre las 12:00 y 14:00 horas, convirtiéndose en la de mayor nivel de estrés térmico. En conjunto, los meses más calurosos son los de transición climática (marzo-abril y agosto-septiembre), coincidiendo con los picos de radiación solar, se establece un gradiente de intensidad térmica de CDMB > Club Campestre >

Acapulco, lo que refleja diferencias locales en la acumulación de calor y en la exposición de la población a condiciones fuera de la zona de confort.

Figura 9. Resumen Promedio - Temperatura del Aire Máxima.



Datos Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.

La comparación de las estaciones Acapulco, Club Campestre y CDMB muestra que las temperaturas se mantienen estables en la madrugada (22–24 °C), pero aumentan rápidamente desde las primeras horas de la mañana. El rango crítico, con valores por encima de 27,8 °C, se concentra entre las 11:00 y 15:00 horas. En este periodo, el Club Campestre alcanza los registros más altos (cerca de 32 °C), mientras que Acapulco se mantiene como la estación más fresca y la CDMB ocupa un punto intermedio. Tras las 16:00 horas, la temperatura desciende de manera constante en las tres estaciones.

5.2.2 Humedad relativa

Unidad de medida: Porcentaje (%)

La humedad relativa constituye un factor determinante en la percepción térmica de los individuos, al modular la capacidad del cuerpo humano de disipar calor a través de la evaporación del sudor (Fanger, 1972) (Nikolopoulou y Steemers, 2003).

En climas tropicales como el de Bucaramanga, donde la humedad suele mantenerse en niveles elevados, su influencia es particularmente significativa al aumentar la sensación de bochorno en combinación con altas temperaturas.

Figura 10. Promedio Humedad Relativa 2020-2024 – Estación Acapulco.

DATOS HUMEDAD RELATIVA % - ESTACION ACAPULCO													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	94,98	96,13	96,87	95,85	96,46	95,47	89,39	96,43	96,74	90,69	96,38	89,55	94,58
Hora01	94,58	96,33	96,92	96,86	96,76	96,43	90,11	96,55	96,88	88,56	96,80	90,02	94,73
Hora02	95,98	96,82	97,25	96,61	95,88	96,88	90,64	96,84	97,14	87,00	96,95	90,08	94,84
Hora03	96,46	97,14	97,37	96,41	96,54	96,87	91,20	97,25	97,25	87,37	97,03	89,97	95,07
Hora04	96,48	97,10	97,45	96,15	96,65	96,96	91,57	97,30	97,30	87,81	97,26	90,45	95,21
Hora05	97,29	97,31	97,48	96,48	97,04	96,70	91,76	97,32	97,32	88,35	97,39	90,76	95,43
Hora06	97,68	97,72	97,54	96,44	97,06	96,98	92,26	97,35	97,40	88,28	97,44	90,67	95,57
Hora07	98,08	98,07	98,20	98,17	97,49	97,14	91,19	97,37	97,68	83,12	97,34	90,90	95,40
Hora08	97,75	97,75	97,06	97,68	96,89	95,53	83,77	97,08	97,58	77,49	96,26	85,25	93,34
Hora09	95,23	96,41	96,82	96,43	93,99	90,03	74,82	94,62	96,55	70,89	92,91	77,71	89,70
Hora10	89,58	92,00	94,59	96,34	89,77	84,18	66,55	88,60	92,05	63,22	91,16	69,27	84,77
Hora11	80,35	88,67	92,70	96,97	83,14	77,80	60,95	80,87	85,12	55,80	88,29	60,56	79,27
Hora12	76,01	85,15	89,50	95,63	84,10	75,01	58,13	73,11	78,05	55,26	90,94	56,52	76,45
Hora13	84,72	80,90	86,54	91,22	81,46	75,71	58,73	68,36	77,22	56,60	84,20	57,68	75,28
Hora14	86,13	77,73	85,80	88,50	84,84	74,20	60,56	70,83	78,46	57,70	81,55	57,54	75,32
Hora15	80,44	78,91	86,56	88,52	86,02	81,02	63,70	77,35	83,36	60,70	79,91	59,05	77,13
Hora16	83,12	83,52	90,13	86,51	83,55	82,14	67,20	86,18	90,66	63,91	85,95	62,73	80,47
Hora17	88,99	82,83	93,51	91,04	86,56	88,20	70,49	87,43	92,55	68,80	89,42	68,10	83,99
Hora18	90,24	85,13	92,73	93,28	87,99	92,82	75,25	91,72	93,72	76,17	91,50	75,76	87,19
Hora19	90,37	89,23	96,09	94,05	92,80	94,95	81,29	94,19	95,04	80,67	93,47	81,04	90,27
Hora20	91,82	92,26	97,18	94,80	95,13	95,18	84,93	95,87	96,06	82,89	94,64	84,38	92,09
Hora21	91,06	92,74	97,18	95,32	96,45	95,24	87,04	96,01	96,02	84,76	95,08	86,24	92,76
Hora22	93,12	92,82	96,89	95,08	96,28	95,27	88,21	96,07	96,61	88,49	95,34	87,77	93,50
Hora23	94,56	94,57	96,91	96,17	96,62	95,25	89,05	96,37	96,68	89,82	95,95	88,92	94,24
PROMEDIO	91,04	91,14	94,55	94,61	92,06	90,25	79,12	90,46	92,64	76,43	92,63	78,37	

Datos Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.

En la estación Acapulco, la humedad relativa alcanza sus valores más altos durante la madrugada y primeras horas de la mañana, con registros cercanos o superiores al 80 %. Conforme avanza el día, desciende progresivamente hasta registrar los valores más bajos entre las 12:00 y

15:00 horas, cuando se sitúa por debajo del 50 %, coincidiendo con el aumento de la temperatura. Hacia la tarde y la noche, los niveles de humedad se recuperan gradualmente, llegando de nuevo a superar el 70 %. En cuanto a la variación mensual, se observa que los rangos más amplios de humedad se presentan en los meses de junio y julio.

Figura 11. Promedio Humedad Relativa 2020-2024– Estación Club Campestre.

DATOS HUMEDAD RELATIVA % - ESTACION CLUB CAMPESTRE													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	86,97	85,90	88,48	90,92	91,78	93,96	92,48	92,90	93,60	94,09	96,76	93,59	91,79
Hora01	88,16	88,16	89,77	92,91	93,10	95,17	93,50	93,66	94,22	95,11	97,65	94,74	93,01
Hora02	89,47	89,38	91,34	93,51	94,32	95,72	94,54	94,72	95,54	96,26	98,01	95,49	94,02
Hora03	90,56	90,06	92,86	93,53	93,90	96,45	95,56	95,80	96,17	96,75	98,61	96,20	94,70
Hora04	91,05	91,16	93,49	94,83	95,03	96,82	95,78	95,83	96,61	96,97	98,72	96,94	95,27
Hora05	91,76	91,89	94,02	95,12	95,32	96,83	96,10	95,95	96,64	97,36	98,88	96,86	95,56
Hora06	92,03	92,83	94,40	95,29	96,76	97,06	96,62	96,46	97,16	97,47	97,96	97,31	95,94
Hora07	91,24	91,45	93,13	92,26	93,77	95,09	94,39	94,66	94,67	95,16	94,88	93,43	93,68
Hora08	83,74	86,34	86,08	84,68	85,23	87,61	86,81	87,10	87,03	87,99	87,69	86,19	86,37
Hora09	73,45	77,28	76,87	76,25	76,46	79,27	78,13	78,12	78,08	79,22	78,50	77,60	77,43
Hora10	64,41	69,82	69,24	68,49	69,83	72,21	70,52	70,37	69,88	71,70	71,64	70,38	69,88
Hora11	58,39	63,75	65,98	66,10	64,87	66,54	64,64	64,16	64,32	66,59	69,32	67,02	65,14
Hora12	60,22	63,35	66,33	66,44	65,74	66,32	64,13	63,70	63,99	67,57	71,14	69,72	65,72
Hora13	61,98	64,12	66,40	67,92	67,13	68,30	66,67	66,72	67,34	69,27	71,87	69,87	67,30
Hora14	62,58	63,46	66,31	68,59	67,72	70,86	69,25	69,88	70,04	70,99	73,10	70,96	68,63
Hora15	63,02	63,24	66,08	70,14	68,14	72,76	71,61	71,28	72,33	72,10	74,24	72,17	69,76
Hora16	64,01	63,74	67,46	71,58	70,67	74,65	73,69	73,89	73,90	74,14	77,16	73,85	71,56
Hora17	67,25	66,58	69,81	75,19	74,67	78,03	76,26	76,75	76,92	77,85	81,25	77,77	74,86
Hora18	72,90	71,07	73,96	79,04	78,84	81,74	80,21	80,95	81,50	82,41	85,45	82,50	79,22
Hora19	76,70	74,59	77,04	82,45	82,21	85,36	84,15	84,58	84,86	85,76	88,40	84,85	82,58
Hora20	78,92	76,72	79,12	84,74	85,54	87,92	86,54	87,00	86,94	88,30	90,03	86,17	84,83
Hora21	80,08	78,71	81,37	86,75	86,89	89,37	87,65	88,50	88,44	89,66	91,54	88,20	86,43
Hora22	81,28	80,67	84,06	88,36	88,63	91,08	88,97	89,95	90,28	91,06	93,26	90,04	88,13
Hora23	84,21	84,34	86,25	90,31	90,34	92,61	90,69	91,83	91,77	92,97	95,32	91,43	90,17
PROMEDIO	77,26	77,86	79,99	82,31	82,37	84,66	83,29	83,52	83,84	84,86	86,72	84,30	

Datos Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.

En la estación Club Campestre, la humedad relativa presenta un comportamiento similar al de otras zonas urbanas, con valores más altos en la madrugada y primeras horas de la mañana, que superan el 85 %. A lo largo del día, entre las 11:00 y las 15:00 horas, los registros disminuyen notablemente, alcanzando valores mínimos cercanos al 45 %, lo que coincide con las horas de mayor temperatura. Posteriormente, en la tarde y la noche, la humedad aumenta progresivamente hasta recuperar niveles cercanos al 75 %. En términos estacionales, los meses de abril y mayo destacan por mostrar los rangos más amplios de variación de humedad.

Figura 12. Promedio Humedad Relativa 2020-2024– Estación CDMB.

DATOS HUMEDAD RELATIVA %- ESTACION CDMB													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	93,47	95,76	96,41	97,15	98,28	97,33	98,14	97,14	97,55	97,95	98,80	96,75	97,06
Hora01	94,54	97,00	96,89	97,28	97,95	98,24	98,96	98,90	98,90	99,10	98,91	98,33	97,91
Hora02	95,80	97,43	98,80	98,50	98,45	98,48	98,24	98,73	98,75	99,33	98,78	98,18	98,29
Hora03	96,81	97,55	99,18	98,85	98,28	98,26	98,93	99,08	99,08	98,78	99,35	98,40	98,54
Hora04	97,12	98,53	99,38	98,28	98,80	98,50	98,55	98,83	98,85	98,88	99,45	97,87	98,58
Hora05	95,78	97,85	99,45	98,78	98,48	98,03	98,75	98,45	98,45	99,53	99,38	98,11	98,42
Hora06	96,47	97,53	98,93	98,93	98,53	98,65	98,19	98,43	98,43	98,53	99,25	98,38	98,43
Hora07	95,53	96,59	99,18	98,90	97,70	97,66	98,82	98,31	98,31	99,70	99,41	97,53	98,14
Hora08	92,90	95,86	96,13	96,15	93,23	95,31	97,87	96,97	96,97	98,73	98,00	95,91	96,17
Hora09	84,44	91,40	91,28	93,58	89,43	94,02	96,77	91,93	92,56	94,88	94,23	89,47	91,98
Hora10	76,85	89,57	90,15	92,36	83,07	88,56	96,01	88,10	89,81	92,18	88,23	86,77	88,45
Hora11	72,40	85,33	83,96	91,82	82,41	87,28	93,36	82,54	86,44	88,37	86,60	84,65	85,43
Hora12	70,43	84,29	82,33	88,02	83,78	87,43	90,60	82,11	82,11	85,71	87,11	83,38	83,94
Hora13	70,02	80,95	81,73	84,74	87,89	86,05	89,93	82,47	88,66	88,28	91,93	83,95	84,72
Hora14	73,44	78,98	82,33	86,00	92,06	90,79	91,61	87,61	90,79	89,28	88,86	85,85	86,46
Hora15	71,91	77,54	79,76	84,59	91,17	92,46	94,10	88,84	89,16	87,78	87,93	83,20	85,70
Hora16	75,88	82,18	81,88	85,68	93,51	91,37	95,38	89,43	89,96	90,35	92,14	84,34	87,64
Hora17	79,23	84,50	83,17	89,32	91,30	95,56	94,89	88,21	90,40	92,08	92,77	86,75	89,01
Hora18	83,99	86,51	88,18	90,86	91,99	95,23	96,36	92,27	94,46	94,61	94,94	89,48	91,57
Hora19	87,20	90,31	90,55	93,75	95,42	98,29	97,90	92,56	94,30	96,61	96,26	93,75	93,91
Hora20	87,93	90,60	92,16	94,78	97,30	97,30	97,28	95,84	96,22	96,67	96,32	93,46	94,65
Hora21	87,91	93,22	95,16	94,14	98,59	96,90	98,76	97,35	97,83	97,95	98,76	95,97	96,04
Hora22	87,33	95,48	95,53	96,16	96,65	97,52	98,48	96,35	96,70	98,95	99,15	95,51	96,15
Hora23	89,96	95,56	95,32	96,83	99,05	96,66	97,75	97,76	97,88	99,15	98,31	94,06	96,51
PROMEDIO	85,70	90,85	91,57	93,55	93,89	94,83	96,48	93,26	94,27	95,17	95,20	92,08	

Datos Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.

En la estación CDMB, la humedad relativa mantiene un patrón marcado por valores altos en las horas nocturnas y de la madrugada, con registros superiores al 80 %. Durante el día, particularmente entre las 12:00 y las 16:00 horas, la humedad desciende a valores mínimos de alrededor del 50 %, en concordancia con el aumento de la radiación solar y la temperatura. Posteriormente, a partir de la tarde, se evidencia una recuperación progresiva hasta alcanzar nuevamente niveles superiores al 75 % en la noche. En el análisis mensual, los valores más altos de humedad se presentan en octubre y noviembre, meses correspondientes al segundo periodo de lluvias en la región, mientras que los valores más bajos se concentran en enero y febrero, asociados a la temporada seca.

Figura 13. Resumen Promedio - Humedad Relativa.

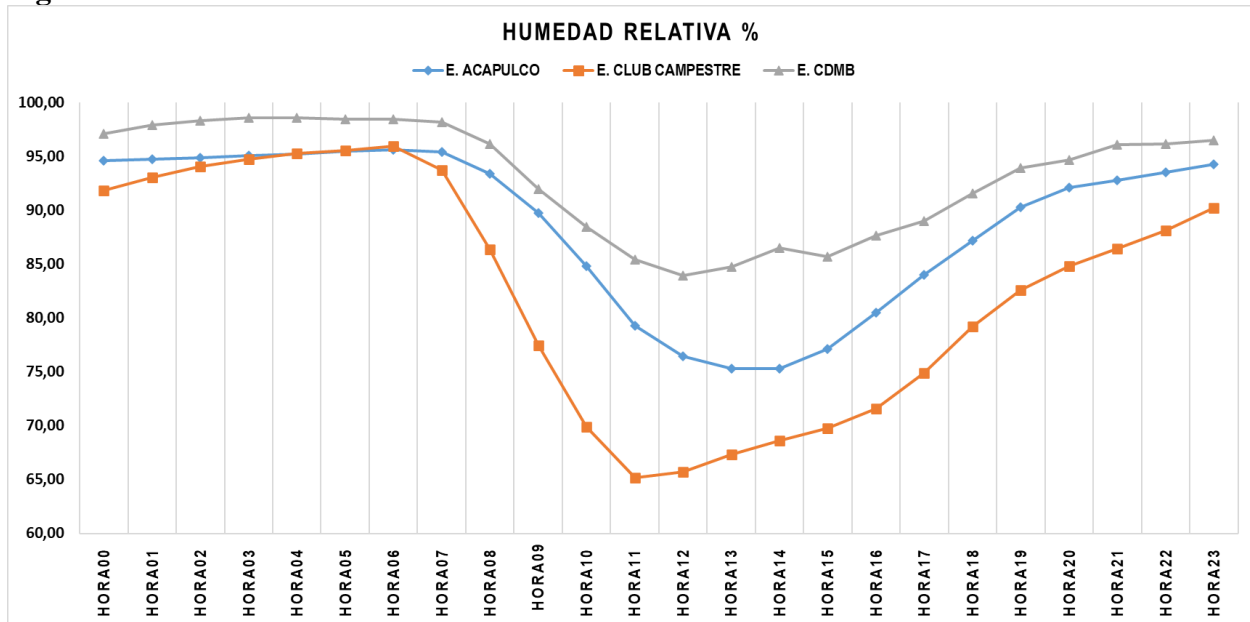
RESUMEN - HUMEDAD RELATIVA %				
FECHA	E. ACAPULCO	E. CLUB CAMPESTRE	E. CDMB	PROMEDIO
Hora00	94,58	91,79	97,06	94,47
Hora01	94,73	93,01	97,91	95,22
Hora02	94,84	94,02	98,29	95,72
Hora03	95,07	94,70	98,54	96,11
Hora04	95,21	95,27	98,58	96,35
Hora05	95,43	95,56	98,42	96,47
Hora06	95,57	95,94	98,43	96,65
Hora07	95,40	93,68	98,14	95,74
Hora08	93,34	86,37	96,17	91,96
Hora09	89,70	77,43	91,98	86,37
Hora10	84,77	69,88	88,45	81,03
Hora11	79,27	65,14	85,43	76,61
Hora12	76,45	65,72	83,94	75,37
Hora13	75,28	67,30	84,72	75,76
Hora14	75,32	68,63	86,46	76,80
Hora15	77,13	69,76	85,70	77,53
Hora16	80,47	71,56	87,64	79,89
Hora17	83,99	74,86	89,01	82,62
Hora18	87,19	79,22	91,57	85,99
Hora19	90,27	82,58	93,91	88,92
Hora20	92,09	84,83	94,65	90,53
Hora21	92,76	86,43	96,04	91,75
Hora22	93,50	88,13	96,15	92,59
Hora23	94,24	90,17	96,51	93,64

Datos Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.

Al comparar las tres estaciones, se observa un comportamiento similar en el ciclo diario de la humedad relativa: valores altos durante la madrugada y la noche (superiores al 80 %) y descensos significativos en las horas centrales del día, alcanzando mínimos entre el 50 % y 60 %. Sin embargo, existen diferencias notables en la magnitud y estabilidad de los registros.

En términos mensuales, las tres estaciones coinciden en registrar los valores mínimos de humedad relativa durante enero y febrero (época seca), mientras que los valores más altos se concentran en octubre y noviembre, asociados a la segunda temporada de lluvias. Esto permite concluir que, aunque el patrón general de comportamiento es semejante, las diferencias en cobertura vegetal, localización y condiciones microclimáticas explican las variaciones observadas en la magnitud de los valores diarios y mensuales.

Figura 14. Resumen Promedio - Humedad Relativa.



Datos Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.

La estación Acapulco presenta una mayor variabilidad diaria, con descensos más pronunciados al mediodía, lo que indica una mayor influencia de la radiación solar directa y temperaturas más elevadas. En contraste, la estación Club Campestre mantiene niveles relativamente más estables, con descensos menos abruptos, lo que sugiere una mayor cobertura vegetal que atenúa la disminución de la humedad. Por su parte, la estación CDMB muestra los valores más altos en las noches y madrugadas, superando incluso a las otras dos estaciones, y refleja un aumento más marcado en los meses lluviosos (octubre y noviembre).

5.2.3 Velocidad del viento

Unidad de medida: km/h

El viento es un regulador fundamental del microclima urbano, ya que favorece la dispersión de contaminantes y contribuye al intercambio de calor y humedad entre la superficie y la atmósfera.

Su papel en el confort térmico es crucial, pues puede atenuar la sensación de calor en climas cálidos y húmedos, pero también intensificar la incomodidad en condiciones frías (Oke, 2006). La medición de la velocidad y dirección del viento a escala horaria permite identificar patrones de ventilación natural en las ciudades, así como zonas de estancamiento térmico, lo que aporta información clave para el diseño urbano y la planificación de estrategias de mitigación del calor.

Figura 15. Promedio Velocidad del Viento 2024 – Estación Acapulco.

DATOS VELOCIDAD VIENTO km/h - ESTACION ACAPULCO													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00						0,00	0,00	0,04	0,12	0,42	0,25	0,29	0,16
Hora01						0,01	0,03	0,38	0,16	0,38	0,13	0,23	0,19
Hora02						0,01	0,04	0,34	0,25	0,31	0,16	0,16	0,18
Hora03						0,03	0,00	0,19	0,26	0,20	0,14	0,17	0,14
Hora04						0,00	0,00	0,34	0,24	0,18	0,13	0,21	0,16
Hora05						0,00	0,00	0,24	0,25	0,18	0,15	0,16	0,14
Hora06						0,00	0,00	0,20	0,20	0,09	0,13	0,19	0,12
Hora07						0,00	0,00	0,29	0,21	0,22	0,08	0,20	0,14
Hora08						0,00	0,00	0,34	0,27	0,49	0,11	0,35	0,22
Hora09						0,04	0,01	0,79	0,39	0,56	0,27	0,54	0,37
Hora10						0,03	0,00	1,02	0,46	0,61	0,49	0,65	0,47
Hora11						0,01	0,03	1,07	0,52	0,71	0,66	1,03	0,68
Hora12						0,18	0,20	0,98	0,93	1,19	1,13	1,37	0,85
Hora13						0,48	0,47	1,17	1,52	1,47	1,48	1,66	1,18
Hora14						0,66	0,44	1,88	1,61	1,58	1,52	1,78	1,35
Hora15						0,63	0,56	1,53	1,92	1,60	1,54	1,76	1,36
Hora16						0,50	0,46	1,17	1,69	1,50	1,47	1,82	1,23
Hora17						0,27	0,29	1,07	1,32	1,28	1,24	1,57	1,01
Hora18						0,26	0,23	1,13	1,06	0,98	1,05	1,24	0,85
Hora19						0,09	0,12	1,08	0,69	0,89	0,98	0,98	0,69
Hora20						0,03	0,08	0,43	0,32	0,69	0,94	0,79	0,47
Hora21						0,04	0,06	0,24	0,13	0,35	0,85	0,50	0,31
Hora22						0,03	0,04	0,04	0,05	0,32	0,60	0,43	0,22
Hora23						0,01	0,00	0,00	0,07	0,25	0,38	0,43	0,16
PROMEDIO						0,14	0,13	0,67	0,61	0,68	0,66	0,77	

En la estación Acapulco, la velocidad del viento se mantiene en valores bajos durante la mayor parte del día, con registros generalmente por debajo de 2 km/h. Los picos más altos ocurren en la franja de la tarde, entre las 14:00 y 16:00 horas, alcanzando valores cercanos a 3 m/s, coincidiendo con las horas de mayor radiación solar y convección térmica. A nivel mensual, los meses de julio y agosto presentan las mayores intensidades, mientras que en noviembre y diciembre se registran los valores más bajos, reflejando condiciones de calma predominantes

Figura 16. Promedio Velocidad del Viento 2024– Estación Club Campestral.

DATOS VELOCIDAD VIENTO km/h - ESTACION CLUB CAMPESTRE													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	0,38	0,44	0,40	0,46	0,48	0,35	0,40	0,40	0,42	0,41	0,38		0,41
Hora01	0,35	0,54	0,39	0,41	0,40	0,35	0,35	0,48	0,39	0,44	0,33		0,40
Hora02	0,36	0,37	0,42	0,44	0,44	0,39	0,42	0,42	0,44	0,41	0,39		0,41
Hora03	0,38	0,41	0,45	0,48	0,38	0,39	0,36	0,43	0,42	0,41	0,32		0,40
Hora04	0,36	0,46	0,37	0,44	0,38	0,36	0,32	0,44	0,41	0,40	0,37		0,39
Hora05	0,37	0,44	0,42	0,37	0,30	0,38	0,37	0,39	0,44	0,35	0,33		0,38
Hora06	0,39	0,46	0,36	0,44	0,34	0,38	0,36	0,35	0,40	0,44	0,35		0,39
Hora07	0,36	0,49	0,42	0,46	0,42	0,41	0,35	0,54	0,50	0,39	0,48		0,44
Hora08	0,60	0,53	0,51	0,47	0,52	0,50	0,48	0,58	0,65	0,71	0,54		0,55
Hora09	0,59	0,66	0,68	0,63	0,64	0,66	0,71	0,75	0,73	0,74	0,67		0,68
Hora10	0,71	0,90	0,88	0,84	0,80	0,73	0,70	0,82	0,80	0,96	0,86		0,82
Hora11	1,12	1,20	1,21	1,18	1,08	0,96	0,94	1,02	0,94	1,13	1,30		1,10
Hora12	1,84	1,93	1,69	1,51	1,41	1,38	1,28	1,36	1,40	1,64	1,75		1,56
Hora13	2,08	2,26	1,93	1,66	1,74	1,48	1,61	1,60	1,71	1,77	1,85		1,81
Hora14	2,09	2,15	1,84	1,74	1,84	1,57	1,50	1,55	1,63	1,75	1,91		1,78
Hora15	2,13	2,26	1,77	1,63	1,69	1,56	1,39	1,61	1,72	1,84	1,74		1,76
Hora16	1,95	2,20	1,78	1,33	1,54	1,40	1,40	1,51	1,67	1,54	1,54		1,82
Hora17	1,77	1,81	1,60	1,42	1,48	1,19	1,39	1,20	1,38	1,23	1,45		1,45
Hora18	1,27	1,42	1,14	1,13	1,02	0,88	0,99	1,01	1,06	1,00	1,05		1,09
Hora19	0,90	0,95	0,82	0,88	0,74	0,72	0,71	0,69	0,71	0,90	0,88		0,81
Hora20	0,67	0,90	0,68	0,66	0,68	0,68	0,59	0,50	0,66	0,77	0,67		0,68
Hora21	0,45	0,62	0,66	0,50	0,54	0,50	0,52	0,58	0,57	0,53	0,59		0,55
Hora22	0,42	0,58	0,46	0,38	0,52	0,49	0,47	0,51	0,52	0,52	0,41		0,48
Hora23	0,44	0,52	0,38	0,41	0,38	0,44	0,41	0,45	0,46	0,46	0,41		0,43
PROMEDIO	0,92	1,02	0,89	0,84	0,82	0,76	0,75	0,80	0,83	0,86	0,86		

En la estación Club Campestral, la velocidad del viento presenta un comportamiento similar al de Acapulco, con predominio de valores bajos que rara vez superan los 2.5 km/h. Los registros más altos se concentran en la franja horaria de la tarde (13:00 a 16:00 horas), lo que coincide con el incremento de la radiación solar y la generación de corrientes térmicas locales. A nivel estacional, los meses de julio y agosto evidencian los mayores valores, mientras que en noviembre y diciembre se observan las condiciones más estables y con menor movimiento de aire.

Figura 17. Promedio Velocidad del Viento 2024– Estación CDMB.

DATOS VELOCIDAD VIENTO km/h - ESTACION CDMB													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	0,51	0,61	0,66	0,55	0,65	0,55	0,61	0,61	0,57	0,57	0,64	0,55	0,59
Hora01	0,58	0,79	0,73	0,72	0,52	0,60	0,48	0,56	0,49	0,72	0,59	0,76	0,63
Hora02	0,66	0,63	0,67	0,49	0,56	0,64	0,78	0,64	0,75	0,76	0,57	0,70	0,65
Hora03	0,60	0,72	0,65	0,75	0,57	0,55	0,54	0,72	0,75	0,63	0,59	0,70	0,65
Hora04	0,72	0,66	0,49	0,72	0,70	0,57	0,59	0,61	0,65	0,74	0,79	0,69	0,66
Hora05	0,66	0,60	0,68	0,60	0,70	0,54	0,54	0,71	0,70	0,74	0,74	0,67	0,66
Hora06	0,51	0,64	0,70	0,69	0,50	0,69	0,66	0,62	0,63	0,61	0,62	0,57	0,62
Hora07	0,64	0,54	0,69	0,67	0,58	0,55	0,66	0,81	0,74	0,58	0,65	0,71	0,65
Hora08	0,79	0,80	0,74	0,81	0,73	0,83	0,75	0,73	0,70	0,77	0,55	0,89	0,76
Hora09	0,94	0,91	0,87	0,93	1,04	0,93	0,76	0,88	0,81	0,79	0,79	0,80	0,87
Hora10	0,96	1,11	0,93	0,92	0,96	0,77	0,75	0,94	0,99	1,12	0,65	1,10	0,93
Hora11	1,13	1,22	1,12	1,12	1,20	0,87	0,99	1,00	0,75	0,92	1,02	0,97	1,03
Hora12	1,08	1,23	1,13	1,22	1,31	1,07	0,94	1,06	1,21	1,35	1,17	1,11	1,16
Hora13	1,34	1,32	1,22	1,54	1,25	1,30	1,39	1,24	1,28	1,17	1,34	1,51	1,33
Hora14	1,20	1,45	1,53	1,45	1,05	1,01	1,28	1,41	1,35	1,19	1,32	1,17	1,28
Hora15	1,44	1,25	1,36	1,06	1,39	1,31	1,28	1,04	1,37	1,32	0,97	1,34	1,26
Hora16	1,23	1,18	1,17	1,29	0,98	1,24	1,10	1,14	1,23	1,35	1,02	1,39	1,19
Hora17	1,09	1,05	1,14	1,01	1,03	1,23	1,09	0,97	1,31	1,24	1,35	1,33	1,15
Hora18	0,89	0,88	0,86	0,73	1,00	0,87	0,87	0,86	0,78	1,05	0,89	0,91	0,88
Hora19	0,69	0,87	0,72	0,77	0,74	0,74	0,76	0,77	0,91	0,63	0,80	0,82	0,77
Hora20	0,69	0,57	0,59	0,97	0,52	0,66	0,70	0,74	0,74	0,73	0,87	0,67	0,70
Hora21	0,58	0,50	0,68	0,80	0,61	0,66	0,56	0,81	0,79	0,59	0,75	0,89	0,69
Hora22	0,63	0,64	0,65	0,49	0,66	0,66	0,53	0,85	0,74	0,64	0,62	0,52	0,64
Hora23	0,67	0,61	0,56	0,46	0,56	0,60	0,57	0,62	0,65	0,56	0,68	0,64	0,60
PROMEDIO	0,84	0,87	0,86	0,66	0,83	0,81	0,80	0,85	0,87	0,87	0,83	0,89	

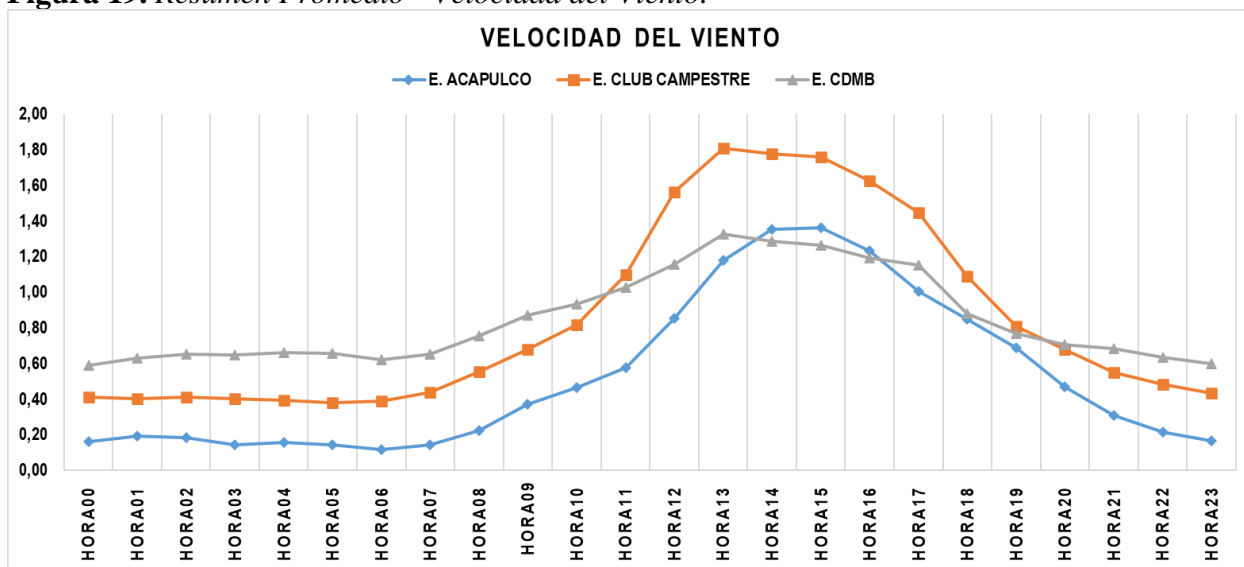
En la estación CDMB, la velocidad del viento se mantiene en valores generalmente bajos, con un rango predominante entre 0.5 y 2.0 km/h. Los picos más notables se presentan en horas de la tarde (12:00 a 16:00 horas), cuando las temperaturas son más elevadas y se intensifican los flujos convectivos. A nivel anual, los meses de agosto y septiembre registran las velocidades más altas, mientras que en abril y noviembre se evidencian las menores intensidades de viento, reflejando condiciones más estables.

Figura 18. *Resumen Promedio - Velocidad del Viento.*

RESUMEN - VELOCIDAD VIENTO km/h				
FECHA	E. ACAPULCO	E. CLUB CAMPESTRE	E. CDMB	PROMEDIO
Hora00	0,16	0,41	0,59	0,39
Hora01	0,19	0,40	0,63	0,41
Hora02	0,18	0,41	0,65	0,42
Hora03	0,14	0,40	0,65	0,40
Hora04	0,16	0,39	0,66	0,40
Hora05	0,14	0,38	0,66	0,39
Hora06	0,12	0,39	0,62	0,37
Hora07	0,14	0,44	0,65	0,41
Hora08	0,22	0,55	0,76	0,51
Hora09	0,37	0,68	0,87	0,64
Hora10	0,47	0,82	0,93	0,74
Hora11	0,58	1,10	1,03	0,90
Hora12	0,85	1,56	1,16	1,19
Hora13	1,18	1,81	1,33	1,44
Hora14	1,35	1,78	1,28	1,47
Hora15	1,36	1,76	1,26	1,46
Hora16	1,23	1,62	1,19	1,35
Hora17	1,01	1,45	1,15	1,20
Hora18	0,85	1,09	0,88	0,94
Hora19	0,69	0,81	0,77	0,76
Hora20	0,47	0,68	0,70	0,62
Hora21	0,31	0,55	0,69	0,52
Hora22	0,22	0,48	0,64	0,44
Hora23	0,16	0,43	0,60	0,40

El análisis comparativo de la velocidad del viento en las tres estaciones (Acapulco, Club Campestre y CDMB) muestra un comportamiento en general débil, con valores predominantes entre 2 y 7 km/h. En la estación Acapulco, los registros se mantienen más estables, con picos ligeros en horas de la tarde que alcanzan alrededor de 9 km/h. En el caso de la estación Club Campestre, se observa un patrón similar, aunque con incrementos más notorios hacia el mediodía y primeras horas de la tarde, lo cual coincide con el aumento de la temperatura y la radiación solar. Finalmente, la estación CDMB presenta los valores más altos dentro de las tres, con máximos que superan los 10 km/h, especialmente durante los meses de agosto y septiembre, mostrando una mayor variabilidad respecto a las otras dos estaciones.

Figura 19. Resumen Promedio - Velocidad del Viento.



La gráfica comparativa de velocidad del viento (km/h) entre las estaciones de Acapulco, Club Campestre y CDMB evidencia un comportamiento predominantemente bajo, con valores en su mayoría inferiores a 7 km/h. La estación Acapulco presenta una dinámica más estable con picos discretos en horas de la tarde, mientras que en la estación Club Campestre se observan ligeros incrementos hacia el mediodía y primeras horas de la tarde, en correspondencia con el aumento de la radiación solar. Por su parte, la estación CDMB registra los valores más altos y variables, alcanzando máximos superiores a 10 km/h en algunos meses, especialmente en la segunda mitad del año. En conjunto, los datos confirman que el área metropolitana de Bucaramanga se caracteriza por vientos débiles

5.2.4 Radiación solar

Unidad de medida: Wh/m²

La radiación solar es la principal fuente de energía que impulsa los procesos climáticos y urbanos, incidiendo sobre las superficies construidas y naturales, modificando su temperatura y la

del aire circundante. En el contexto urbano, la intensidad y distribución de la radiación solar están condicionadas por la geometría de la ciudad, la presencia de vegetación, el albedo de los materiales y las sombras proyectadas (Gómez, et ál., 2013) (Emmanuel, 2016).

Figura 20. Promedio Radicación Solar 2020-2024 – Estación Acapulco.

DATOS RADIACION SOLAR W/m ² - ESTACION ACAPULCO													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	0,01
Hora06	0,00	0,00	6,00	0,14	10,88	3,36	0,52	0,52	0,52	9,15	11,55	0,32	3,58
Hora07	47,20	59,53	95,80	100,96	99,91	101,09	45,07	120,73	150,05	71,18	76,85	29,84	88,18
Hora08	213,09	251,70	299,72	288,68	272,79	318,31	190,50	286,58	304,73	164,64	204,55	129,31	243,72
Hora09	434,35	446,77	519,50	456,43	538,48	545,63	377,37	488,41	548,75	274,23	397,81	235,52	438,60
Hora10	597,37	669,80	676,65	685,48	878,57	839,47	617,16	787,83	843,78	444,79	588,88	349,91	664,97
Hora11	794,47	845,58	913,84	802,98	1062,46	976,27	744,99	972,92	1009,08	750,19	955,40	634,07	871,85
Hora12	942,10	954,40	967,76	906,94	1117,39	979,71	757,72	1064,79	1106,08	801,48	1044,98	780,26	951,97
Hora13	974,11	975,31	991,24	946,63	1157,21	1053,87	760,05	1104,26	1108,09	750,49	976,32	708,57	958,85
Hora14	883,39	955,87	938,22	929,70	1098,95	1023,30	647,14	1052,90	1100,90	706,41	957,89	681,26	914,66
Hora15	781,15	842,82	859,69	799,00	985,97	913,74	507,98	942,42	956,17	510,35	795,25	561,04	787,97
Hora16	467,18	771,02	769,08	629,54	767,31	629,39	354,44	670,11	687,36	312,20	557,09	319,65	577,86
Hora17	237,69	542,38	410,61	424,05	443,67	435,25	219,39	401,71	417,71	141,68	213,31	150,28	336,48
Hora18	89,61	377,59	187,22	202,43	230,56	179,33	80,96	175,31	181,81	23,17	63,86	23,18	151,25
Hora19	0,49	252,61	31,12	31,76	23,78	4,74	2,61	44,16	44,16	0,00	8,50	0,00	36,99
Hora20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROMEDIO	269,26	331,06	319,44	300,20	362,00	333,48	221,08	338,03	352,47	206,67	285,51	191,80	

Se evidencia un patrón típico de incremento en horas de la mañana, alcanzando los valores máximos entre las 11:00 y 14:00 horas, con descensos hacia la tarde y registros nulos en la noche. El mes con mayor radiación solar corresponde a febrero, con valores máximos que superan los 1100 W/m².

Figura 21. Promedio Radicación Solar 2020-2024– Estación Club Campestre.

DATOS RADIACION SOLAR W/m² - ESTACION CLUB CAMPESTRE													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Hora05	0,00	0,00	0,25	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,80	0,75	0,44
Hora06	0,00	0,00	19,75	29,50	12,00	7,80	2,40	2,20	3,60	4,20	68,20	20,00	14,14
Hora07	59,75	49,75	126,25	158,50	132,67	109,20	104,40	109,80	127,40	82,40	201,60	97,00	113,23
Hora08	206,25	207,00	277,75	315,00	275,33	291,80	308,80	275,00	303,60	206,20	329,40	247,00	270,26
Hora09	364,50	382,50	496,00	477,25	390,00	442,20	451,40	453,80	462,20	347,80	464,80	404,25	423,06
Hora10	518,75	545,50	576,00	602,00	503,00	588,00	585,00	597,40	613,40	460,40	520,80	523,00	552,77
Hora11	638,50	637,00	653,00	676,75	602,67	670,40	694,80	690,20	694,60	546,60	536,80	597,50	636,57
Hora12	683,50	726,00	710,25	734,75	651,33	656,00	650,80	664,40	701,60	585,60	542,20	602,00	659,04
Hora13	676,00	721,25	699,50	657,50	606,67	724,40	750,00	744,20	759,40	564,40	504,80	604,75	667,74
Hora14	619,25	659,25	651,25	607,25	532,67	679,40	675,60	604,80	631,00	518,60	428,40	480,25	590,64
Hora15	514,25	562,00	553,50	470,75	489,33	558,20	561,40	491,00	498,00	426,80	359,00	429,00	492,77
Hora16	385,75	408,75	392,25	336,00	343,33	441,00	430,00	380,20	386,60	311,00	260,00	278,50	362,78
Hora17	198,00	242,00	242,75	148,75	192,00	232,40	250,60	253,20	253,20	162,60	102,20	127,25	200,41
Hora18	42,75	50,50	68,75	28,75	38,00	73,40	80,40	73,00	73,00	25,80	7,80	20,75	48,58
Hora19	0,00	1,00	0,50	0,00	1,67	1,40	2,80	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,85
Hora20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Hora21	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Hora22	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Hora23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROMEDIO	204,47	216,35	225,32	218,47	199,06	228,15	231,18	222,53	229,54	176,77	180,41	184,67	

Se observa un patrón de incremento progresivo en horas de la mañana, con picos máximos entre las 10:00 y 14:00 horas, y descenso en la tarde, con registros nulos en la noche. El mes con mayor radiación corresponde a marzo, alcanzando valores máximos cercanos a los 750 W/m², mientras que los niveles más bajos se presentan en los meses de junio y julio.

Figura 22. Promedio Radicación Solar 2020-2024– Estación CDMB.

DATOS RADIACION SOLAR W/m² - ESTACION CDMB													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01
Hora05	46,09	0,00	154,09	445,17	445,17	469,61	131,65	0,80	1,44	2,91	3,30	1,20	141,79
Hora06	465,63	656,73	397,97	309,97	314,02	279,03	28,68	29,59	51,28	65,30	96,71	39,61	227,88
Hora07	187,17	705,16	204,00	194,35	262,44	136,40	165,35	178,71	265,37	273,98	332,83	190,98	258,06
Hora08	439,96	456,91	463,25	538,81	553,57	380,14	501,80	466,27	510,57	508,89	556,29	430,81	483,94
Hora09	666,70	683,01	725,25	777,82	748,22	559,14	726,26	740,88	766,43	741,03	792,10	662,97	715,82
Hora10	863,10	891,88	917,33	991,14	941,83	699,21	904,49	918,37	923,62	882,67	906,44	806,07	887,18
Hora11	1002,92	1006,00	1016,10	1059,75	1000,29	785,41	980,75	1016,75	1035,13	951,39	953,33	874,92	973,56
Hora12	1064,25	1067,75	1093,38	1071,15	1079,50	820,83	997,45	1011,36	1081,04	1012,50	991,56	947,05	1019,82
Hora13	1082,51	1103,00	1070,79	1058,43	1086,34	734,13	962,13	1060,72	1100,34	998,82	941,51	874,01	1006,06
Hora14	939,09	986,19	983,61	996,30	1019,77	671,70	859,90	949,81	957,06	791,16	819,66	806,26	893,37
Hora15	769,47	780,87	768,50	766,47	652,13	396,39	495,87	748,64	787,17	741,21	669,73	627,14	683,80
Hora16	486,33	527,89	506,93	523,07	462,66	261,27	343,62	511,75	514,00	453,48	421,45	401,22	451,14
Hora17	668,32	486,37	560,90	813,16	804,14	1032,79	198,80	249,77	249,77	188,28	143,68	159,95	462,99
Hora18	203,19	349,72	484,09	157,72	158,98	349,17	259,08	54,94	54,94	26,96	11,92	26,85	178,13
Hora19	0,22	1,83	0,39	0,23	0,25	0,82	1,56	0,49	0,49	0,00	0,00	0,00	0,52
Hora20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROMEDIO	370,21	404,30	389,44	404,31	397,05	315,75	314,89	330,79	345,78	318,27	318,35	285,38	

Se evidencia un comportamiento similar al patrón estacional típico, con ausencia de radiación durante la noche y aumento progresivo desde primeras horas de la mañana. El mes con mayores registros corresponde a marzo, alcanzando picos que superan los 1.080 W/m², siendo el máximo identificado alrededor del mediodía (11:00 a 13:00 horas). Las franjas críticas de radiación se concentran entre las 10:00 y 14:00 horas

Figura 23. *Resumen Promedio - Radicación Solar.*

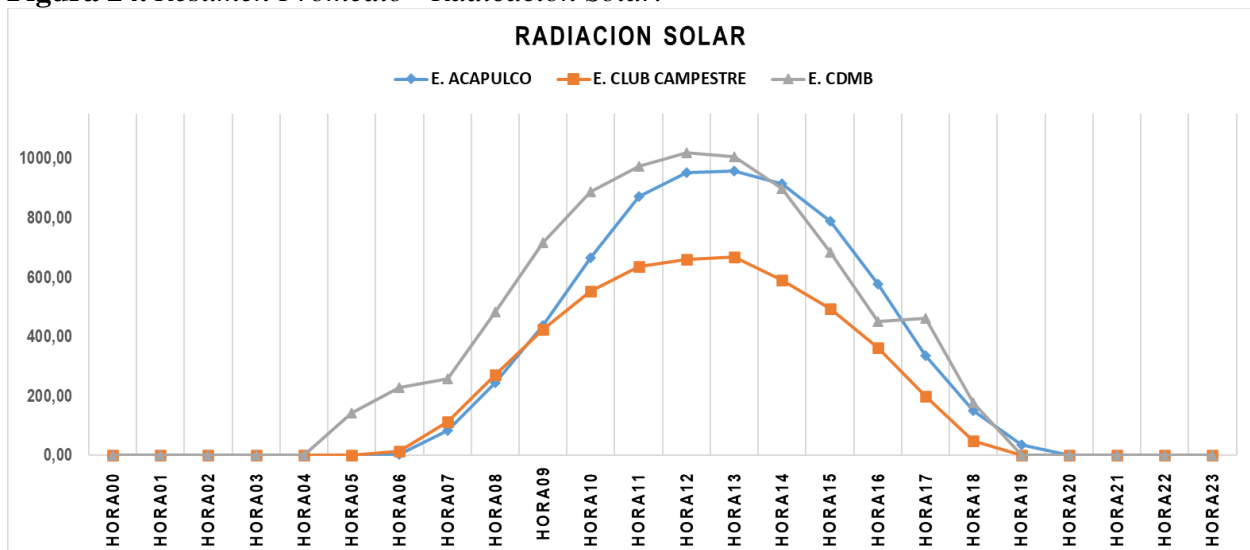
RESUMEN - RADIACION SOLAR W/m ²				
FECHA	E. ACAPULCO	E. CLUB CAMPESTRE	E. CDMB	PROMEDIO
Hora00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora01	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora02	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora03	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora04	0,00	0,14	0,01	0,05
Hora05	0,01	0,44	141,79	47,41
Hora06	3,58	14,14	227,88	81,86
Hora07	83,18	113,23	258,06	151,49
Hora08	243,72	270,26	483,94	332,64
Hora09	438,60	423,06	715,82	525,83
Hora10	664,97	552,77	887,18	701,64
Hora11	871,85	636,57	973,56	827,33
Hora12	951,97	659,04	1019,82	876,94
Hora13	958,85	667,74	1006,06	877,55
Hora14	914,66	590,64	898,37	801,23
Hora15	787,97	492,77	683,80	654,84
Hora16	577,86	362,78	451,14	463,93
Hora17	336,48	200,41	462,99	333,30
Hora18	151,25	48,58	178,13	125,99
Hora19	36,99	0,85	0,52	12,79
Hora20	0,00	0,14	0,00	0,05
Hora21	0,00	0,14	0,00	0,05
Hora22	0,00	0,14	0,00	0,05
Hora23	0,00	0,00	0,00	0,00

Comparativo de radiación solar entre tres estaciones. La tabla presenta los valores horarios promediados de radiación registrados en las estaciones analizadas, evidenciando un patrón homogéneo en la distribución diaria y estacional. Los picos de radiación se concentran entre las 10:00 y 14:00 horas, alcanzando máximos superiores a los 1.000 W/m², mientras que en horas tempranas de la mañana y finales de la tarde los valores descienden progresivamente hasta llegar a cero en horario nocturno. Las tres estaciones muestran coherencia en el comportamiento general,

aunque con ligeras variaciones en magnitud, atribuibles a condiciones locales de nubosidad, altitud y entorno urbano inmediato.

Para garantizar una representación más robusta y reducir posibles sesgos asociados a una sola estación, en el presente análisis climático se trabajará con los valores promedios de las tres estaciones, lo cual permitirá una mayor fiabilidad en las simulaciones microclimáticas orientadas al estudio del confort térmico urbano.

Figura 24. Resumen Promedio - Radicación Solar.



La *Figura 24* muestra el comportamiento típico de la radiación solar a lo largo del día, iniciando alrededor de las 05:00–06:00 horas, con un ascenso progresivo hasta alcanzar los valores máximos entre las 11:00 y 14:00 horas, donde se registran intensidades cercanas a los 1.000 W/m² en la estación CDMB y ligeramente inferiores en Acapulco y Club Campestre. Posteriormente, la radiación disminuye de forma constante hasta llegar a cero a partir de las 18:00–19:00 horas.

El comportamiento es consistente entre las tres estaciones, aunque se observan diferencias en la magnitud de los valores: la estación CDMB registra las mayores intensidades, seguida de

Acapulco, mientras que Club Campestre presenta valores más bajos, posiblemente por influencia de factores locales como cobertura arbórea o condiciones topográficas.

5.3 Criterios de selección de los casos de estudio

El presente estudio selecciono tres parques del espacio público representativos del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) con el propósito de analizar su comportamiento microclimático y su influencia sobre el confort térmico urbano. La elección de los casos se fundamentó en criterios integrales que combinan variables climáticas, morfológicas, funcionales y de cobertura vegetal, garantizando una lectura comparativa entre distintas tipologías urbanas y contextos socioespaciales.

Los parques seleccionados Parque Santander (Bucaramanga), Parque Principal de Floridablanca y Parque Principal de Girón constituyen nodos urbanos de alto valor histórico, ambiental y cultural, lo que permite comprender la relación entre la configuración física del espacio público, la vegetación y los materiales urbanos, con las condiciones microclimáticas urbanas.

La selección respondió a los siguientes criterios fundamentales:

1. Relevancia urbana y patrimonial: cada parque representa el centro fundacional simbólico de su respectivo municipio, integrando funciones cívicas, religiosas y recreativas. Su papel articulador dentro de la estructura urbana de la ciudad los convierte en referentes estratégicos para evaluar el impacto del microclima en espacios públicos consolidados.
2. Escala y accesibilidad: se escogieron parques de escala local (entre 1.000 m² y 1,5 ha) con accesibilidad peatonal inferior a 5 minutos y capacidad de atender a poblaciones entre 1.000 a 10.000 habitantes.

3. Diversidad morfológica y ambiental: los tres casos representan contextos urbanos diferenciados (alta densidad edificatoria en Bucaramanga, tejido mixto en Floridablanca, baja densidad y estructura patrimonial en Girón), lo que posibilita evaluar variaciones microclimáticas asociadas a la morfología urbana, la orientación solar, cobertura vegetal y superficies las duras.
4. Cobertura vegetal y materiales urbanos: se seleccionaron parques con presencia significativa de especies arbóreas adultas, áreas pavimentadas y zonas permeables con el fin de comparar como la intersección de estos elementos influyen en la regulación térmica y en el confort exterior.
5. Potencial de replicabilidad y gestión climática: los casos representan escenario tipo extrapolables a otros espacios públicos del AMB, contribuyendo al diseño de estrategias de adaptación y mitigación climática basadas en la naturaleza y al desarrollo de criterios de diseño urbano bioclimático aplicables a futuros proyectos

El Parque Santander, ubicado en el corazón del centro histórico de Bucaramanga, se caracteriza por su trazado regular, áreas pavimentadas, alta presencia de especies arbóreas adultas y una intensa dinámica urbana. Por su parte, el Parque Principal de Floridablanca conserva una vocación tradicional, con proporciones regulares, vegetación consolidada y actividad comercial y religiosa constante. Finalmente, el Parque Principal de Girón, emplazado en uno de los centros históricos más representativos del país, se distingue por su tipología de plaza tradicional, su relación con edificaciones patrimoniales de baja altura y su singular configuración morfológica.

En síntesis, los parques seleccionados no solo representan la diversidad espacial y cultural del Área Metropolitana, sino que también constituye laboratorios urbanos idóneos para evaluar el confort térmico exterior, integrando variables ambientales, morfológicas y sociales que sustentan

la propuesta metodológica del presente estudio y fortalecen la comprensión del microclima urbano en las ciudades tropicales intermedias.

5.4 Parque Santander - Bucaramanga

Figura 25. *Parque Santander.*



Tomado Archivo GINVEARQUI (s.f.).

Se encuentra ubicado entre la calle 35 (Calle del Comercio) y 36 (Avenida Rafael Uribe Uribe) sobre las carreras 19 y 20 rodeado de hitos emblemáticos de la ciudad como lo es el club del comercio, la catedral de la Sagrada Familia, el Hotel La Triada y UIS-Bucarica.

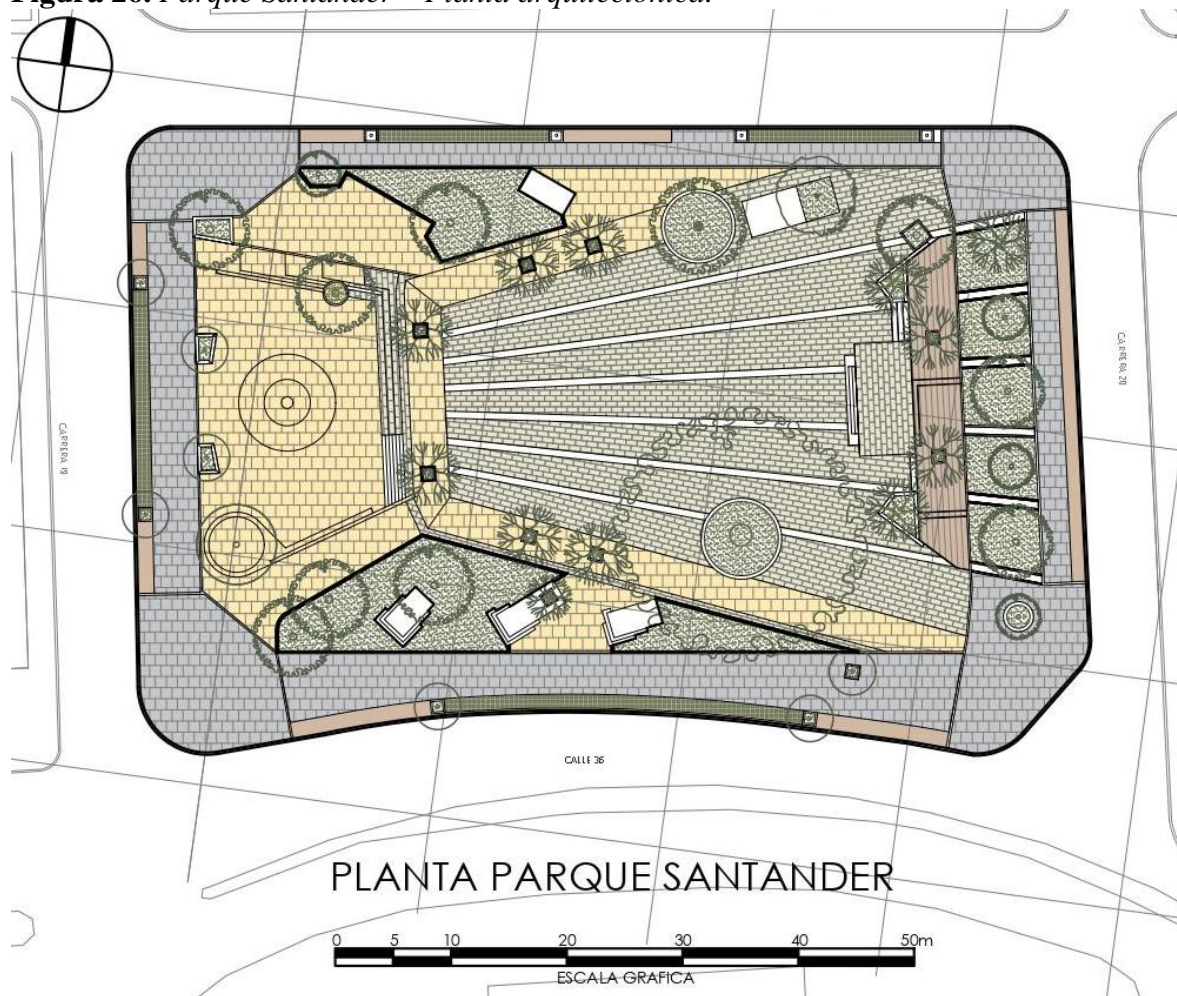
El parque era una extensión del predio que pertenecía a la Parroquia de La Sagrada Familia, en ese entonces era conocido como Plaza Belén; para 1914 adquirió el nombre con el cual se le conoce hasta hoy, es decir, Parque Santander, su inauguración se realizó en el año 1926 junto a la

estatua del hombre de las leyes Francisco de Paula Santander. Para el año 2009 el parque fue objeto de una renovación.

5.4.1 Análisis del estado actual

5.4.1.1 Planimetría General.

Figura 26. Parque Santander – Planta arquitectónica.



En la remodelación realizada en el Parque Santander se instalaron diferentes materiales, En el centro del parque se instaló mármol, en el contorno del parque se utilizaron adoquín de gres

y adoquín de concreto, los cuales definen sus senderos y áreas de circulación; el proyecto también incluyó una plataforma en deck de madera que complementa la zona donde se encuentra el busco del Procer de la patria Francisco de Paula Santander. En cuanto a la arborización se conservaron ejemplares del parque original y se integraron nuevas especies arbórea.

5.5 Parque Principal – Floridablanca

Figura 27. *Parque Principal Floridablanca.*



Tomado de VANGUARDIA LIBERAL – Fotografía Aérea (s.f.).

Localizado en el casco antiguo de Floridablanca, pertenece a la Comuna 1 Altamira – Casco Antiguo. Hace parte del tejido urbano del municipio el cual es configurado por sus vías de acceso en sentido norte sur por la carrera 8, sentido oriente occidente por la calle 5 y 6, así mismo con la calle 9 de la cual es peatonal frente al atril de la Parroquia San Juan Nepomuceno. La importancia histórica y cultural del parque lo convierte en un punto de encuentro del municipio.

Debido a las diversos usos y actividades organizadas por la comunidad, convirtiéndolo en un escenario de encuentro para desarrollar actividades lúdicas, comerciales y culturales.

5.5.1 Análisis del estado actual

5.5.1.1 Planimetría General.

Figura 28. *Parque Principal Floridablanca – Planta arquitectónica anterior.*

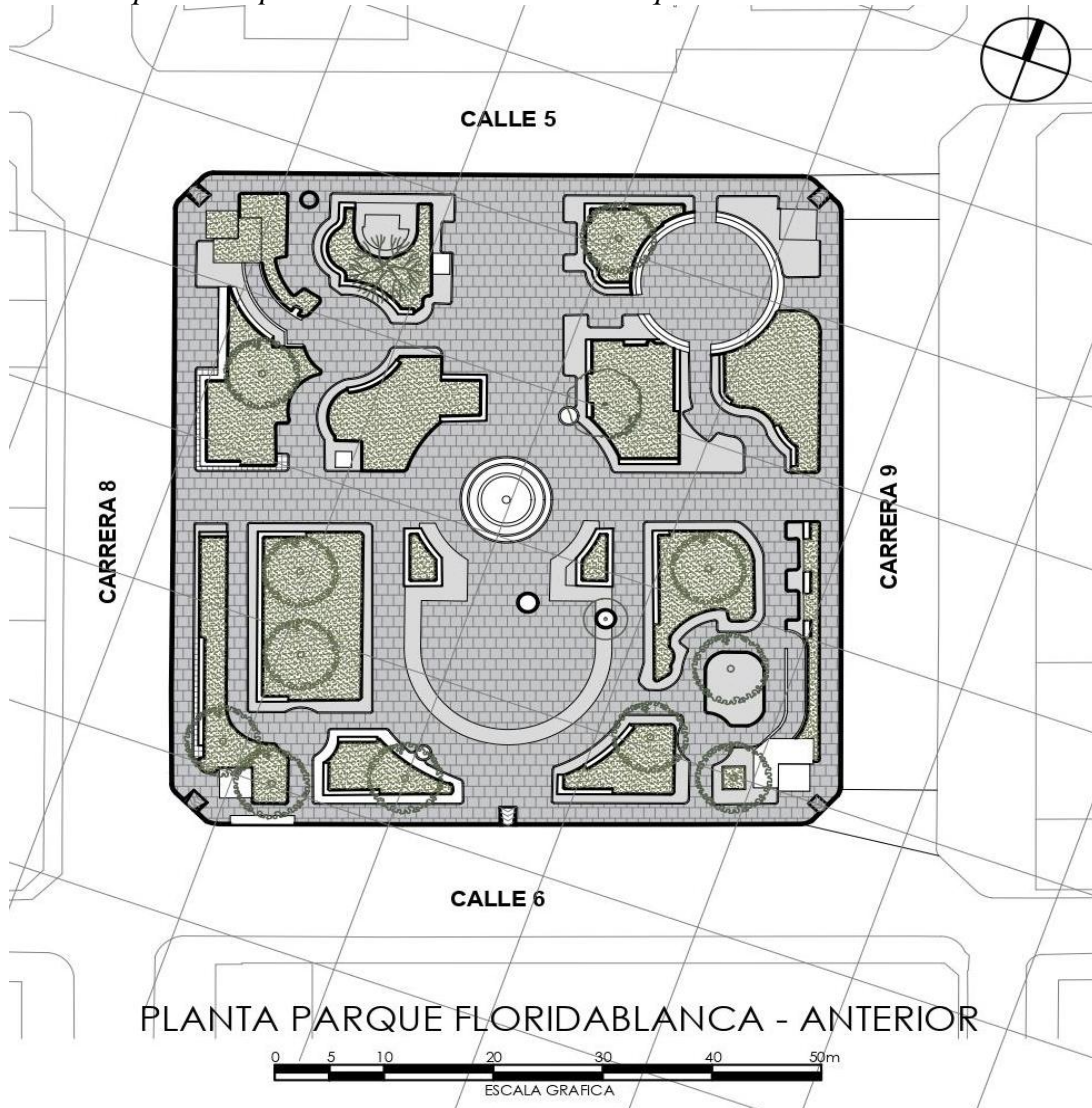
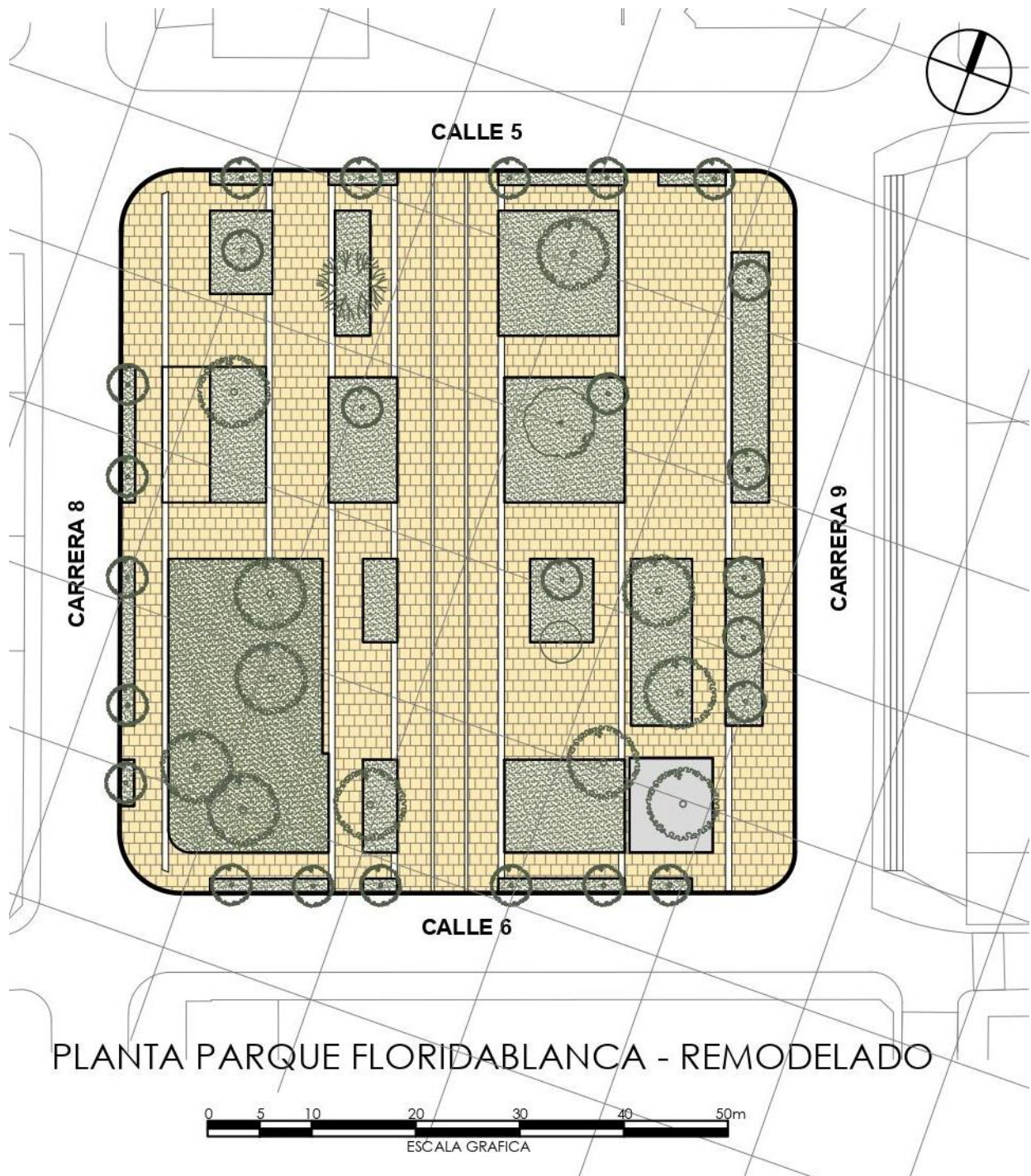


Figura 29. *Parque Principal Floridablanca – Planta arquitectónica actual.*



5.6 Parque Principal – Girón

Figura 30. *Parque Principal Girón.*



Tomado de la w radio (s.f).

El parque se encuentra localizado en el casco antiguo del Municipio de Girón, entre las calles 30 y 31 y carreras 25 y 26, está rodeado por construcciones antiguas, como la Basílica Menor San Juan Bautista y la alcaldía. El parque principal de Girón es poder eclesiástico y civil del municipio. Es así como el 12 de febrero de 1963 es declarado Bien de Interés Cultural de la Nación BINC. En los últimos años el parque tuvo una intervención la cual estuvo enfocada principalmente en una ampliación, una propuesta vial la cual limita el acceso vehicular en las vías circundantes al parque, una propuesta ambiental que consistía en la recuperación de la capa vegetal y aumentar las especies de árboles.

5.6.1 Análisis del estado actual

5.6.1.1 Planimetría General

Figura 31. Parque Principal Girón – Planta arquitectónica anterior

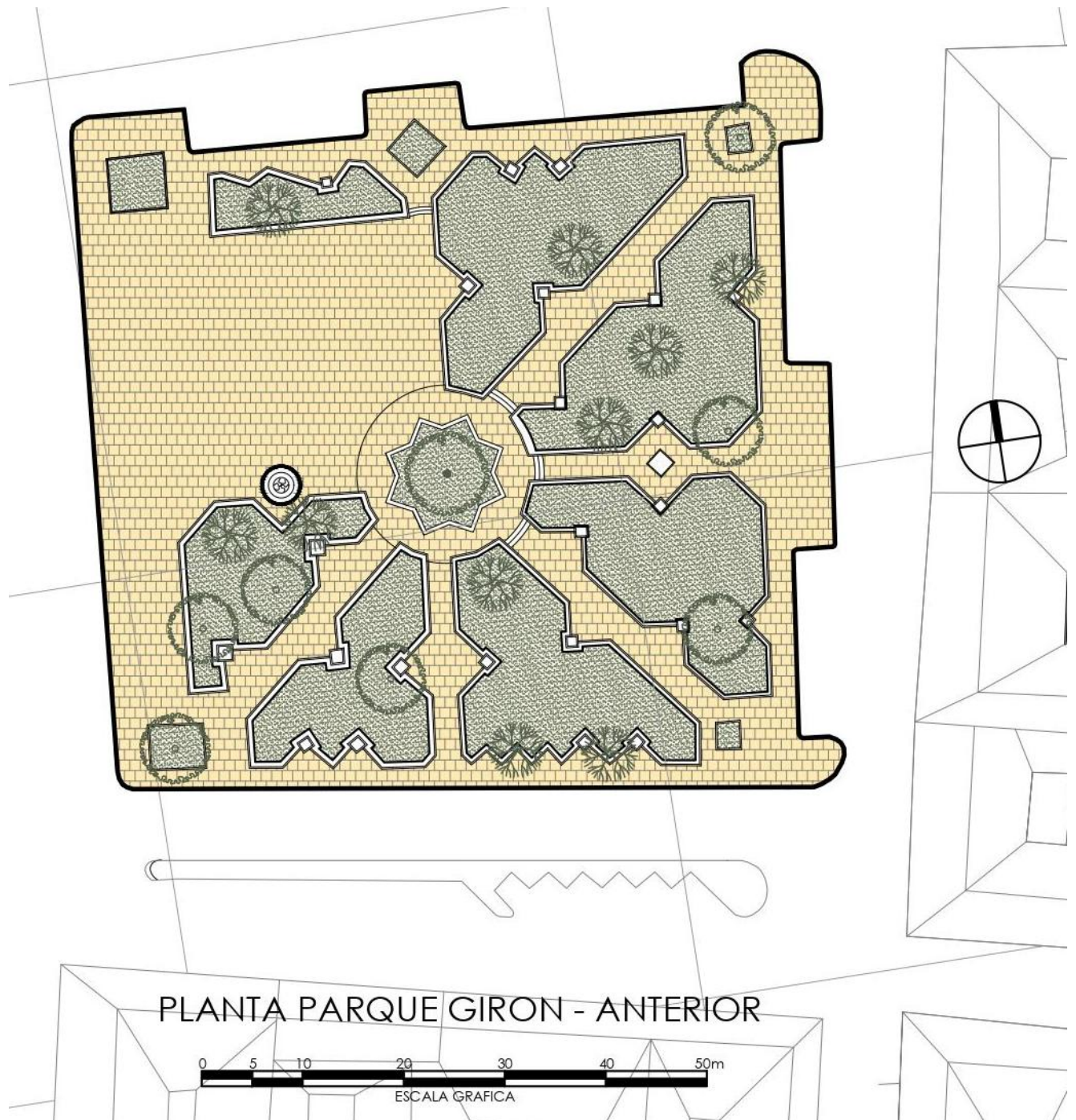
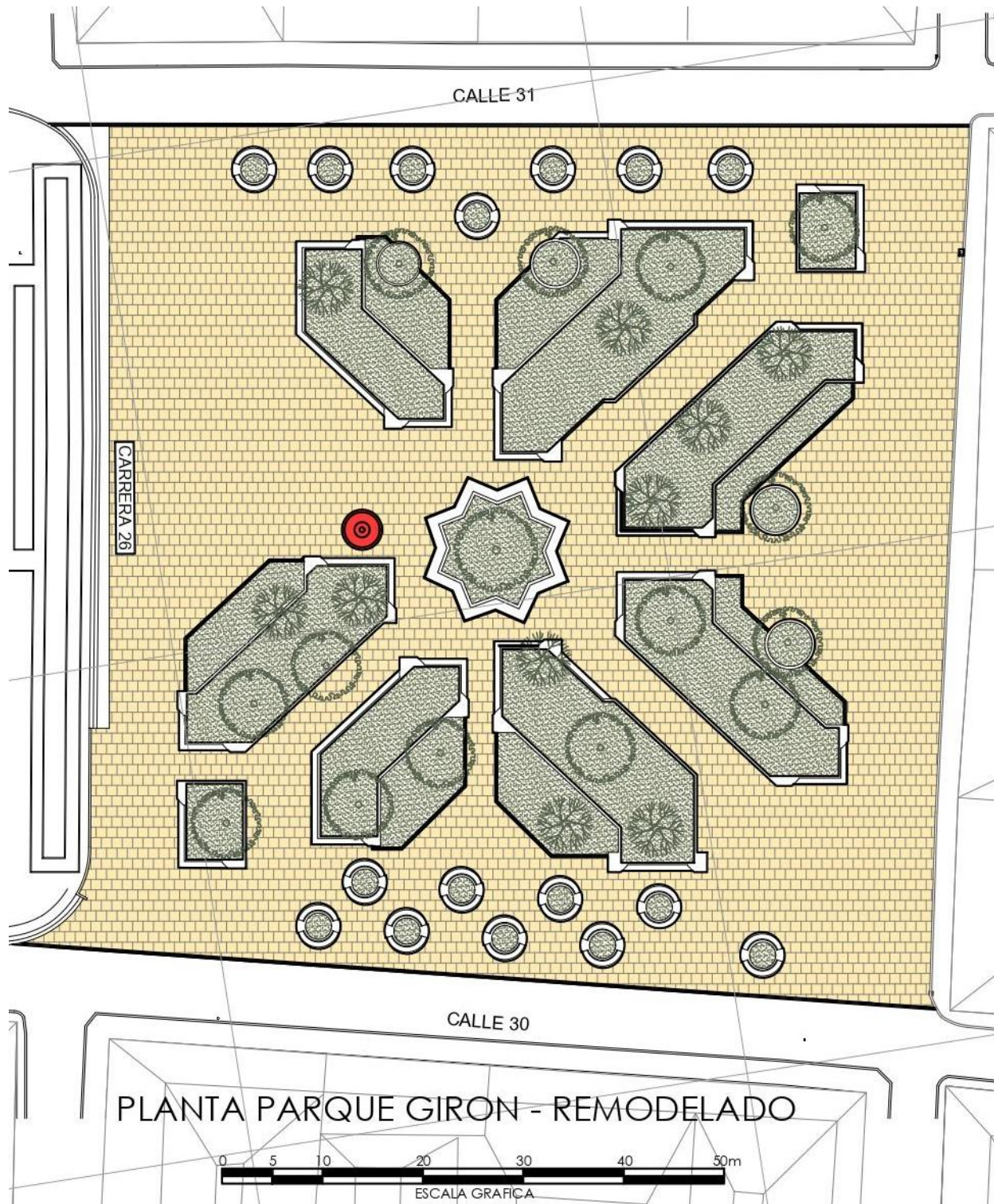


Figura 32. Parque Principal Girón – Planta arquitectónica actual.



6. Caracterización de los Parques

6.1 Análisis de materiales

La caracterización de los materiales constituye un componente fundamental para analizar el comportamiento térmico de los espacios públicos urbanos. Cada material posee propiedades físicas y térmicas específicas que influyen directamente en la absorción, almacenamiento y transferencia de calor lo cual está relacionado con la sensación térmica percibida por los usuarios. Por esta razón es indispensable identificar esta información con el fin de generar insumos que se puedan llevar al software de modelación.

6.1.1 Parque Santander – Bucaramanga

Figura 33. Materiales - Parque Santander.

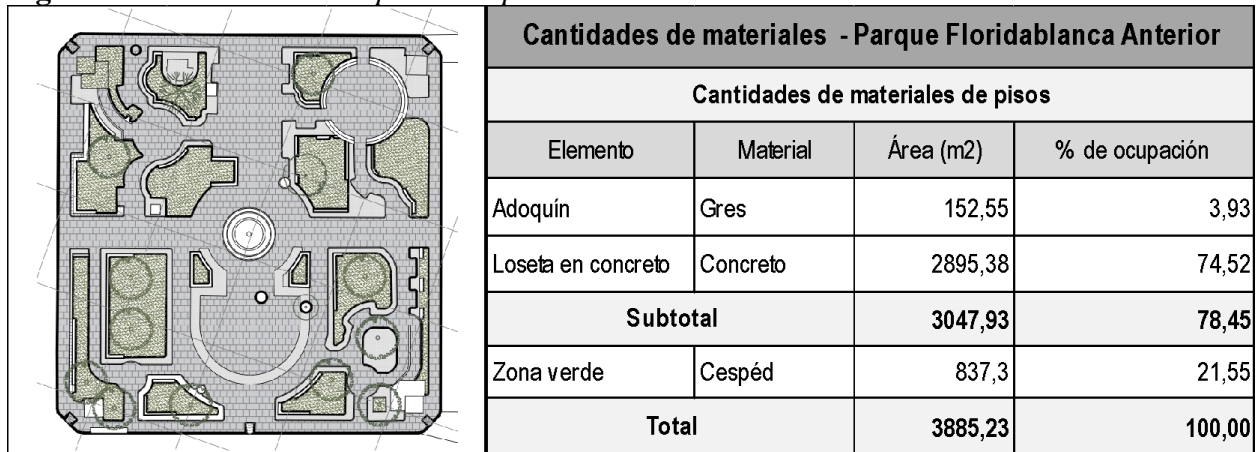
Cantidades de materiales - Parque Santander			
Cantidades de materiales de pisos			
Elemento	Material	Área (m2)	% de ocupación
Adoquín en concreto	Concreto	1129,12	26,60
Loseta en concreto	Concreto	1228,25	28,93
Adoquín ecologico	Gres	99,06	2,33
Adoquín	Gres	110,26	2,60
Piedra Natural	Mármol	1024,17	24,13
Deck Madera Teca	Madera	108,8	2,56
Subtotal		3699,66	87,15
Zona verde	Césped	545,45	12,85
Total		4245,11	100,00

En la caracterización de materiales del Parque Santander se identifica un alto porcentaje de superficies duras conformadas por adoquines, concreto y piedra (mármol), que alcanzan el 87,15 % de ocupación. Por el contrario, las áreas permeables representan únicamente el 12,85 %. Este

predominio de materiales impermeables incrementa la absorción de radiación solar durante el día, lo que genera un aumento significativo de la temperatura superficial y una menor capacidad de enfriamiento durante la noche.

6.1.2 Parque Principal Floridablanca

Figura 34. Materiales - Parque Principal Floridablanca Anterior.



El Parque de Floridablanca Anterior, se observa un predominio de superficies duras que alcanzan el 78,45 % del área total, mientras que las zonas verdes permeables representan el 21,45 %. Esta distribución evidencia un alto grado de impermeabilización, lo que favorece la acumulación de calor a lo largo del día y un consecuente incremento de la temperatura superficial.

Figura 35. Materiales - Parque Principal Floridablanca Actual.

Cantidades de materiales - Parque Floridablanca Remodelado			
Cantidades de materiales de pisos			
Elemento	Material	Área (m2)	% de ocupación
Piedra Natural	Arenisca	2996,04	66,57
Subtotal		2996,04	66,57
Zona verde	Césped	1504,27	33,43
Total		4500,31	100,00

El parque de Floridablanca Actual se presenta una reducción en la proporción de superficies duras con respecto a su configuración anterior, alcanzando un 66,57% del área total. En contraste, las zonas verdes aumentaron en un 11,88%. Esta nueva distribución espacial evidencia un esfuerzo por incrementar la presencia de áreas permeables, lo que favorece los procesos de evapotranspiración y reduce la acumulación de calor superficial, contribuyendo a mejorar el confort térmico del espacio.

6.1.3 Parque Principal Girón

Figura 36. Materiales - Parque Principal Girón Anterior.

Cantidades de materiales - Parque Girón Anterior			
Cantidades de materiales de pisos			
Elemento	Material	Área (m2)	% de ocupación
Piedra Natural	Arenisca	2973,36	62,78
Subtotal		2973,36	62,78
Zona verde	Césped	1762,64	37,22
Total		4736	100,00

En el parque de Girón Anterior, la superficie ocupada por materiales duros representa el 62,78%, mientras que el 37,22% restante corresponde a superficies permeables. Esta proporción refleja el predominio de pavimentos rígidos. Es importante aclarar que esta caracterización se realizó a partir de la planimetría y no del estado físico real, ya que las zonas verdes y la arborización no se encontraban en óptimas condiciones. Los materiales presentes en este parque tienden a almacenar calor, lo que incrementa la temperatura superficial durante las horas de mayor radiación solar.

Figura 37. Materiales - Parque Principal Girón actual.

Cantidades de materiales - Parque Giron Remodelado			
Cantidades de materiales de pisos			
Elemento	Material	Área (m2)	% de ocupación
Piedra Natural	Arenisca	5181,95	72,53
Subtotal		5181,95	72,53
Zona verde	Césped	1962,49	27,47
Total		7144,44	100,00

En el parque de Girón Actual se observa un incremento en el área total, lo que conllevó a un aumento de las superficies duras, alcanzando un 72,53 %, es decir, un 9,75 % más que en su estado anterior. Este aumento corresponde al objetivo de la intervención, que buscaba ampliar las áreas peatonales del parque. Sin embargo, a pesar de este crecimiento, las áreas permeables no tuvieron un aumento significativo, lo que puede generar condiciones térmicas menos favorables debido a la mayor absorción de calor.

6.2 Análisis de Zonas Verdes – Arborización

La presencia de zonas verdes y arborización desempeñan un rol fundamental en la regulación microclimática del espacio público urbano. Procesos como la evapotranspiración, sombreado, reducción de radiación radiante, contribuyen significativamente en la mitigación de temperatura por ende mejoramiento del confort térmico. En climas como el del AMB incide en la percepción de los usuarios, influyendo en el uso y permanencia de los espacios.

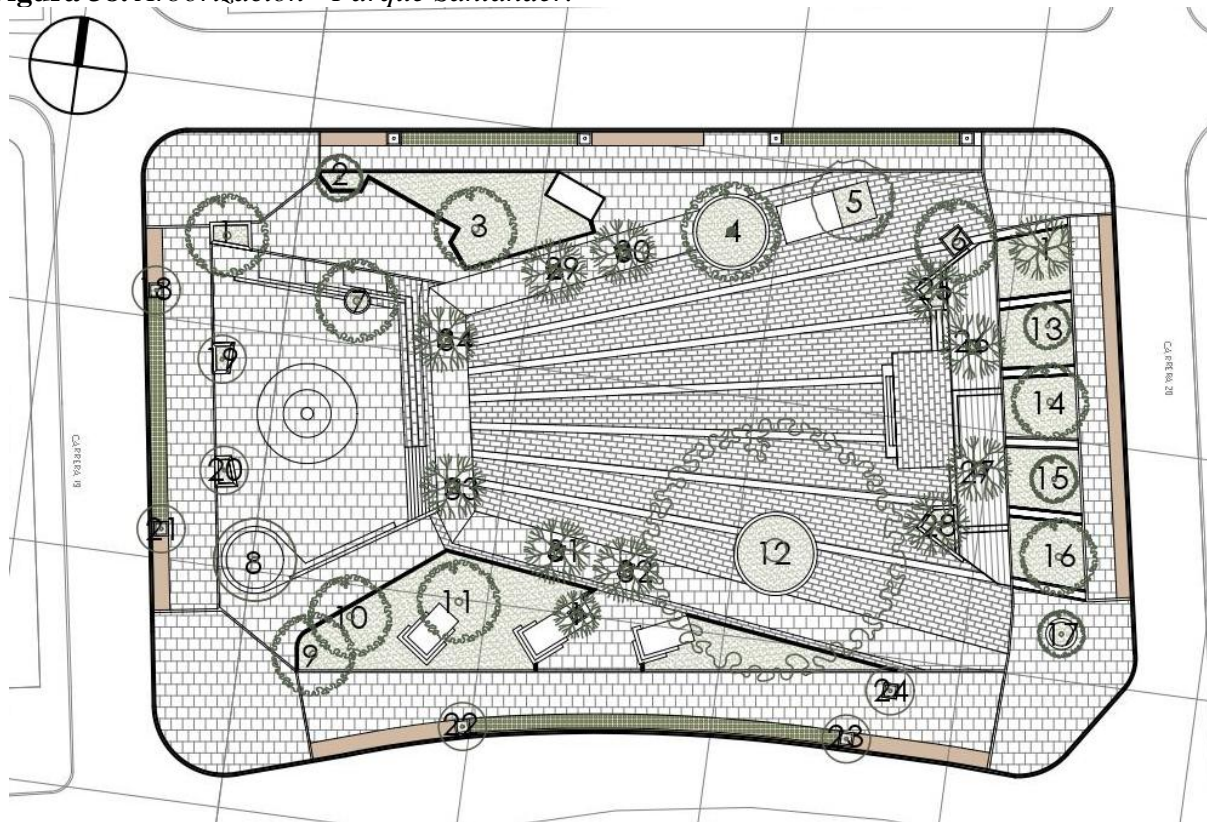
6.2.1 Parque Santander – Bucaramanga

El parque Santander cuenta con una diversa presencia de especies arbóreas, muchas de ellas con copas amplias y follaje denso, lo que proporciona sombra efectiva sobre las áreas peatonales y zonas de estancia. Entre las especies registradas se destacan el Guayacán, el Sarrapio y el Búcaro, árboles caracterizados por su altura y extensión de copa, que favorecen la generación de microclimas más frescos y contribuyen a mejorar las condiciones de confort térmico en el espacio público.

Tabla 4. Lista de árboles - Parque Santander

Arboles - Parque Santander									
1	Almendro	2	Guayacán	3	Ceiba	4	Ceiba	5	Almendro
6	Almendro	7	Mamoncillo	8	Ceiba	9	Almendro	10	Oiti
11	Ceiba	12	Samán	13	Guayacán	14	Oiti	15	Guayacán
16	Oiti	17	Guayacán	18	Guayacán	19	Guayacán	20	Sarrapio
21	Guayacán	22	Guayacán	23	Guayacán	24	Guayacán	25	Bucaro
26	Bucaro	27	Bucaro	28	Bucaro	29	Bucaro	30	Bucaro
31	Bucaro	32	Bucaro	33	Sarrapio	34	Sarrapio	35	Oiti

Figura 38. Arborización - Parque Santander.

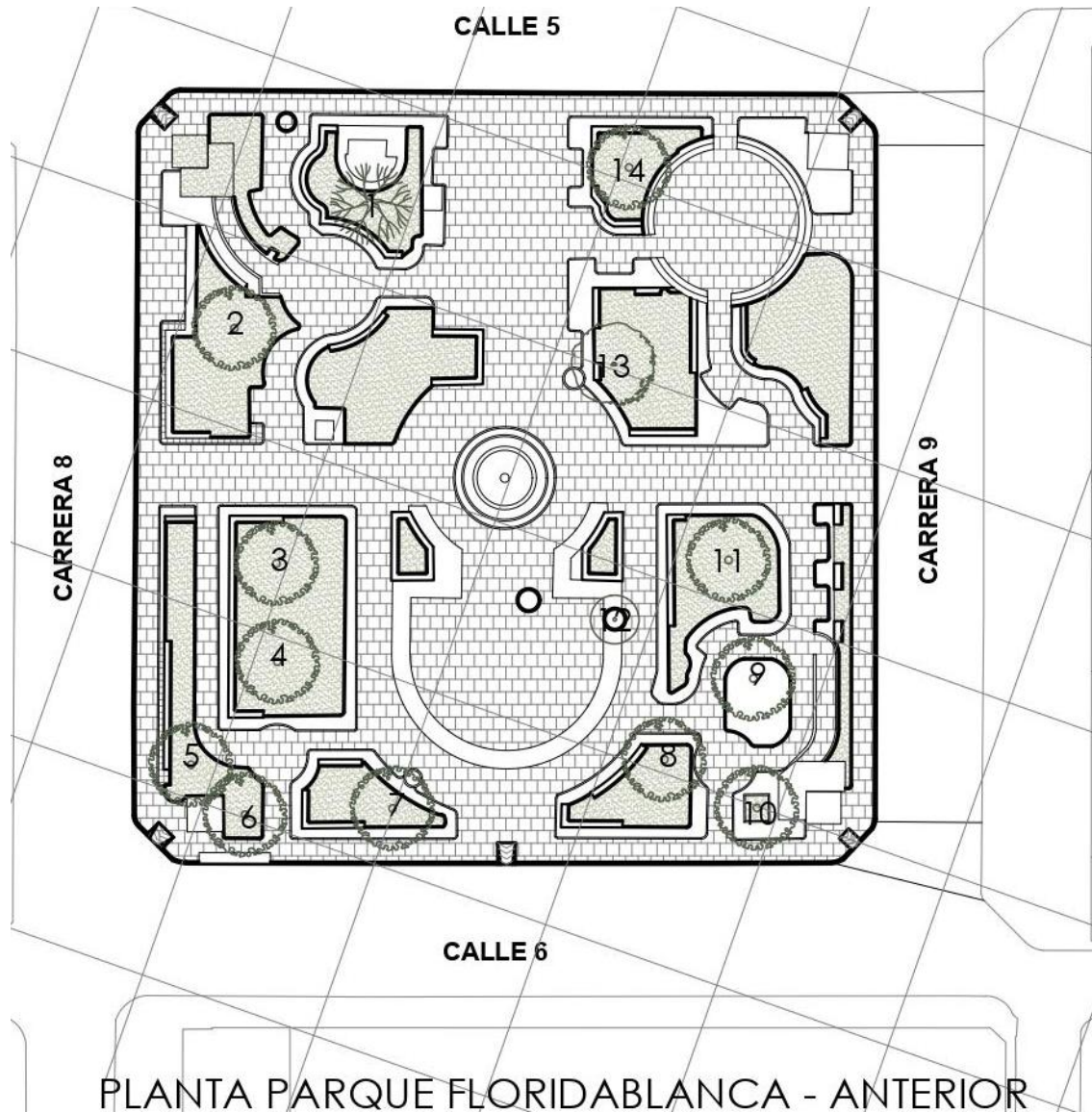


6.2.2 Parque Principal Floridablanca

El parque de Floridablanca anterior, es el que presentaba la menor cantidad de especies arbóreas entre los parques analizados, lo que se traduce en una cobertura vegetal insuficiente para contrarrestar los efectos térmicos asociados a la alta presencia de superficies duras. La escasa proporción de zonas verdes y arbolado reducía significativamente el potencial de enfriamiento pasivo, limitando la capacidad del parque para contribuir a la regulación microclimática local.

Tabla 5. Lista de árboles - Parque Principal de Floridablanca Anterior

Arboles - Parque Floridablanca Anterior					
1	Mango	2	Ceiba	3	Ceiba
4	Ceiba	5	Gallinero	6	Gallinero
7	Ceiba	8	Gallinero	9	Ceiba
10	Gallinero	11	Ceiba	12	Guayabo
13	Pata de Vaca	14	Ceiba	15	

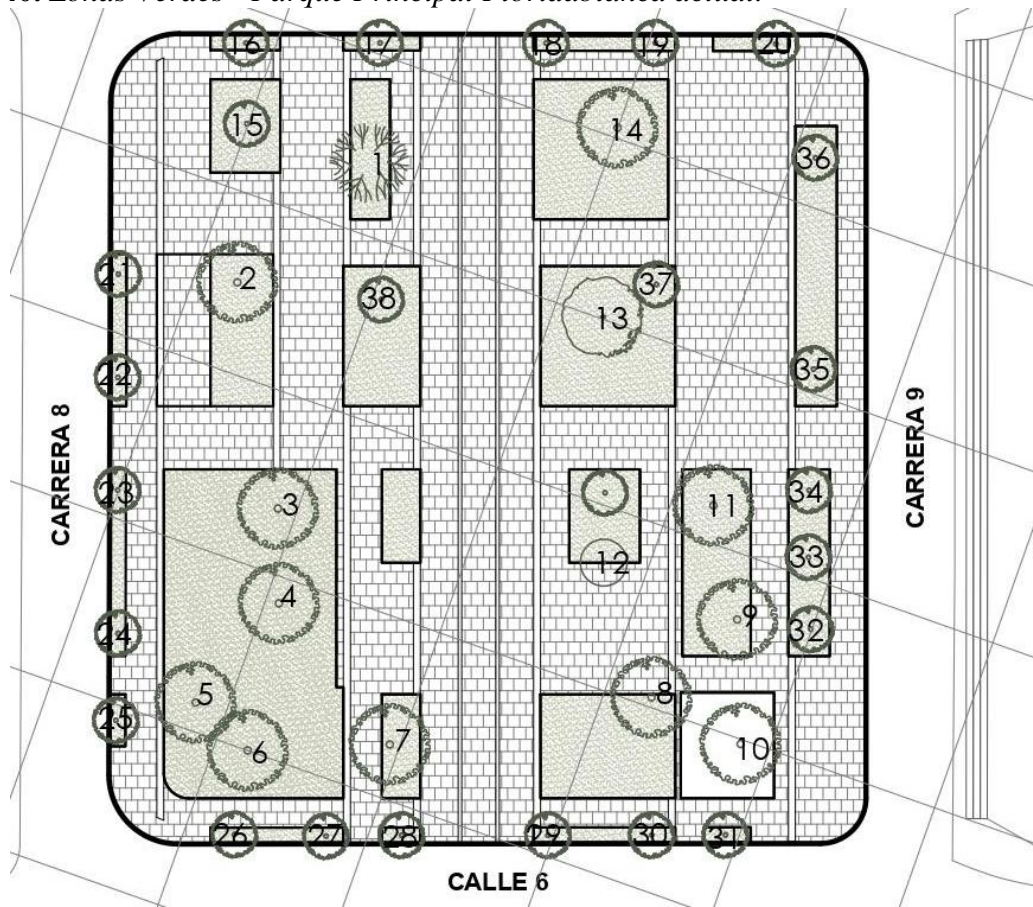
Figura 39. Zonas Verdes - Parque Principal Floridablanca anterior.

El parque de Floridablanca actual muestra un incremento en la incorporación de especies arbóreas y en la proporción de zonas permeables, fortaleciendo la infraestructura verde. Esta remodelación favorece la calidad ambiental y mejora las condiciones de confort térmico, especialmente en áreas de estancia y de circulación peatonal, contribuyendo a un entorno urbano más equilibrado.

Tabla 6. Lista de árboles - Parque Principal de Floridablanca Actual

Arboles - Parque Floridablanca Remodelado					
1	Mango	2	Ceiba	3	Ceiba
4	Ceiba	5	Gallinero	6	Gallinero
7	Ceiba	8	Gallinero	9	Ceiba
10	Gallinero	11	Ceiba	12	Guayabo
13	Pata de Vaca	14	Ceiba	15	Guayacán
16	Guayacán	17	Guayacán	18	Guayacán
19	Guayacán	20	Guayacán	21	Guayacán
22	Guayacán	23	Guayacán	24	Guayacán
25	Guayacán	26	Guayacán	27	Guayacán
28	Guayacán	29	Guayacán	30	Guayacán
31	Guayacán	32	Guayacán	33	Guayacán
34	Guayacán	35	Guayacán	36	Guayacán
37	Guayacán	38	Guayacán		

Figura 40. Zonas Verdes - Parque Principal Floridablanca actual.



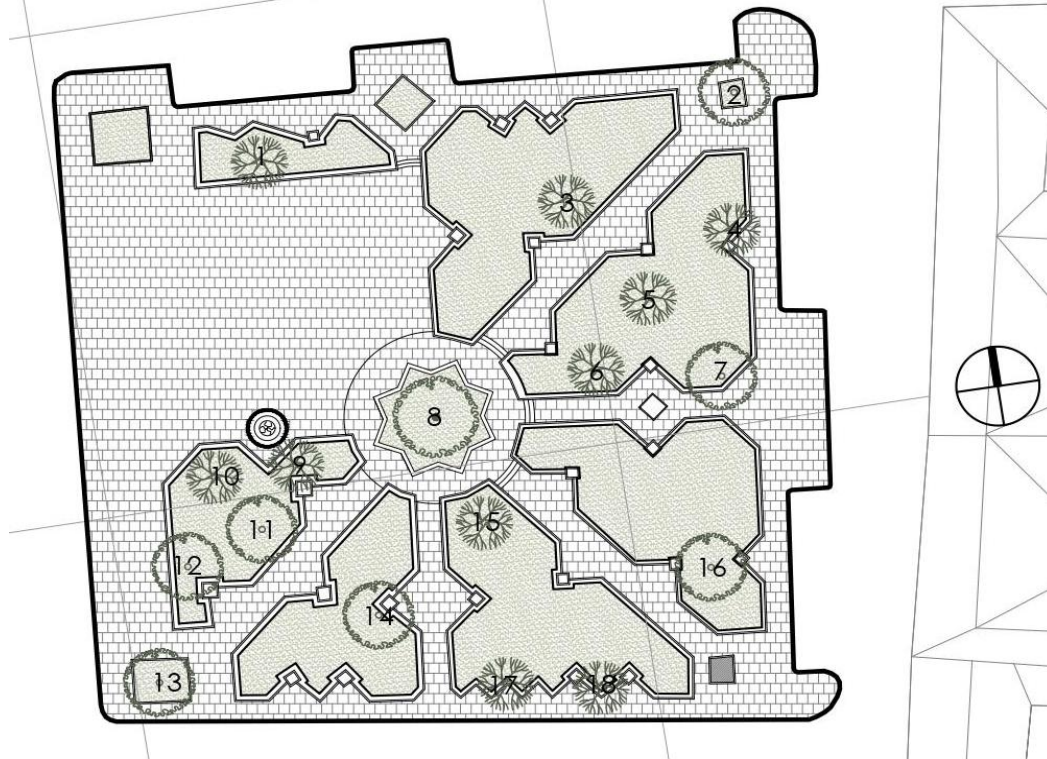
6.2.3 Parque Principal Girón

En el parque de Girón Antiguo, aunque se contaba con especies que podían aportar sombra y contribuir a la regulación térmica del entorno, las zonas verdes y parte del arbolado se encontraban en condiciones deficientes, lo que reducía su efectividad como reguladores microclimáticos. Esta situación, sumada al predominio de superficies duras, generaba un microclima más cálido y con menor capacidad de proporcionar confort térmico.

Tabla 7. Lista de árboles - Parque Principal de Girón Anterior

Arboles - Parque Girón Anterior									
1	Oiti	2	Bucaro	3	Oiti	4	Oiti	5	Oiti
6	Guayacán	7	Oiti	8	Samán	9	Oiti	10	Oiti
11	Guayacán	12	Guayacán	13	Ceiba	14	Guayacán	15	Oiti
16	Bucaro	17	Oiti	18	Oiti				

Figura 41. Zonas Verdes - Parque Principal Girón Anterior

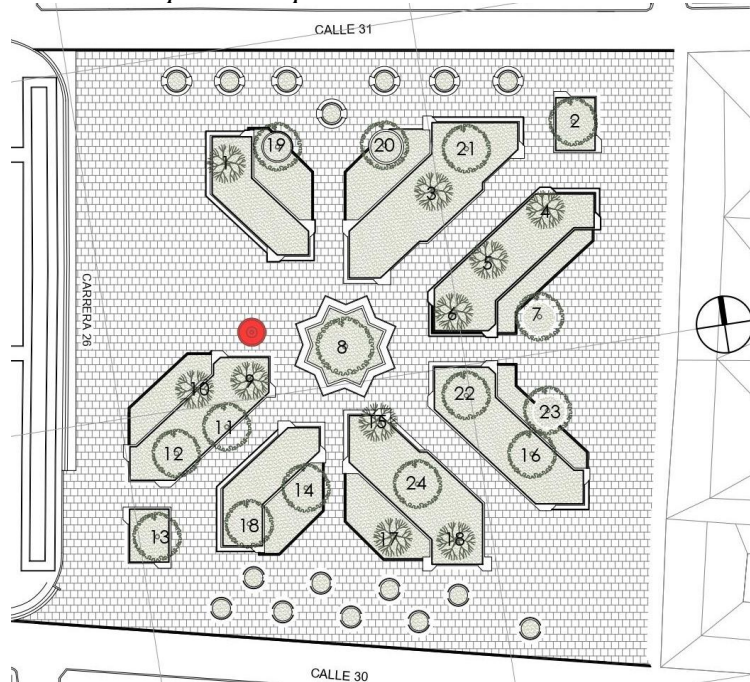


En el parque de Girón actual, si bien no se incrementó la proporción de zonas verdes, sí se observa un aumento en la cobertura arbórea. Las especies presentes se caracterizan por sus copas amplias y su capacidad de generar sombra localizada. No obstante, la distribución centralizada de estos árboles limita el alcance de su efecto de mitigación térmica frente al predominio de superficies impermeables.

Tabla 8. Lista de árboles - Parque Principal de Girón Actual

Arboles - Parque Girón Remodelado					
1	Oiti	2	Bucaro	3	Oiti
4	Oiti	5	Oiti	6	Guayacán
7	Oiti	8	Samán	9	Oiti
10	Oiti	11	Guayacán	12	Guayacán
13	Ceiba	14	Guayacán	15	Oiti
16	Bucaro	17	Oiti	18	Oiti
19	Guayacán	20	Guayacán	21	Guayacán
22	Guayacán	23	Guayacán	24	Guayacán
25	Guayacán	26	Guayacán		

Figura 42. Zonas Verdes - Parque Principal Girón actual.



6.3 Conclusiones

El análisis comparativo de los parques seleccionados del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) permite identificar patrones consistentes entre la composición material, la cobertura vegetal y las condiciones microclimáticas locales. Los resultados evidencian que la estructura física —particularmente la proporción entre superficies duras e impermeables frente a las áreas verdes y permeables— constituye un factor determinante en el confort térmico y en la capacidad de resiliencia climática de cada espacio público.

1. Parque Santander: este parque presenta una alta cobertura vegetal y diversidad arbórea, con especies de gran follaje que reducen la radiación solar y mejoran la evapotranspiración, contrarrestando el alto porcentaje de zonas duras presentes. La variedad de materiales contribuye a un comportamiento térmico favorable, con menor absorción de calor y mayor retención de humedad ambiental.

2. Parque Principal Floridablanca: el cambio entre el parque anterior al estado actual del parque muestra una transformación material hacia superficies más duras y reflectabas, lo que eleva la temperatura y reduce la capacidad de absorción de agua. Sin embargo, el incremento de especies arbóreas favorece la absorción de agua lo cual disipa el calor acumulado y mejora la regulación térmica. Por este motivo se reconoce la recuperación del confort térmico mediante la reforestación planificada, incremento de sombra efectiva e incorporación de pavimentos fríos y permeables.

3. Parque Principal Girón: la comparación entre el estado anterior y el actual del parque evidencia una transformación material hacia superficies más duras y reflectantes, lo que incrementa la temperatura superficial y reduce la capacidad de absorción de agua. Sin embargo, el aumento de especies arbóreas favorece la evapotranspiración, disipa el calor acumulado y mejora la regulación térmica. Por ello, se destaca la recuperación del confort térmico mediante la

reforestación planificada, el incremento de la sombra efectiva y la incorporación de pavimentos fríos y permeables.

La caracterización realizada confirma que la interacción entre la cobertura vegetal, los materiales y la morfología urbana define el desempeño térmico de los parques y su capacidad para mitigar el efecto de isla de calor. Los parques con mayor proporción de vegetación y superficies permeables presentan condiciones microclimáticas más estables y confortables, mientras que aquellos con predominio de infraestructura gris muestran un comportamiento térmico adverso.

El análisis también evidencia que, en los parques de Floridablanca y Girón, las intervenciones urbanas recientes han priorizado criterios estéticos y funcionales por encima del desempeño térmico. Esta tendencia revela una brecha entre el diseño urbano y la gestión ambiental, subrayando la necesidad de integrar indicadores de sostenibilidad y confort térmico en las políticas e instrumentos de planificación urbana del AMB.

Desde una perspectiva de investigación aplicada, este análisis constituye un vínculo metodológico entre el diagnóstico físico y los datos de entrada para la simulación climática, proporcionando una base sólida para la modelación digital que se desarrolla en el siguiente capítulo. Los resultados demuestran que la forma urbana debe responder a las condiciones climáticas locales, y que la pérdida de vegetación o el uso inadecuado de materiales genera impactos térmicos directos y medibles.

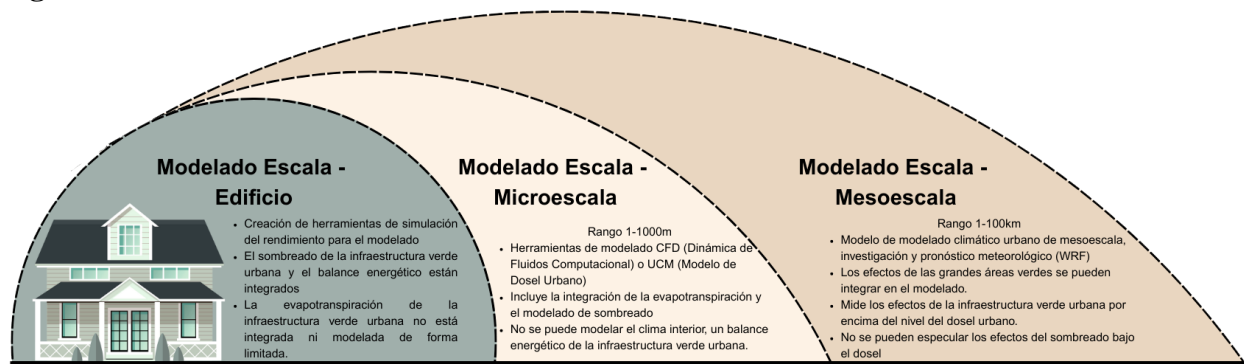
Finalmente, los hallazgos obtenidos pueden orientar la formulación de políticas públicas locales enfocadas en el fortalecimiento de la infraestructura verde, la arborización urbana y el diseño bioclimático del espacio público. Estos resultados constituyen una base técnica para la adaptación climática y la gestión sostenible de los entornos urbanos en contextos tropicales intermedios.

7. Estudio Microclima Urbano – Simulación Computacional

7.1 Modelos y Herramientas de simulación

La aplicación de modelos y simulaciones permiten analizar el comportamiento climático en entornos urbanos a través de diferentes escalas, principalmente tres: la mesoescala, la escala microclimática y la escala climática de edificios. Para el desarrollo de los objetivos planteados en el proyecto se enfocarán los procesos de simulación para la escala microclimática.

Figura 43. Modelado a escala climática.



Review of the Role of Urban Green Infrastructure on Climate Resiliency: A Focus on Heat Mitigation Modelling Scenario on the Microclimate and Building Scale, 2024.

Los modelos aplicados al análisis climático en la microescala urbana se basan en principios físicos del intercambio de calor entre superficies y la atmósfera. Estas simulaciones consideran la radiación solar como principal fuente de energía (Sailor, 2008). La cantidad de radiación absorbida, reflejada o emitida por los componentes del entorno urbano depende de la radiación entrante y de las propiedades térmicas y ópticas de los materiales, como la emisividad, la reflectancia y la capacidad calorífica (Oke, 1987).

El uso de simulaciones computacionales ha permitido desarrollar metodologías más elaboradas, capaces de integrar múltiples variables climáticas y urbanas, mejorando la comprensión y predicción del comportamiento térmico en espacios exteriores (Bouyer et ál., 2011). Estas herramientas han sido fundamentales para el análisis y diseño de estrategias de mitigación como vegetación urbana, materiales reflectantes, o el rediseño de morfologías urbanas. el diseño urbano bioclimático requiere la integración de modelos digitales que posibiliten la evaluación de diferentes escenarios, de manera que las decisiones proyectuales respondan a las condiciones ambientales específicas del territorio y promuevan el confort y la sostenibilidad. (Bernal 2019).

7.1.1 Limitaciones de herramientas de simulación

Actualmente, existen distintos programas que se diferencian por:

- *Datos de entrada:* algunas herramientas requieren grandes volúmenes de datos, incluyendo geometría urbana detallada, condiciones meteorológicas locales y características físicas de materiales. Esto puede dificultar su uso en entornos con poca disponibilidad de información (Allegrini et ál., 2015).
- *Aplicabilidad:* muchas herramientas fueron desarrolladas para contextos urbanos específicos. Por ello, su aplicación a otras regiones puede limitar su capacidad de representar con precisión las condiciones reales (Frayssinet et ál., 2018).
- *Resultados de salida:* dependiendo del software, es posible obtener variables climáticas básicas o avanzadas, como índices de confort térmico, temperatura de superficie, flujos de radiación y velocidad del viento. La selección adecuada del software depende de las variables que se buscan analizar o modelar (Gronemeier y Richter, 2018).

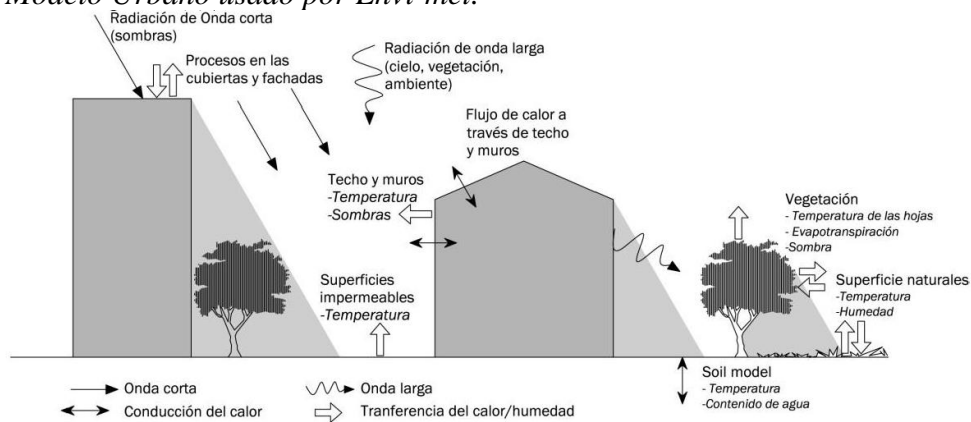
Según la información que se solicita y la disponibilidad de datos, las simulaciones se llevaran a cabo en el programa ENVI-met

7.2 Herramienta de cálculo ENVI-met v5.8

ENVI-met es un modelo tridimensional, diseñado para simular las interacciones entre la superficie, la vegetación y el aire. Aunque no se limita exclusivamente a ello, se emplea con frecuencia para analizar entornos urbanos y evaluar los efectos de estrategias de arquitectura sostenible (ENVI-met, 2023).

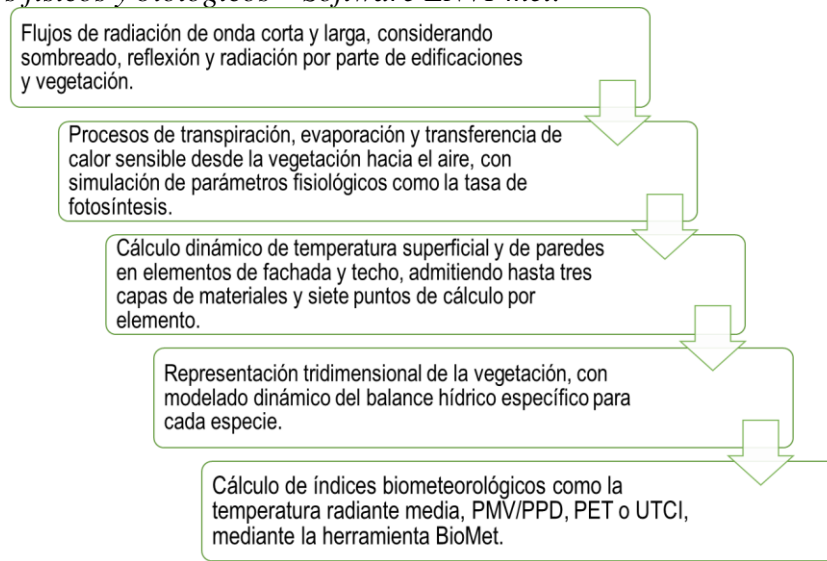
Este modelo opera a microescala, con una resolución horizontal típica de 0,5 a 10 metros, y simula periodos que abarcan entre 24 y 48 horas, con pasos de tiempo de 1 a 5 segundos. Esta alta resolución permite analizar con precisión las interacciones a pequeña escala entre edificaciones, superficies y vegetación individual.

Figura 44. Modelo Urbano usado por Envi-met.



Tomado Irina Tumini (2014) a partir Bruse M (2010).

Figura 45. *Procesos físicos y biológicos – Software ENVI-met.*



7.2.1 *Protocolo de simulación*

Figura 46. *Protocolo de modelación.*

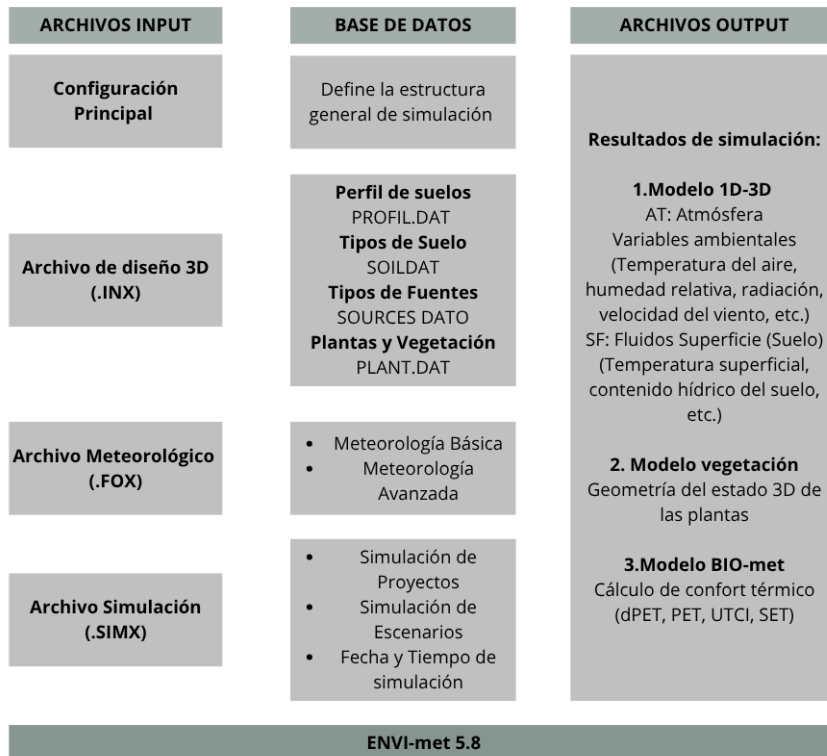


Figura 47. Principales Aplicaciones y Módulos.

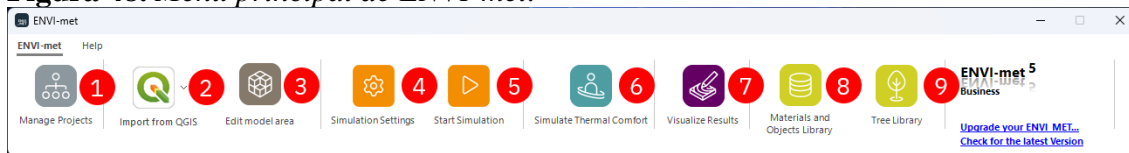


Tomado de ENVIMET a holistic microclimate model (s.f.).

7.2.2 Configuración Inicial – Sede Central

La Sede Central (o *Headquarter*) de ENVI-met funciona como una interfaz principal que permite el acceso centralizado a todos los programas integrados en la ENVI-met Suite. Desde este entorno, el usuario puede gestionar de forma eficiente todo el flujo de trabajo, desde la configuración inicial del proyecto hasta la ejecución de simulaciones complejas.

Figura 48. Menú principal de ENVI-met.

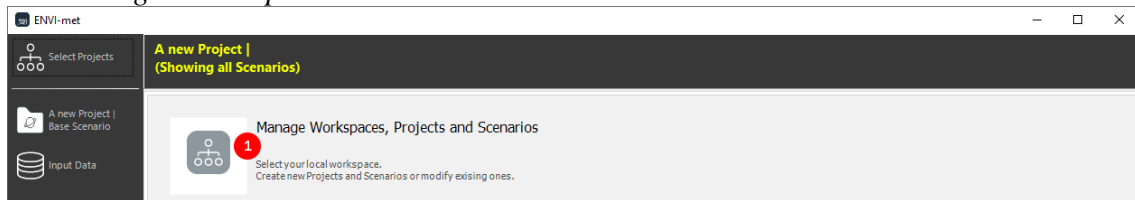


Tomado de ENVIMET a holistic microclimate model (s.f.).

En la pestaña ENVI-met agrupa las herramientas esenciales del software, permitiendo simular, editar, visualizar y realizar el procesamiento de modelos climáticos urbanos. A continuación, se describen las principales funciones:

Figura 49. Menú principal de ENVI-met – Funciones Principales.

7.2.3 Configuración Inicial – Administrar Proyectos y Espacios de Trabajo

Figura 50. Manager Workspace.

Tomado de ENVIMET a holistic microclimate model (s.f.).

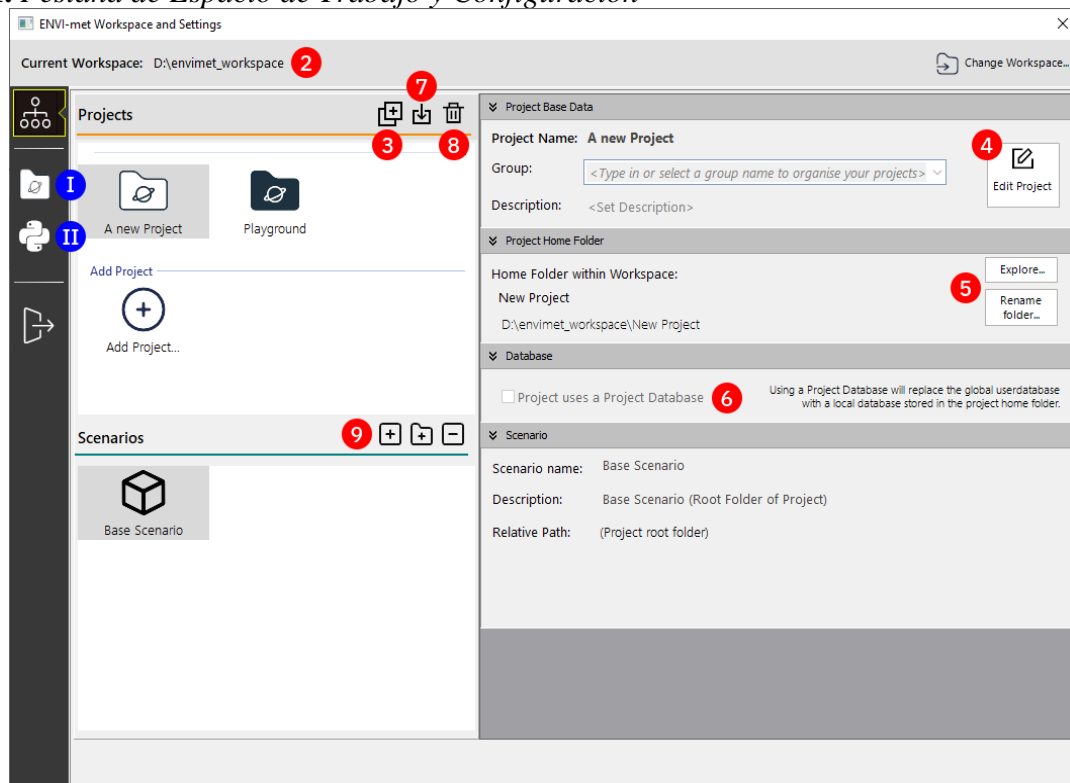
El administrador de espacio de trabajo permite configurar el entorno de trabajo en ENVI-met, es decir, el directorio en donde se almacenan las carpetas de los proyectos, esta herramienta facilita la gestión integral de los proyectos y escenarios, asegurando una organización estructurada de los datos

Dentro de cada carpeta de proyecto se almacenan los archivos asociados a las simulaciones, incluyendo:

- Archivos de configuración y ejecución del modelo
- Bases de datos del proyecto
- Resultados generados tras la ejecución de la simulación

Proyectos y escenarios: a partir de la versión ENVI-met V5.7 los archivos de entrada para la simulación incluidos los formatos .SIMX .INX. y .FOX, deben almacenarse en la raíz de la carpeta principal del proyecto. Esta organización garantiza la correcta ejecución del modelo y evita errores de lectura en el sistema.

Figura 51. Pestaña de Espacio de Trabajo y Configuración



Tomado de ENVIMET a holistic microclimate model (s.f.).

La selección administración del espacio de trabajo se realiza a través del botón “Administrar espacios de trabajo” en la aplicación central (1). Al seleccionar esta opción, se abre una nueva ventana (2) que muestra el contenido del espacio de trabajo activo.

La creación y edición del proyecto que aparecen dentro de esta ventana puede:

- Crear un nuevo proyecto (3)
- Editar el nombre, grupo y descripción del proyecto (4)
- Definir el nombre de la carpeta (5)

Adicionalmente, se puede optar por utilizar una base de datos específica para el proyecto (6), lo cual permite crear materiales y objetos que serán útiles cuando se desea mantener una separación clara entre configuraciones generales y elementos personalizados del modelo. El sistema también permite la importación de proyectos existentes desde otras ubicaciones (7) y eliminar proyectos que ya no se necesiten (8), las mismas funciones están disponibles para los escenarios (9)

7.2.4 Datos de entrada

Configuración Inicial: el editor del área de modelo permite digitalizar directamente un área de estudio basada en una imagen raster (una cuadrícula de píxeles), o bien optimizar un área previamente generada en programas externos. Esta herramienta constituye el entorno principal para definir la geometría del modelo físico en 3D.

Tras iniciar el editor, es necesario seleccionar el proyecto de trabajo. Esta selección es importante porque determina el acceso a los materiales personalizados, especialmente si se está utilizando una base de datos específica del proyecto.

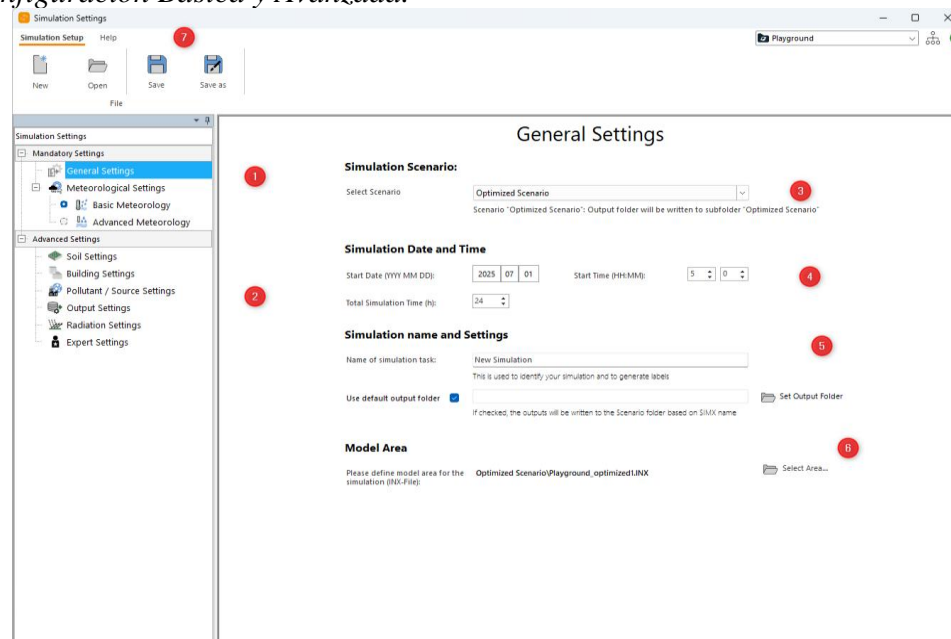
Al crear una nueva área, el programa solicita la configuración de la ubicación geográfica del modelo. Este paso del proceso es crucial, ya que la simulación de la radiación solar depende de la posición exacto del sitio en la Tierra.

- *Geometría del modelo:* la geometría se define mediante las dimensiones de la cuadrícula en los ejes X, Y, y Z.

- *Configuración de la cuadrícula:* se requiere una alta resolución espacial en las proximidades del suelo. El área del modelo debe tener una extensión horizontal al menos dos veces la altura del edificio más alto para representar correctamente en el entorno urbano.
- *Bordes del modelo:* es fundamental mantener celdas vacías en los bordes del modelo, es decir sin edificios digitalizados. En estas zonas debe definirse únicamente el terreno, los perfiles del suelo y la vegetación.
- *Biblioteca de materiales y objetos:* Esta biblioteca ofrece una visualización clara y acceso directo a los datos almacenados y permite crear, editar y consultar conjuntos de datos personalizados

Configuración de Simulación: En esta aplicación se pueden definir todas las configuraciones iniciales para la simulación y definir aspectos meteorológicos

Figura 52. Configuración Básica y Avanzada.

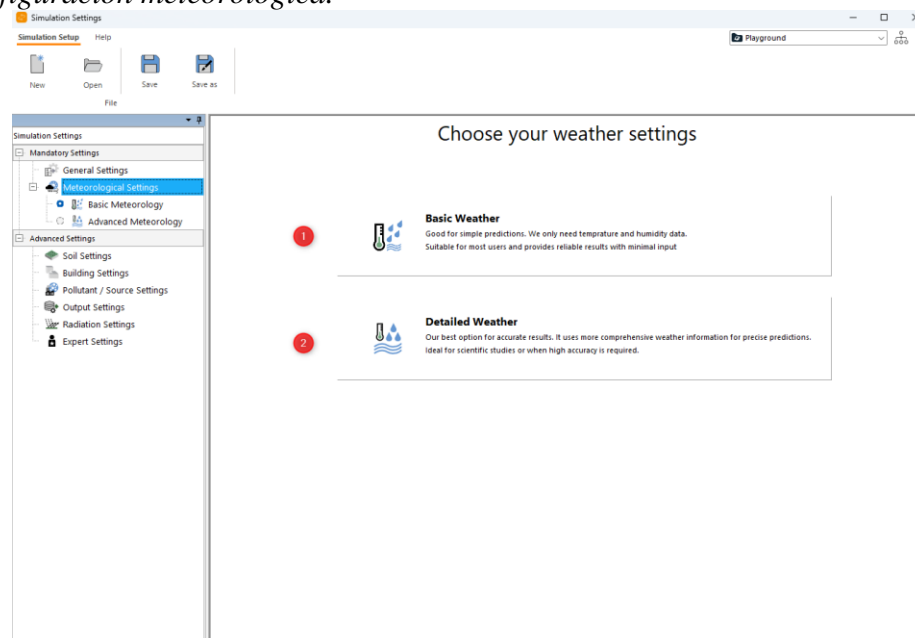


Tomado de ENVIMET a holistic microclimate model (s.f.).

La configuración se divide en dos secciones, la primera es la configuración obligatoria (1) que incluye los parámetros generales de la simulación y la selección de condiciones meteorológicas. La segunda corresponde a la configuración avanzada (2) que permite realizar ajustes adicionales en la simulación; sin embargo, no es necesario modificar estos parámetros para ejecutar un modelo básico.

En la sección de conjuración general, se debe definir el escenario en el que se trabajará (3), así como la fecha y la hora de inicio de la simulación (4). También es necesario establecer el nombre de la simulación y la carpeta de salida (5), además de seleccionar el archivo del área del modelo que se utilizara en la simulación (6). Finalmente, es posible guardar el archivo de configuración a través de la opción (7)

Figura 53. Configuración meteorológica.

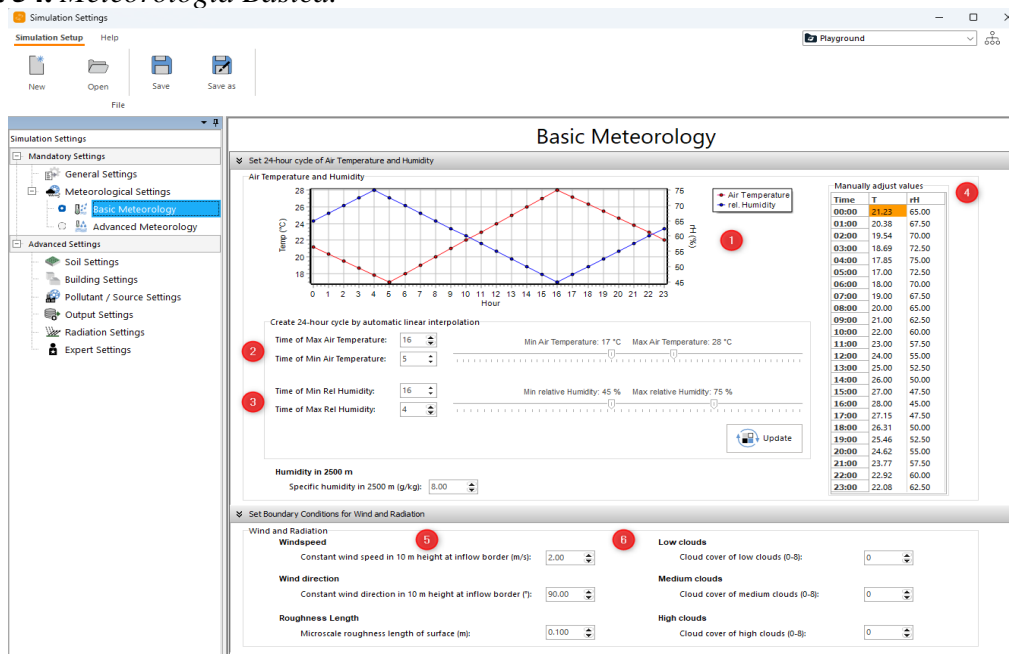


Tomado de ENVIMET a holistic microclimate model (s.f.).

En la sección de configuración meteorológica, se puede elegir entre dos opciones para definir las condiciones climáticas de su simulación de microclima:

1. *Datos meteorológicos básicos*: permite crear manualmente las condiciones meteorológicas para un día determinado. Esta opción es recomendable sino dispone de datos climáticos en formatos .EPW, .TRY, .CSV.

Figura 54. Meteorología Básica.

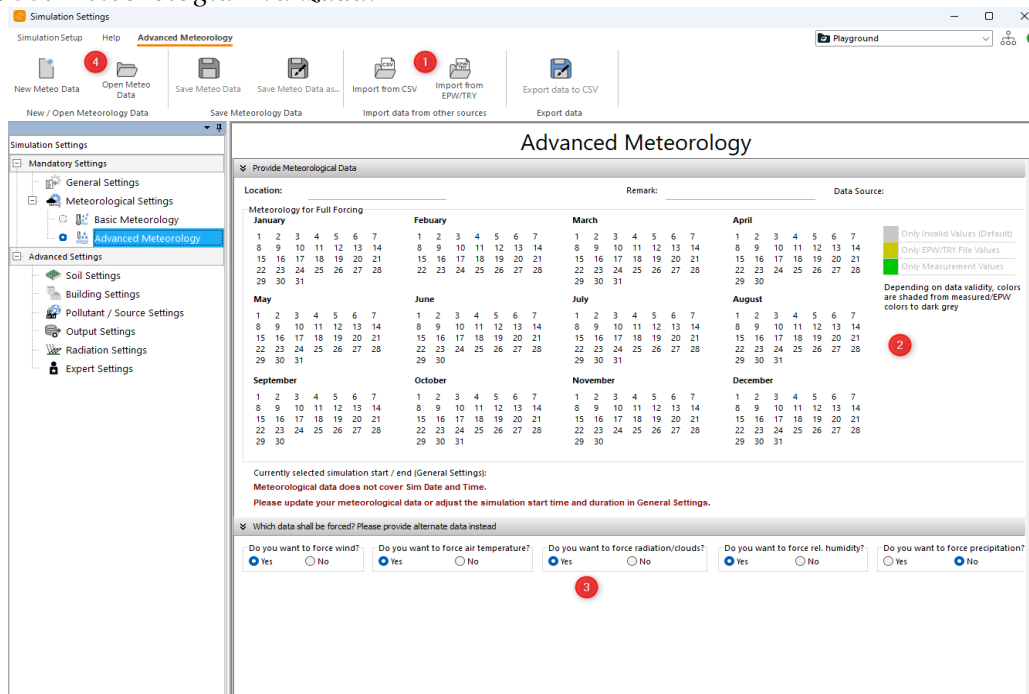


Tomado de ENVIMET a holistic microclimate model (s.f.).

En la gráfica se muestra la curva de temperatura y humedad de 24 horas (1). Si se modifica algún valor, esto será visible en la curva. (2), y (3) le permite editar el tiempo de temperatura y humedad máxima y mínima del aire, (4) permite definir valores de temperatura y humedad del aire para horas específicas del día, (5) permite editar configuraciones específicas del viento, (6) permite definir la nubosidad a tres alturas diferentes. Esto afectará la cantidad de radiación solar directa que llega a las superficies 0 significa sin nubosidad y 8 representa un cielo completamente nublado.

2. *Datos meteorológicos avanzado*: Es la opción recomendada, ya que permite importar archivos climáticos en los formatos .EPW, .TRY, .CSV, proporcionando así una mayor precisión y realismo en la simulación.

Figura 55. *Meteorología Avanzada.*



Tomado de ENVIMET a holistic microclimate model (s.f.).

En la configuración avanzada de meteorología, debe importar un archivo .EPW, .TRY, .CSV que contenga datos meteorológicos (1). Una vez cargado uno de estos archivos, se mostrarán los días disponibles con datos meteorológicos (2). Puede hacer clic en un día específico para visualizar los distintos parámetros correspondientes. (3) se puede seleccionar los elementos que desea utilizar del archivo de datos meteorológicos o definir valores personalizados. Además, tiene la opción de guardar la configuración como un archivo de datos meteorológicos .FOX por ultimo puede abrir archivos previamente creados (4)

7.2.5 Datos de salida

Cada simulación de ENVI-met genera una gran cantidad de datos que se organizan en diferentes archivos y carpetas. En términos generales, existen dos tipos principales de archivos de salida, independientemente de su contenido:

Archivos de texto simples: los cuales contienen datos en formato de texto que pueden ser leídos y visualizados con cualquier software compatible. A partir de la versión 5, ENVI-met ofrece diversas herramientas para analizar estos datos mediante Python, como DataStudio dentro de LEONARDO

Archivos binarios (EDX/EDT): siendo estos lo que constituyen los principales archivos de salida de ENVI-met y se almacenan en formato binario, por lo que requieren software especializado para su visualización. El software LEONARDO, incluido en el sistema ENVI-met, permite acceder de forma visual y eficiente a estos datos, ofreciendo múltiples opciones de visualización en 2D y 3D.

7.3 Análisis de modelos de simulación

El análisis de modelos de simulación constituye una fase fundamental dentro del estudio microclimático urbano, ya que permite evaluar con precisión las interacciones entre las variables ambientales, la morfología urbana y la cobertura vegetal. Para este estudio, se empleó el software ENVI-met v5.8, mediante el cual se desarrollaron simulaciones numéricas tridimensionales que reprodujeron las condiciones atmosféricas locales en los tres parques seleccionados del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB): Parque Santander (Bucaramanga), Parque Principal de Floridablanca y Parque Principal de Girón.

El proceso de simulación se basó en la calibración de los modelos con datos meteorológicos obtenidos de la Red Hidroclimatológica de la CDMB, garantizando coherencia con el comportamiento real de las variables climáticas. Se evaluaron cuatro parámetros ambientales principales: temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa y radiación reflejada.

Tabla 9. *Datos Climáticos Calibrados*

Promedio datos climáticos				
Fecha	Temperatura	Humedad relativa	Radiación	Vel viento
<i>Hora00</i>	24,28	94,47	0,00	0,39
<i>Hora01</i>	23,88	95,22	0,00	0,41
<i>Hora02</i>	23,56	95,72	0,00	0,42
<i>Hora03</i>	23,27	96,11	0,00	0,40
<i>Hora04</i>	22,99	96,35	0,05	0,40
<i>Hora05</i>	22,71	96,47	47,41	0,39
<i>Hora06</i>	22,59	96,65	81,86	0,37
<i>Hora07</i>	23,30	95,74	151,49	0,41
<i>Hora08</i>	25,39	91,96	332,64	0,51
<i>Hora09</i>	27,50	86,37	525,83	0,64
<i>Hora10</i>	29,34	81,03	701,64	0,74
<i>Hora11</i>	30,85	76,61	827,33	0,90
<i>Hora12</i>	31,44	75,37	876,94	1,19
<i>Hora13</i>	31,39	75,76	877,55	1,44
<i>Hora14</i>	31,17	76,80	801,23	1,47
<i>Hora15</i>	30,87	77,53	654,84	1,46
<i>Hora16</i>	30,18	79,89	463,93	1,35
<i>Hora17</i>	29,01	82,62	333,30	1,20
<i>Hora18</i>	27,57	85,99	125,99	0,94
<i>Hora19</i>	26,48	88,92	12,79	0,76
<i>Hora20</i>	25,94	90,53	0,05	0,62
<i>Hora21</i>	25,49	91,75	0,05	0,52
<i>Hora22</i>	25,09	92,59	0,05	0,44
<i>Hora23</i>	24,71	93,64	0,00	0,40

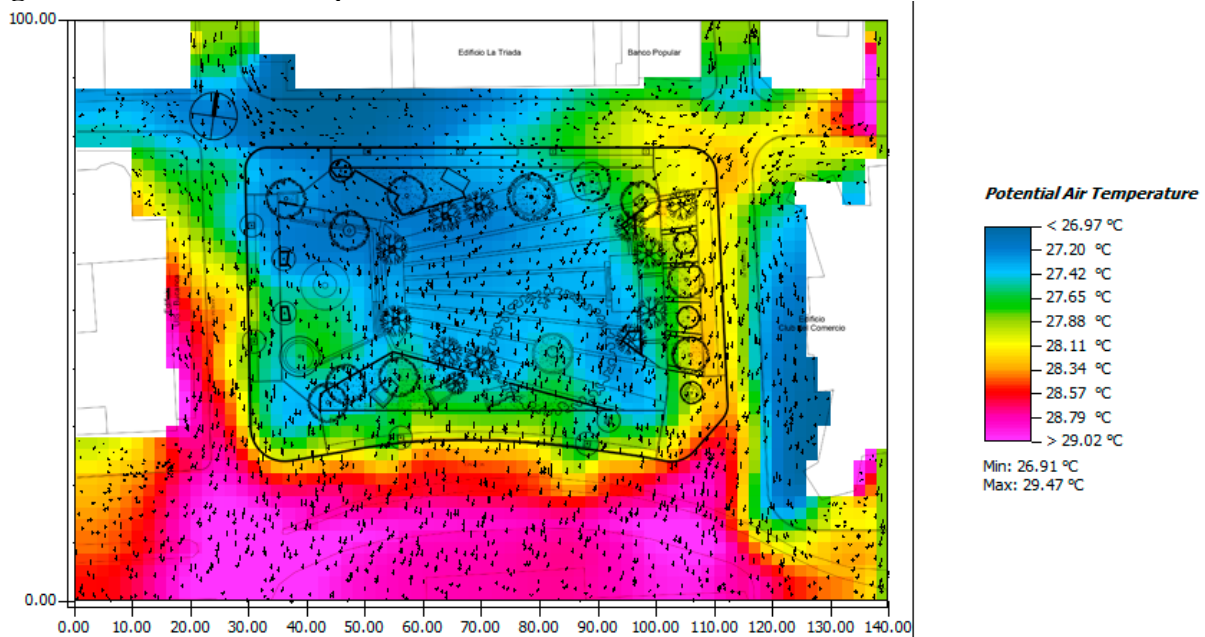
Cada variable fue analizada espacial y temporalmente durante un ciclo típico de 24 horas, permitiendo identificar patrones térmicos diferenciados entre los escenarios de estudio. Los modelos fueron configurados considerando las propiedades térmicas de los materiales, la distribución de la vegetación, la altura de las edificaciones y las proporciones urbanas, con el objetivo de reproducir fielmente las condiciones microclimáticas reales.

Los resultados fueron procesados mediante el módulo LEONARDO de ENVI-met, que permitió generar mapas térmicos, perfiles verticales de temperatura y gráficos de variación temporal, utilizados para interpretar el comportamiento térmico de cada parque.

7.3.1 Cálculo de parámetros ambientales - Parque Santander – Bucaramanga

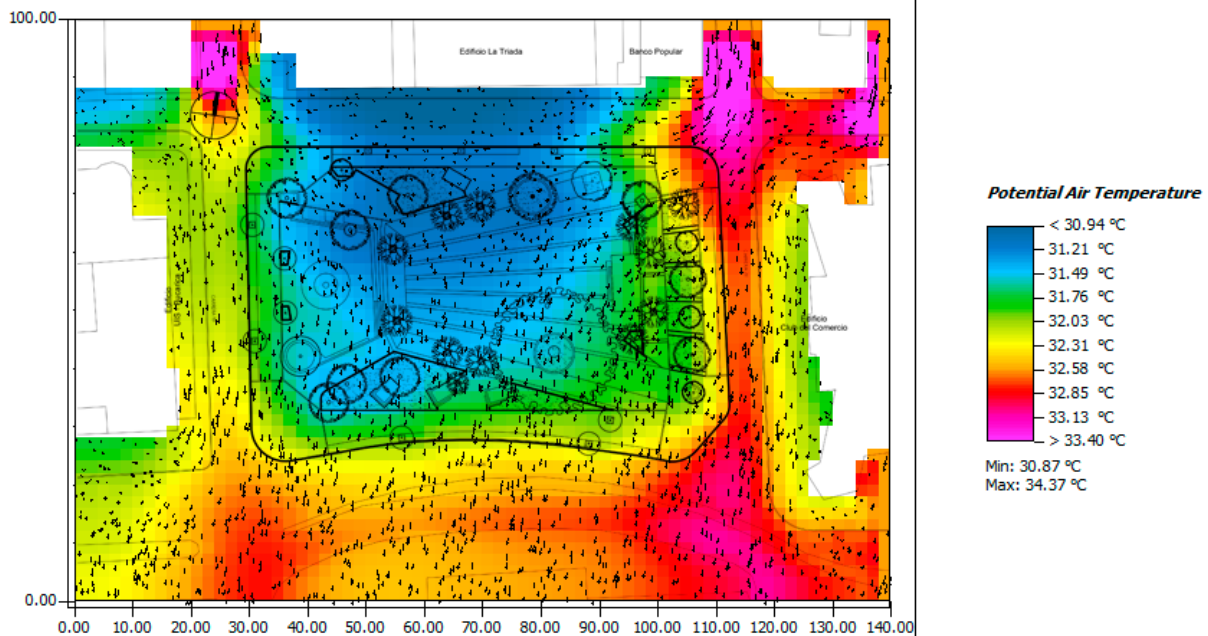
7.3.1.1 Simulación Temperatura.

Figura 56. Simulación Temperatura Aire 9:00am.

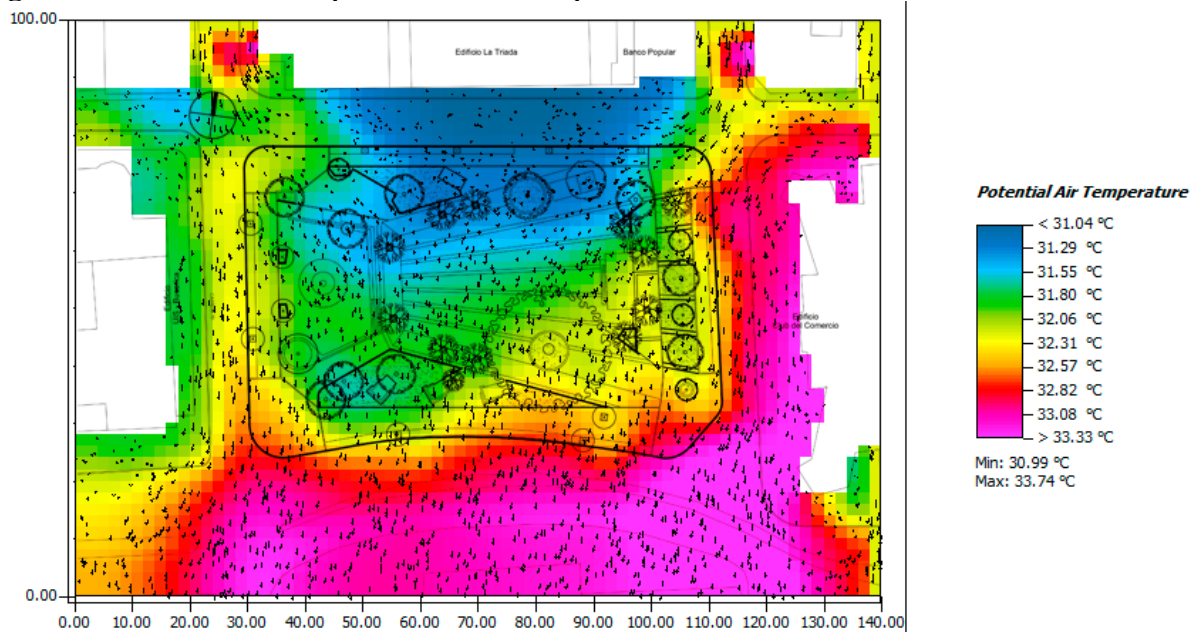


La *Figura 56* corresponde a la simulación realizada a las 9:00 a.m., en la cual las zonas con temperaturas más elevadas se localizan principalmente en las vías con pavimento asfáltico, alcanzando valores cercanos a 29 °C. Esta temperatura disminuye progresivamente hacia el interior del parque, donde los valores se concentran alrededor de 27 °C, debido al cambio en los materiales superficiales. En este horario, la vegetación y los materiales permeables contribuyen a mantener un microclima más fresco dentro del parque.

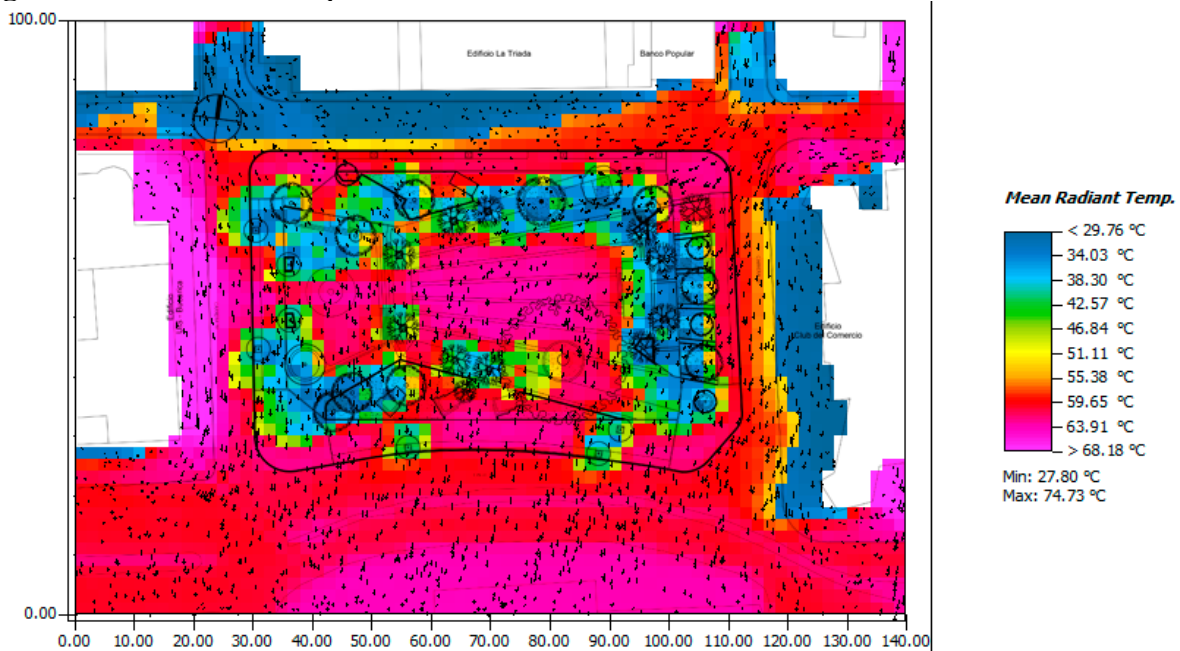
Figura 57. Simulación Temperatura Aire 12:00pm.



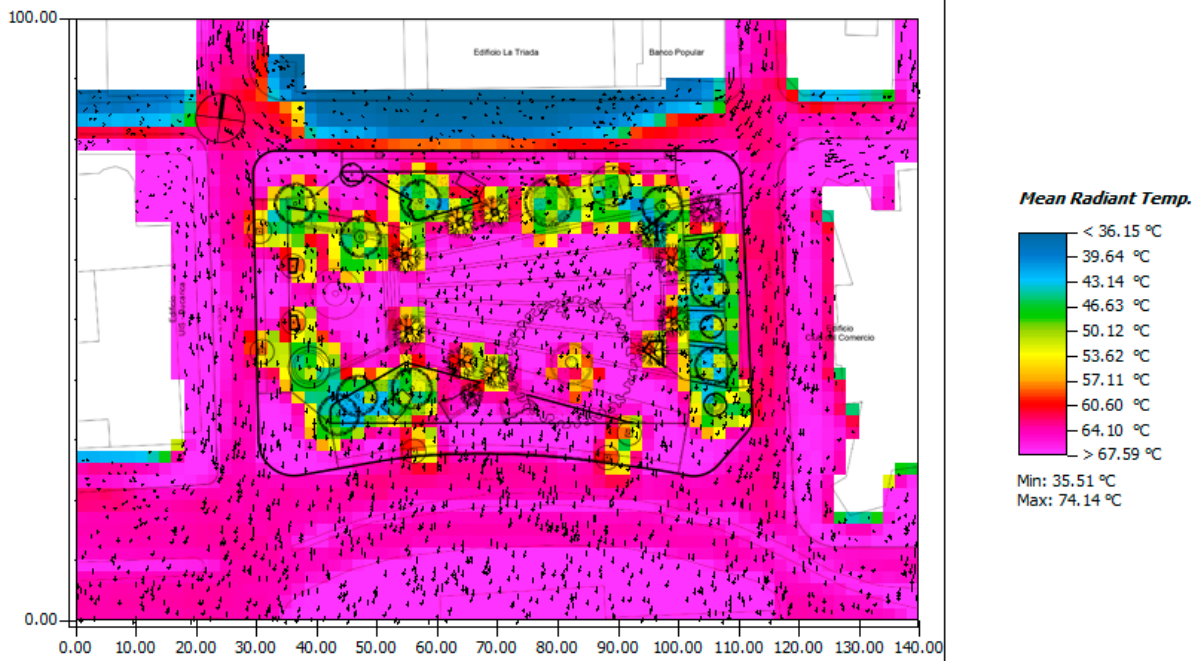
La *Figura 57* muestra la simulación realizada a las 12:00 p.m., momento en el que la temperatura aumenta en las vías circundantes, alcanzando valores entre 32.31 °C y 33.40 °C. Al interior del parque también se presenta un incremento, con registros entre 30.94 °C y 31.76 °C. Las zonas más frescas se asocian a la sombra proyectada por los edificios del costado norte, que atenúan la radiación solar directa. A mediodía, la influencia de la morfología urbana y la sombra proyectada se torna determinante en la distribución térmica.

Figura 58. Simulación Temperatura Aire 3:00pm.

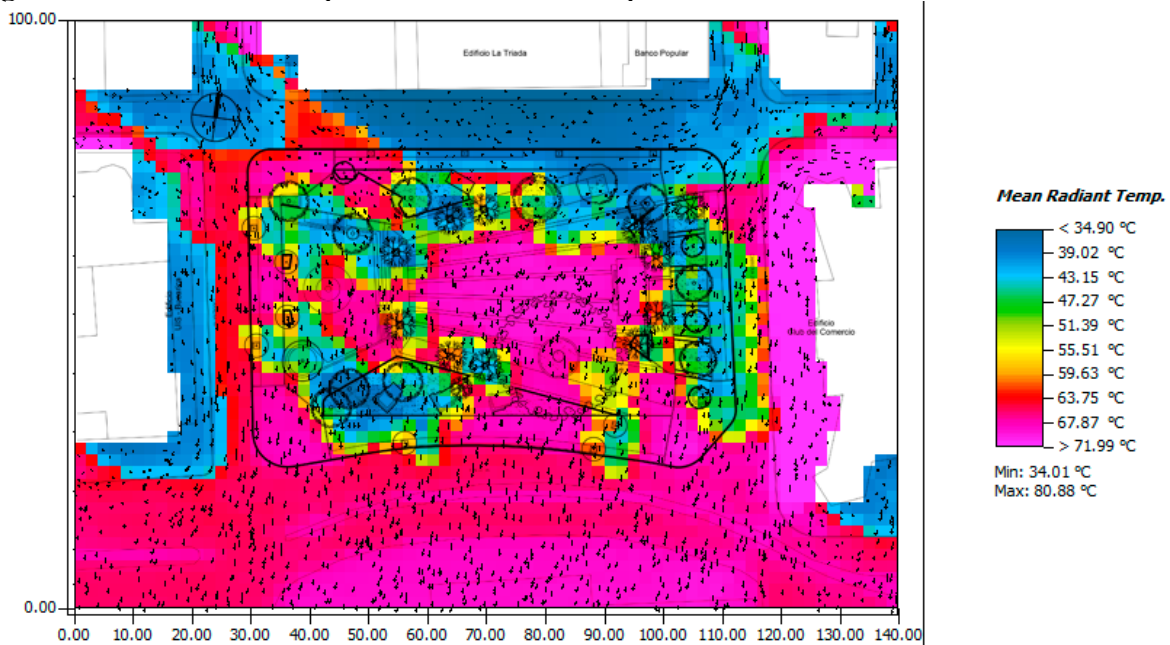
La *Figura 58* corresponde a la simulación de las 3:00 p.m., cuando las temperaturas más altas se concentran en las vías del sureste del parque, con valores entre 32.82 °C y 33.33 °C. En el interior del parque, la temperatura se mantiene entre 31.04 °C y 32.31 °C. Durante la tarde, el incremento térmico es generalizado y refleja el efecto acumulativo del calor sobre las superficies duras.

Figura 59. Simulación Temperatura Radiante 9:00am.

La *Figura 59* presenta la simulación de temperatura radiante a las 9:00 a.m., donde se aprecia el comportamiento térmico de los materiales. Las zonas con pavimento asfáltico alcanzan temperaturas cercanas a 68.18 °C, al igual que las áreas expuestas a la radiación solar directa. En contraste, las zonas arborizadas muestran temperaturas hasta 25 °C más bajas. En este periodo, la vegetación actúa como moderador térmico al reducir la radiación absorbida.

Figura 60. Simulación Temperatura Radiante 12:00pm.

La *Figura 60* muestra la simulación de temperatura radiante a las 12:00 p.m., con un aumento generalizado de los valores entre 64.10 °C y 67.79 °C. Las superficies compuestas por pavimento asfáltico, concreto y piedra natural registran los valores más altos, mientras que las zonas sombreadas mantienen temperaturas menores. El comportamiento térmico al mediodía confirma la mayor acumulación de calor en materiales con alta inercia térmica.

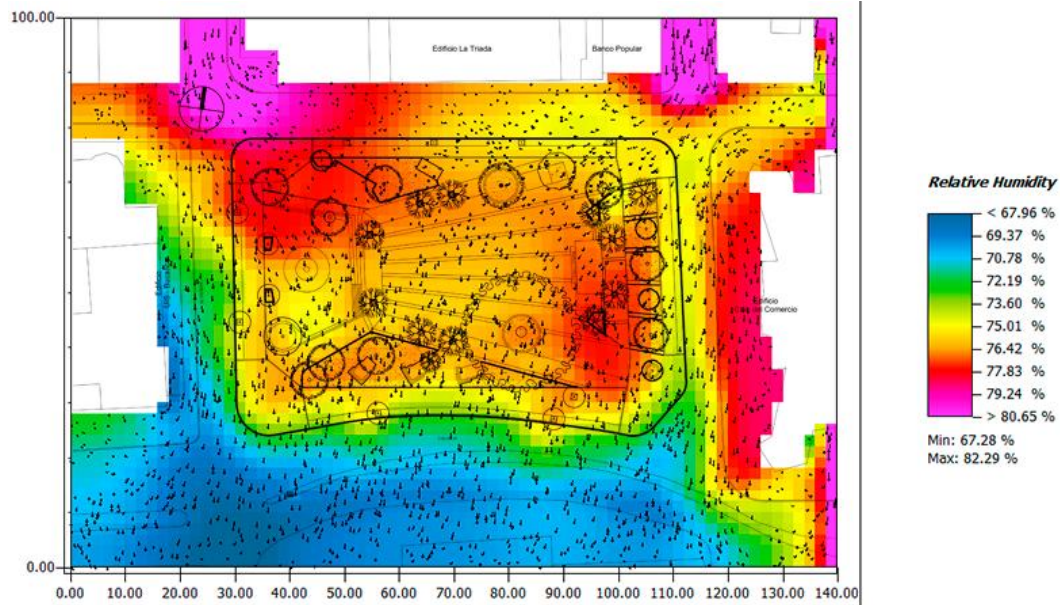
Figura 61. Simulación Temperatura Radiante 3:00pm.

La *Figura 61* corresponde a la simulación de temperatura radiante a las 3:00 p.m., momento en el que las vías presentan las temperaturas más elevadas ($67.87\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $71.99\text{ }^{\circ}\text{C}$), especialmente en los perfiles viales amplios. En el interior del parque, la concentración arbórea genera una disminución térmica, con valores entre $34.90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $47.27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante la tarde, el arbolado urbano demuestra su papel clave en la mitigación del calor superficial.

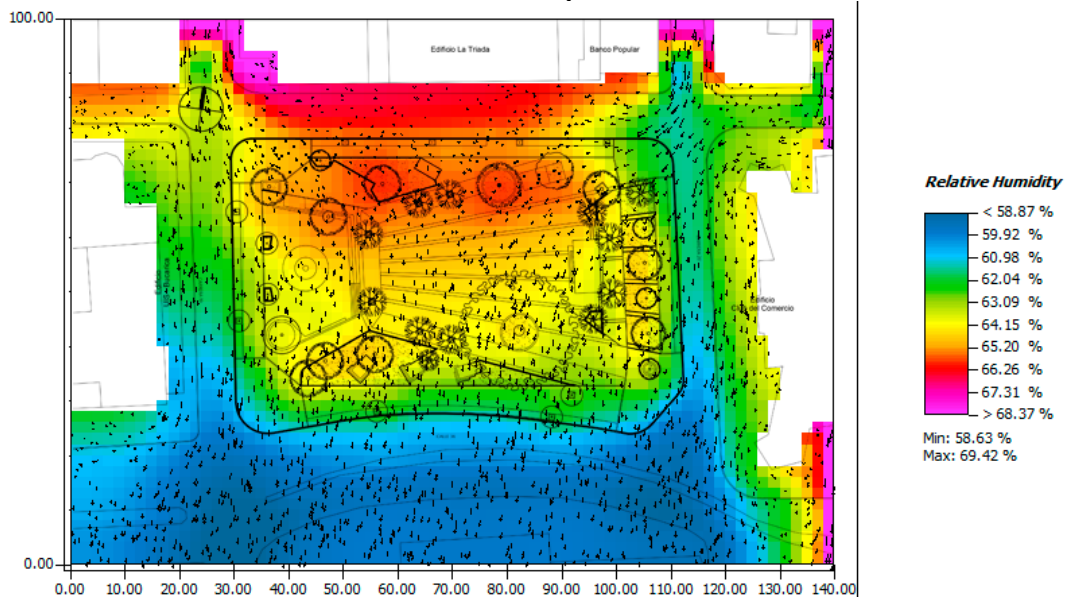
A partir de los resultados de temperatura del aire y temperatura radiante, se identifica un incremento térmico progresivo a lo largo del día, con diferencias de hasta $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre la mañana y la tarde. Las máximas se registran en zonas pavimentadas y expuestas a radiación solar directa, mientras que las áreas verdes presentan hasta $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ menos. Este comportamiento refleja la influencia del material urbano sobre la eficiencia térmica del espacio público.

7.3.1.2 Simulación Humedad Relativa.

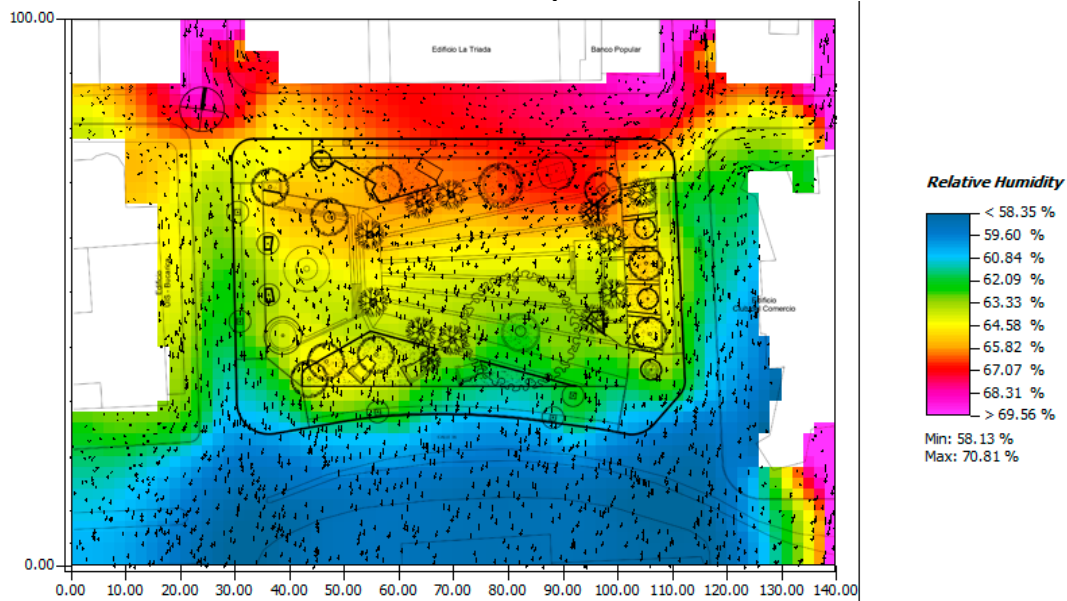
Figura 62. Simulación Humedad Relativa 9:00am.



La *Figura 62* muestra la simulación de humedad relativa a las 9:00 a.m. Los valores más bajos (67.96 % a 70.78 %) se ubican en las zonas más cálidas, mientras que al interior del parque los niveles alcanzan entre 75.01 % y 77.83 %. En la mañana, la cobertura vegetal favorece una mayor retención de humedad ambiental.

Figura 63. Simulación Humedad Relativa 12:00pm.

La *figura 63* presenta la simulación a las 12:00 p.m., cuando la humedad disminuye en las zonas más cálidas, con valores entre 58.57 % y 60.98 % en las vías y entre 62.04 % y 66.26 % dentro del parque. La reducción de humedad coincide con el aumento térmico y la pérdida de confort ambiental al mediodía.

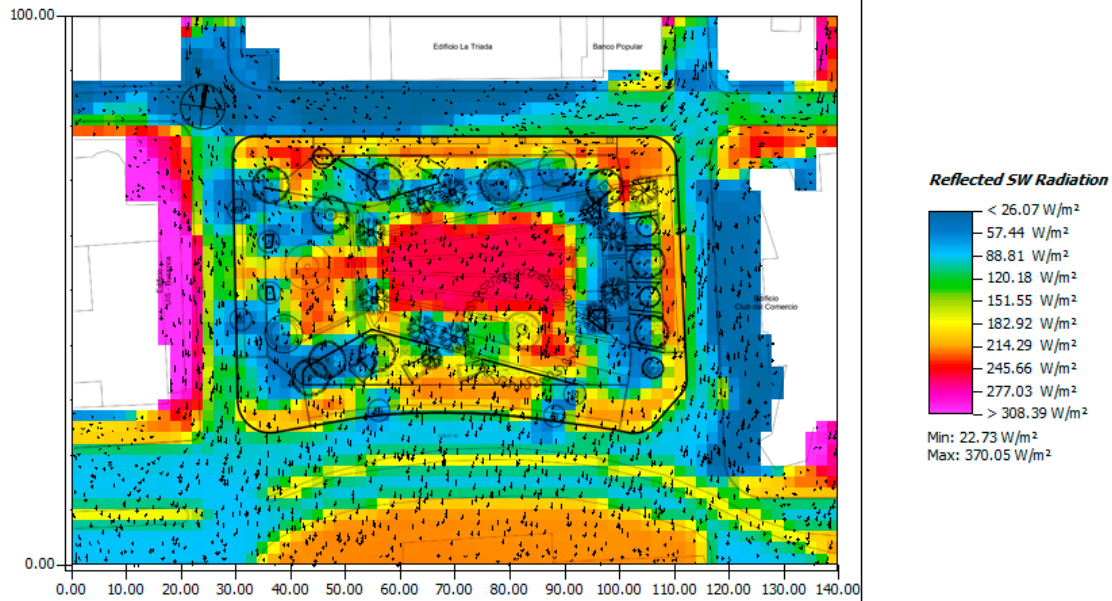
Figura 64. Simulación Humedad Relativa 3:00pm.

La *Figura 64* corresponde a la simulación a las 3:00 p.m., donde la humedad más baja se mantiene en las áreas asfaltadas cercanas a 58.35 %, mientras que el resto del parque oscila entre 62.09 % y 64.58 %. En la tarde, el contraste entre zonas duras y vegetadas se acentúa, reforzando la relación inversa entre temperatura y humedad.

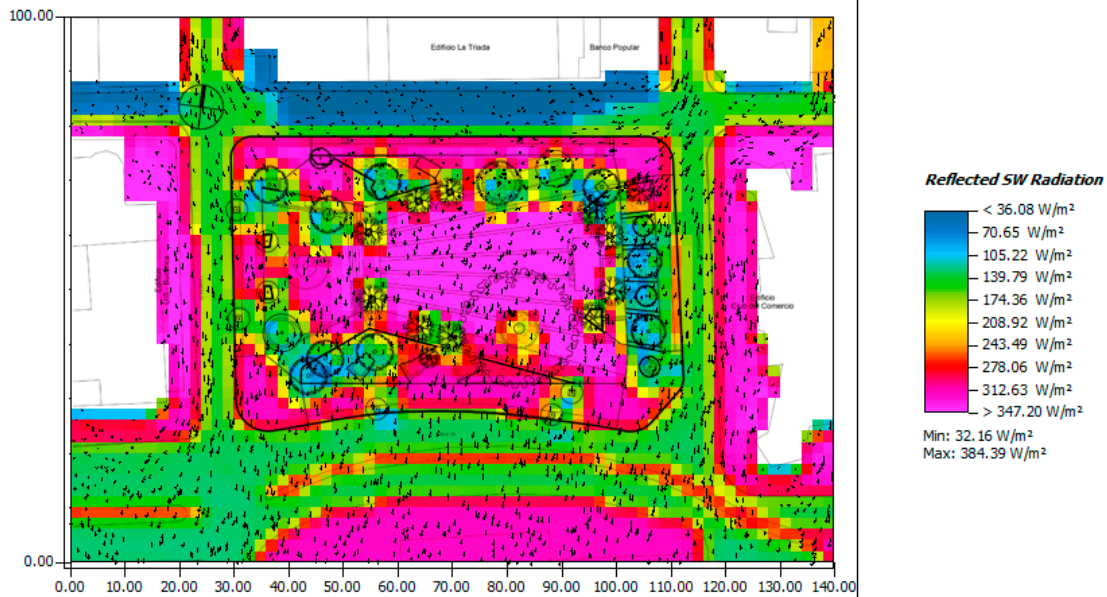
El análisis de los resultados de humedad relativa evidencia una disminución progresiva a lo largo del día, inversamente proporcional al incremento de la temperatura del aire. Las horas de la mañana registran los valores más altos en las zonas arborizadas, mientras que en la tarde se observa una diferencia de hasta 19 %. Esto evidencia la función reguladora de la vegetación sobre la humedad ambiental.

7.3.1.3 Simulación Radiación Reflejada.

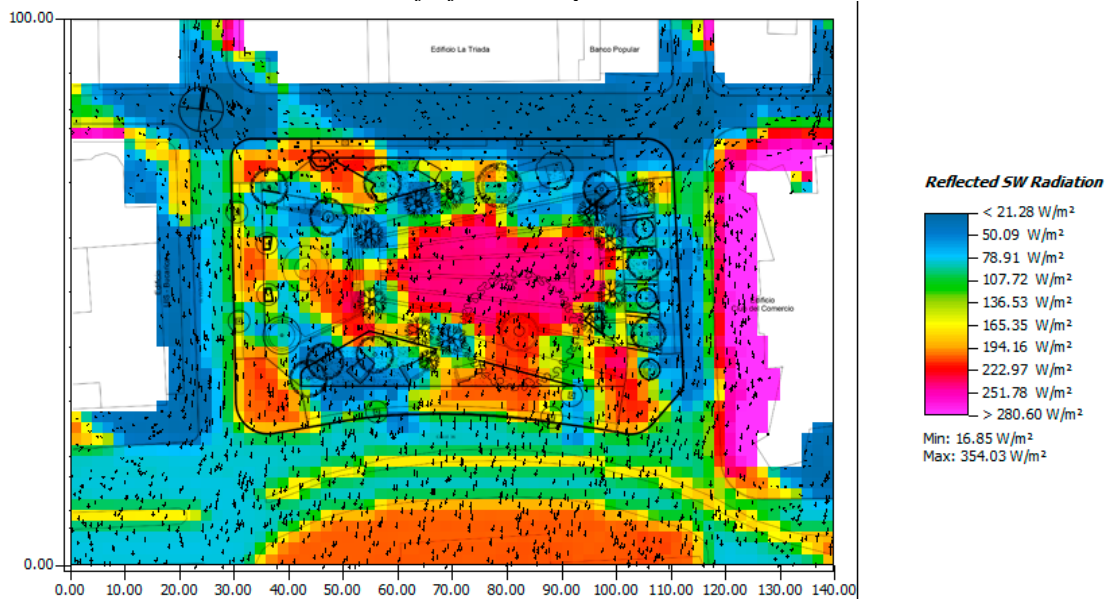
Figura 65. Simulación Radiación Reflejada 9:00am.



La *Figura 65* corresponde a la simulación de radiación reflejada a las 9:00 a.m., donde las mayores intensidades se registran en las áreas con piedra natural hasta 245.66 W/m^2 . En contraste, las superficies asfálticas, de concreto y las zonas verdes presentan valores más bajos, entre 26.07 W/m^2 y 88.81 W/m^2 . Durante la mañana, la reflectancia varía principalmente según el tipo de material superficial.

Figura 66. Simulación Radiación Reflejada 12:00pm-

La *figura 66* muestra la simulación a las 12:00 p.m., con incrementos en las zonas de concreto y piedra natural ($312.63 W/m^2$ a $347.20 W/m^2$). Los pavimentos asfálticos y las áreas vegetadas mantienen valores inferiores ($139.79 W/m^2$ a $174.36 W/m^2$). La radiación reflejada alcanza su punto máximo en las superficies con mayor exposición solar y menor absorción.

Figura 67. Simulación Radiación Reflejada 3:00pm.

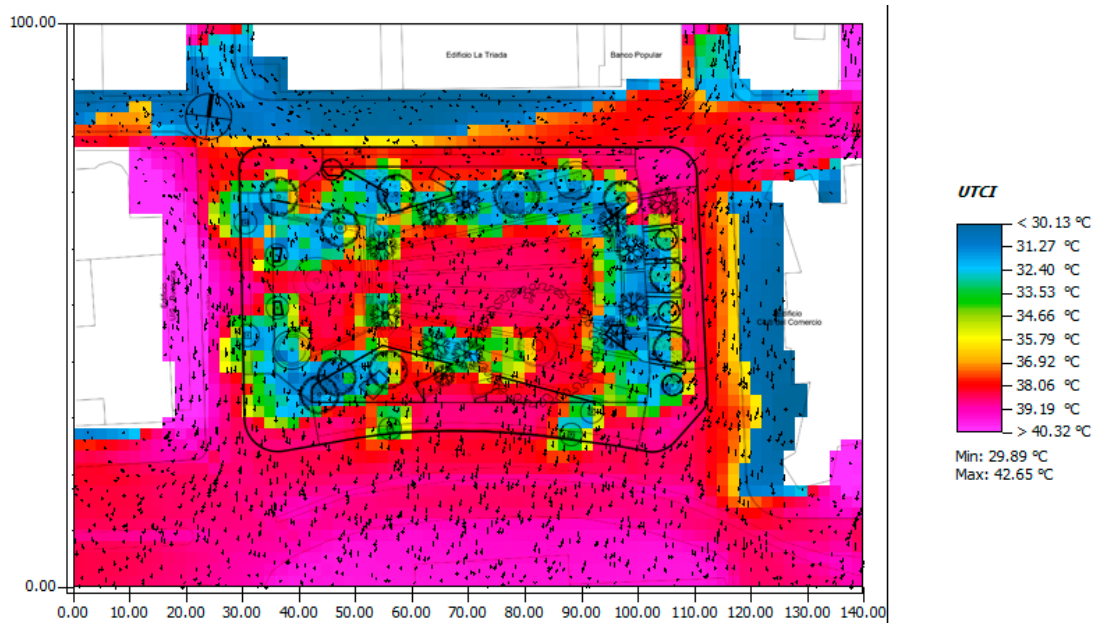
La Figura 67 presenta la simulación a las 3:00 p.m., cuando las áreas de piedra natural registran entre 251.78 W/m^2 y 280.60 W/m^2 . El concreto disminuye a rangos entre 165.35 W/m^2 y 194.16 W/m^2 , y los valores más bajos corresponden a zonas asfaltadas y vegetadas (21.28 W/m^2 a 78.91 W/m^2). En la tarde, la radiación reflejada desciende ligeramente, pero mantiene el mismo patrón material.

Los resultados de radiación reflejada muestran una variación significativa a lo largo del día, directamente asociada al tipo de material expuesto a la radiación solar. Las superficies duras superan los 300 W/m^2 en las horas de mayor incidencia, mientras que las áreas verdes presentan valores mucho menores. Esto confirma la relevancia de los materiales en la dinámica térmica y visual del espacio público.

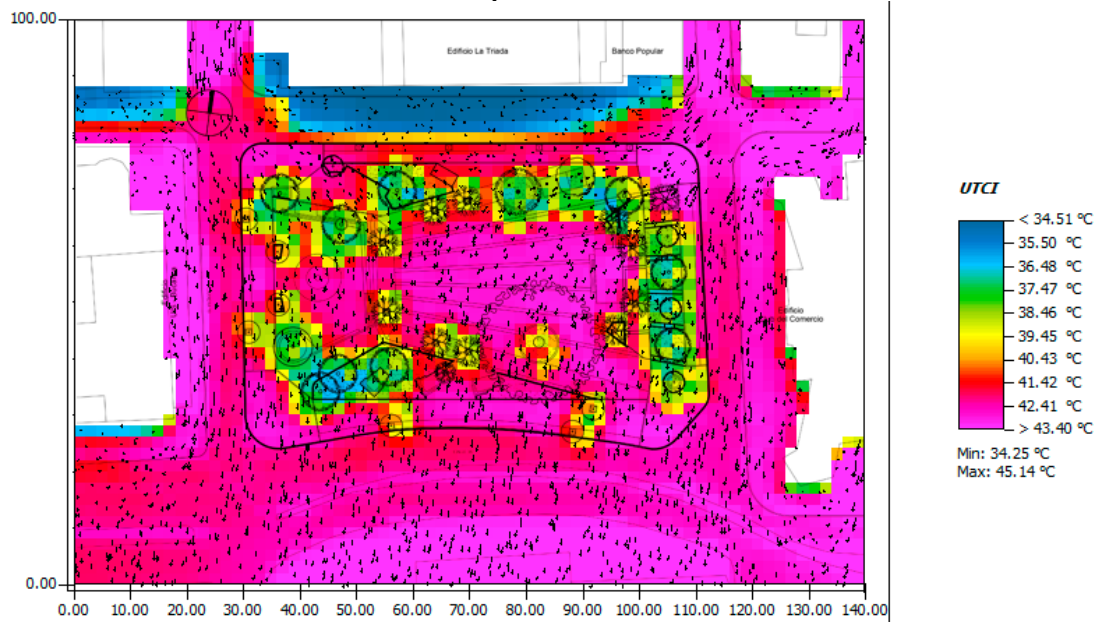
7.3.2 Cálculo de índice de evaluación de confort - Parque Santander – Bucaramanga

7.3.2.1 Simulación Índice UTCI.

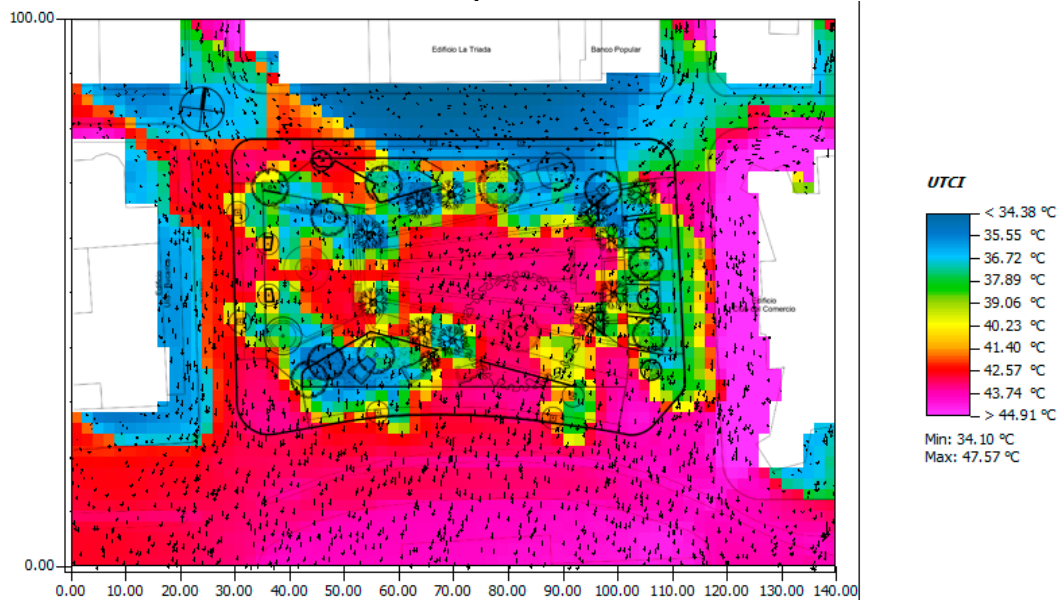
Figura 68. Simulación Índice UTCI 9:00am.



La *Figura 68* muestra el Índice Universal de Confort Térmico (UTCI) a las 9:00 a.m. En esta se observa, de acuerdo con la escala de confort del índice, que las zonas del parque con temperaturas superiores a 38 °C presentan condiciones de *calor muy fuerte*, correspondiendo principalmente a las superficies duras. En contraste, las áreas verdes tienen comprendidas entre 30 °C y 38 °C se ubican dentro de la categoría de *calor moderado*.

Figura 69. Simulación Índice UTCI 12:00pm.

La *Figura 69* corresponde al UTCI de las 12:00 p.m., cuando las superficies duras mantienen condiciones de *calor muy fuerte* (> 38 °C) y las zonas verdes alcanzan valores entre 34 °C y 38 °C, dentro de *calor moderado*. Al mediodía, las condiciones de confort disminuyen considerablemente por la radiación directa.

Figura 70. Simulación Índice UTCI 3:00pm.

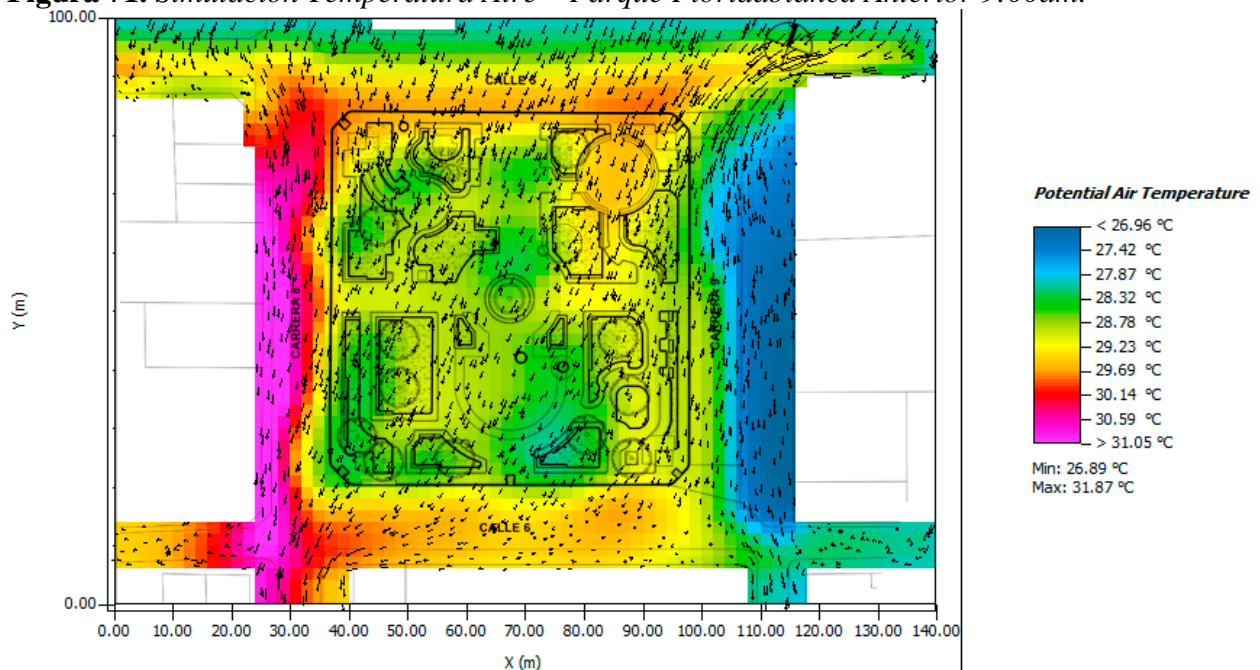
La *corresponde al* UTCI de las 12:00 p.m., cuando las superficies duras mantienen condiciones de *calor muy fuerte* (> 38 °C) y las zonas verdes alcanzan valores entre 34 °C y 38 °C, dentro de *calor moderado*. Al mediodía, las condiciones de confort disminuyen considerablemente por la radiación directa.

Figura 70 presenta el UTCI a las 3:00 p.m., manteniendo el mismo patrón: las superficies duras superan los 38 °C *calor muy fuerte* y las áreas vegetadas oscilan entre 34 °C y 38 °C *calor moderado*. Durante la tarde, el confort térmico continúa reducido, destacando la importancia de las zonas arborizadas como refugios térmicos.

7.3.3 Cálculo de parámetros ambientales - Parque Floridablanca

7.3.3.1 Simulación Temperatura.

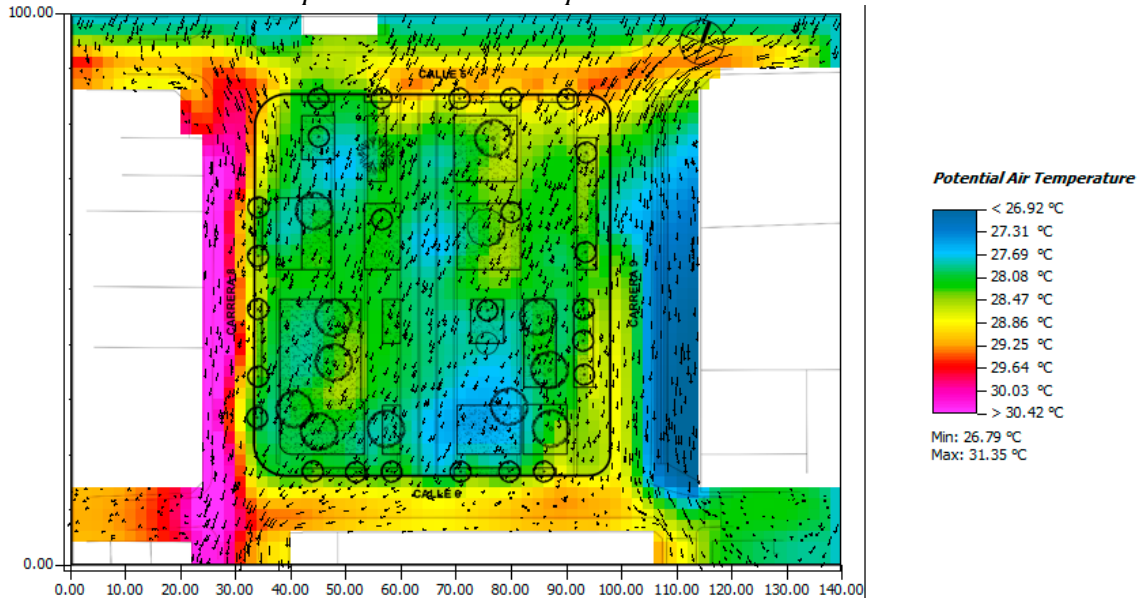
Figura 71. Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Anterior 9:00am.



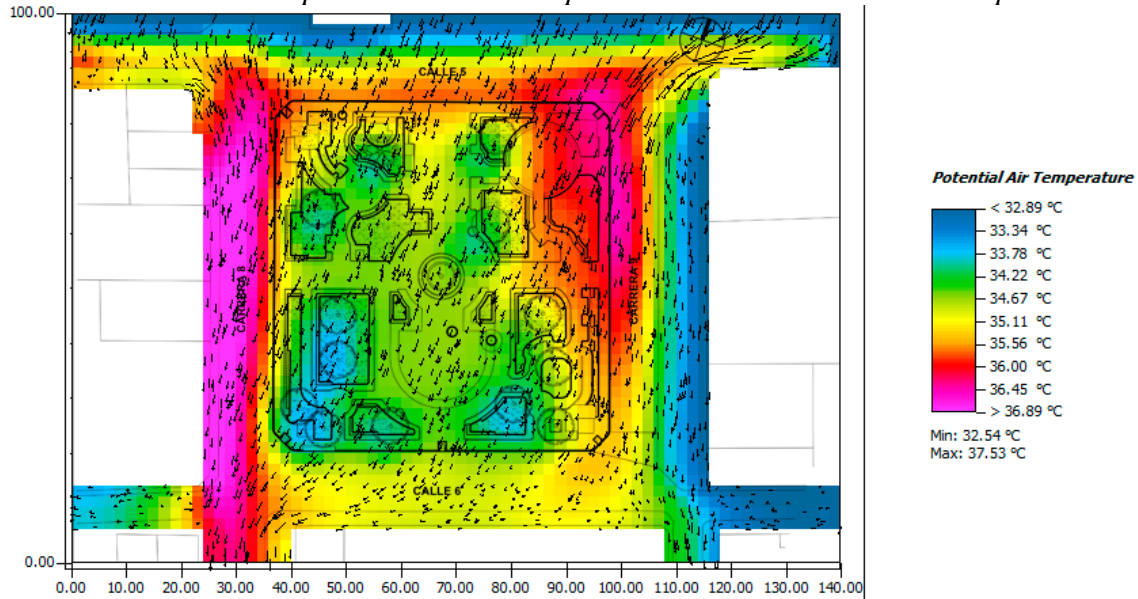
Las simulaciones del Parque Floridablanca se realizaron tanto para el parque en su estado anterior como para el parque actual, con el propósito de comparar el comportamiento térmico de ambos. En *Figura 71* presenta los resultados obtenidos a las 9:00 a.m. para la temperatura del aire

en el parque anterior de Floridablanca. Se observa que la mayor parte del área simulada presenta valores entre 28.32 °C y 29.69 °C. No obstante, se evidencian dos variaciones térmicas en las vías perimetrales: la del costado oeste, que alcanza una temperatura de 31.05 °C, y la del costado este, con 26.96 °C.

Figura 72. Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Nuevo 9:00am.

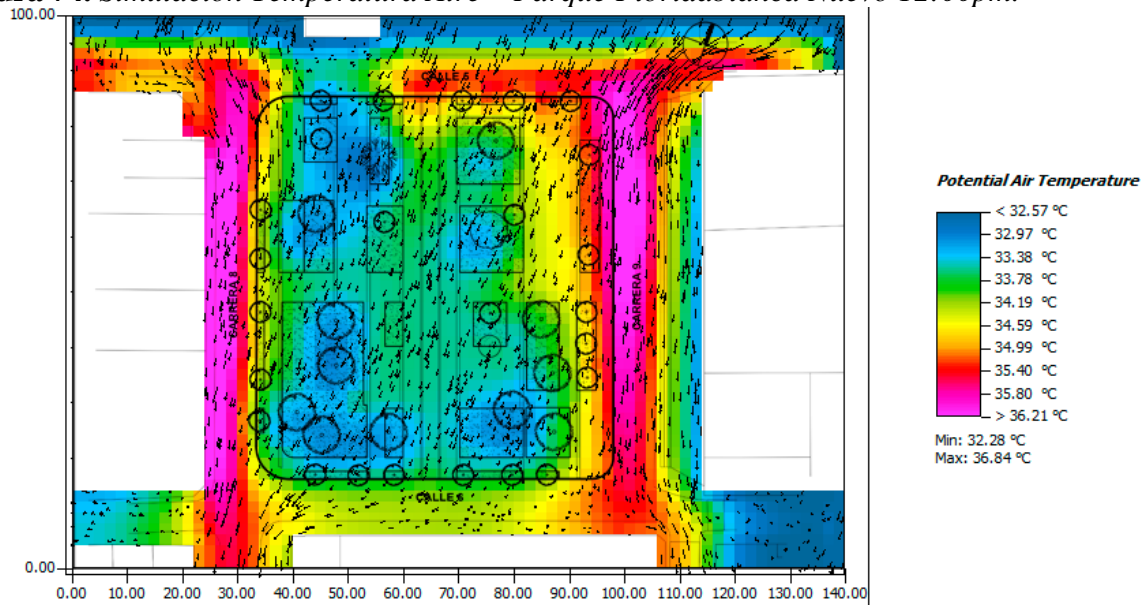


En la *Figura 72* muestra los resultados a las 9:00 a.m. para la temperatura del aire en el parque actual. La mayor parte del área simulada presenta valores entre 28.08 °C y 28.47 °C, con una temperatura máxima de 30.42 °C, lo que representa una reducción de 0.63 °C frente al parque anterior. Esta variación se asocia al cambio de materiales sustitución de concreto por piedra natural y al incremento de arborización y zonas verdes, factores que contribuyeron a disminuir la temperatura del aire. El rediseño del parque evidencia una mejora térmica inicial atribuida principalmente a la vegetación y al uso de materiales naturales.

Figura 73. Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Anterior 12:00pm.

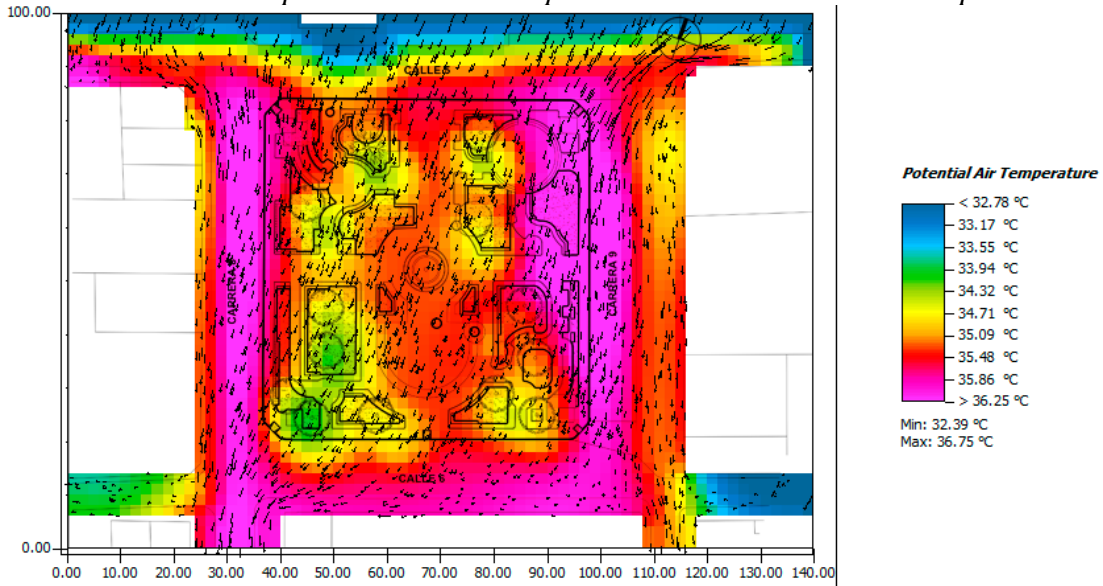
En la

Figura 73 correspondiente a las 12:00 p.m. para el parque anterior, las zonas con temperaturas más elevadas se concentran en las vías perimetrales, con valores de hasta 36.89 °C. Al interior, la temperatura se mantiene entre 34.67 °C y 35.11 °C, mostrando una ligera moderación térmica por la presencia de áreas verdes. A mediodía, el parque antiguo muestra un comportamiento térmico extremo en los bordes viales.

Figura 74. Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Nuevo 12:00pm.

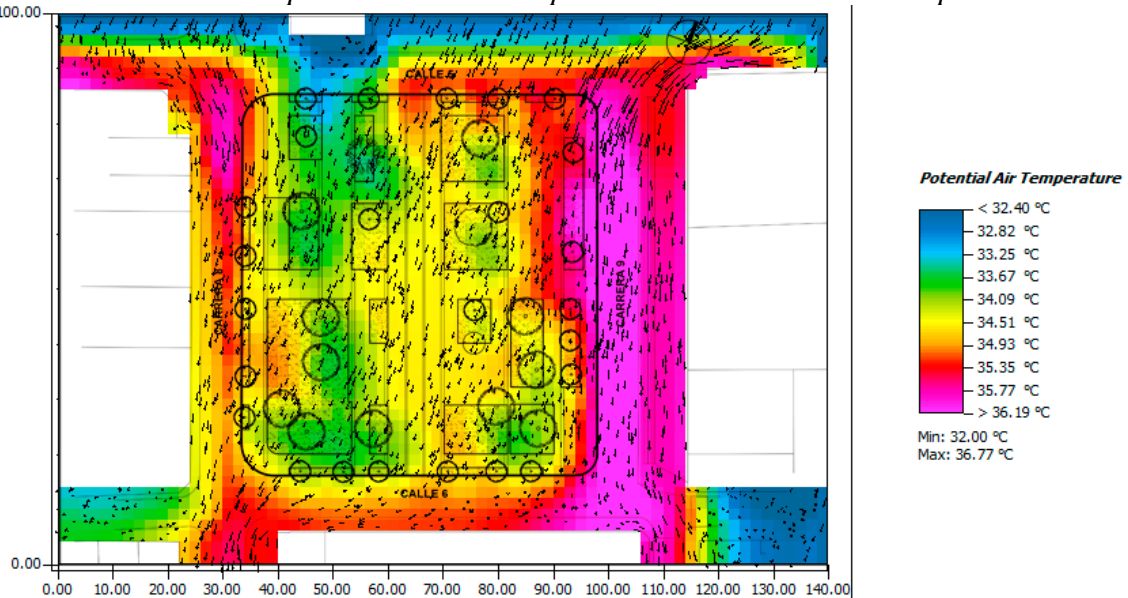
En la *Figura 74* presenta los resultados a las 12:00 p.m. para el parque actual. Las vías perimetrales alcanzan hasta 36.21 °C, mientras que al interior del parque las temperaturas oscilan entre 32.97 °C y 33.78 °C. En comparación con el parque anterior, se registra una reducción de 1.21 °C. Este descenso confirma la influencia positiva de la vegetación y los materiales porosos en la regulación térmica diaria.

Figura 75. Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Anterior 3:00pm.



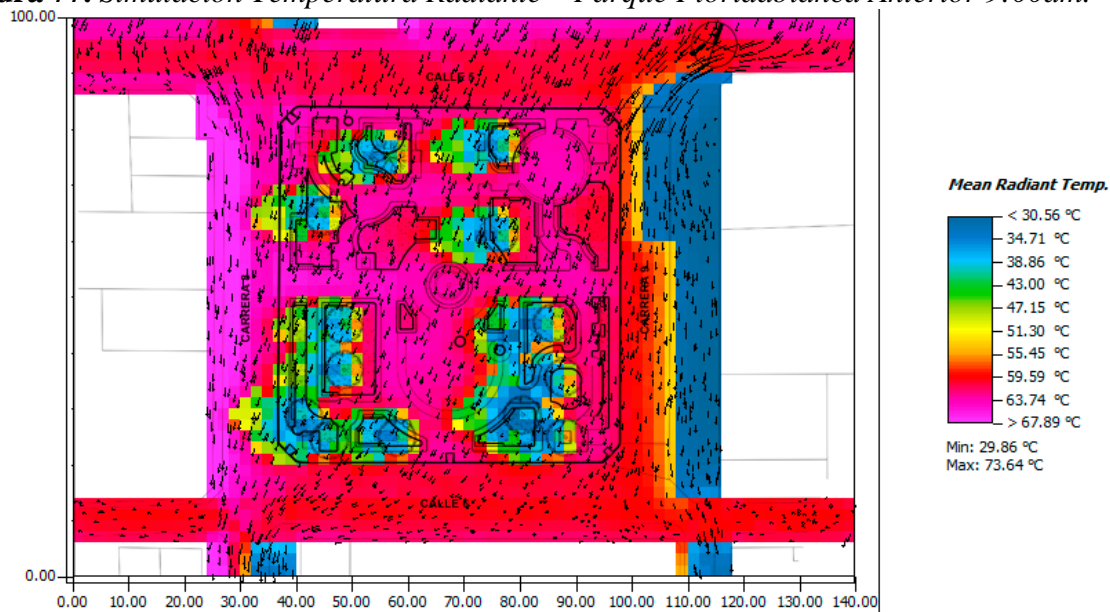
En la *Figura 75* muestra los resultados a las 3:00 p.m. para el parque anterior. Las zonas más cálidas corresponden a las vías circundantes, con valores de hasta 36.25 °C, mientras que el interior se mantiene entre 34.67 °C y 35.11 °C. Durante la tarde, el parque antiguo conserva altas temperaturas superficiales con escasa disipación térmica.

Figura 76. Simulación Temperatura Aire – Parque Floridablanca Nuevo 3:00pm.

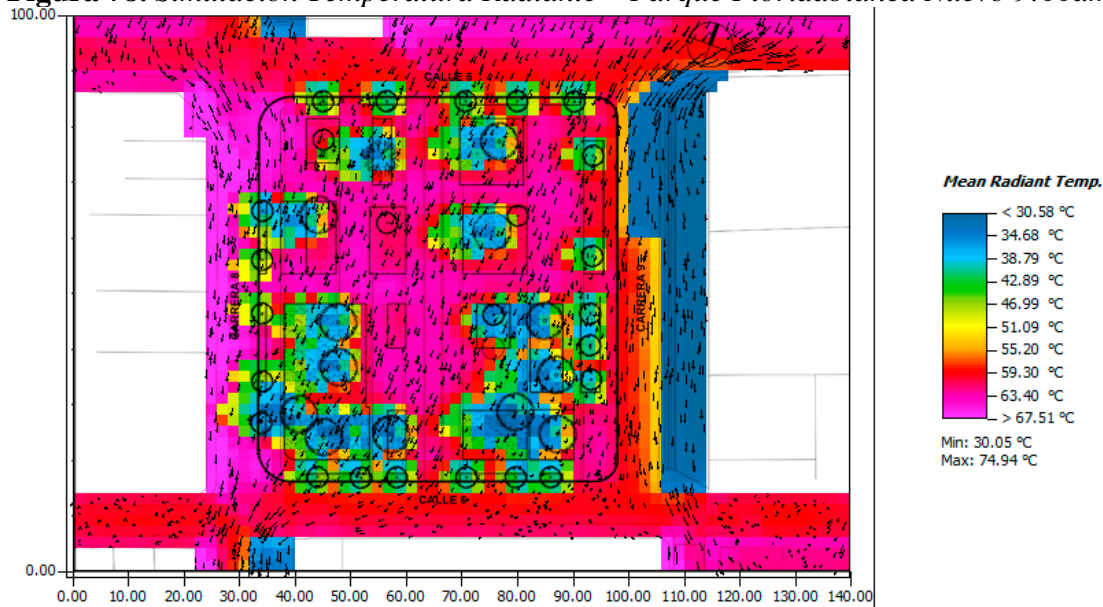


En la *Figura 76* correspondiente al parque actual a las 3:00 p.m., las mayores temperaturas se localizan en la vía del costado este, con valores de hasta 36.19 °C, mientras que el interior presenta un rango de 33.67 °C a 34.09 °C. La diferencia térmica entre ambos parques a esta hora es mínima, lo que sugiere un comportamiento térmico similar bajo condiciones de máxima radiación. El parque renovado mantiene un equilibrio térmico comparable, aunque con ligeras mejoras en zonas interiores.

Figura 77. Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Anterior 9:00am.



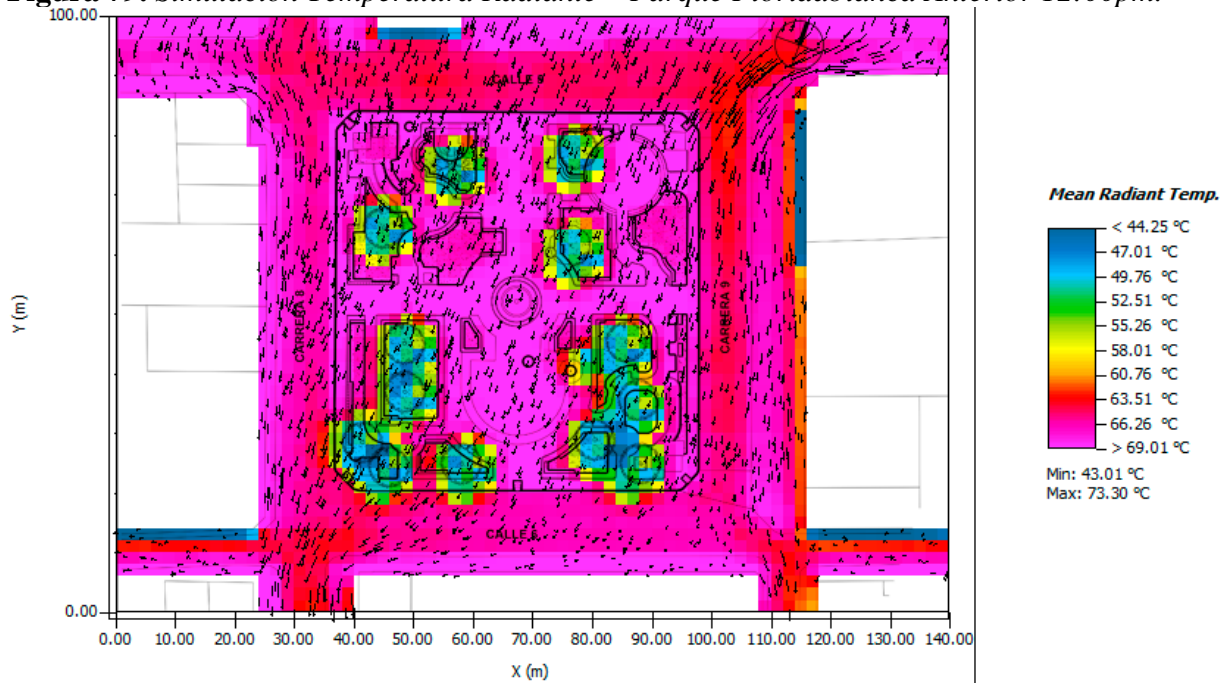
La *Figura 77* correspondiente a la simulación de temperatura radiante a las 9:00 a.m. sobre el parque antiguo, muestra temperaturas elevadas en las vías y zonas duras del interior, con valores entre 59.59 °C y 67.89 °C. Las áreas verdes y arborizadas registran menores temperaturas (30.56 °C a 43.00 °C). La radiación matutina impacta de manera significativa las superficies duras del parque anterior.

Figura 78. Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Nuevo 9:00am.

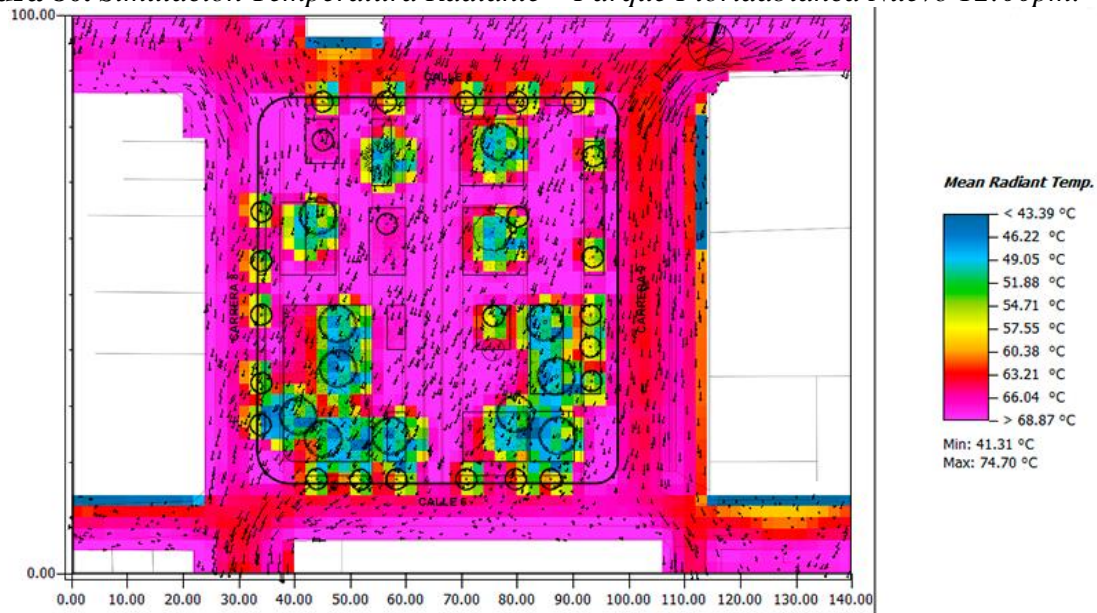
La Figura 78 la simulación de temperatura radiante a las 9:00 a.m. sobre el parque actual presenta valores entre 55.20 °C y 67.51 °C en zonas pavimentadas y entre 30.58 °C y 42.89 °C en áreas verdes. La diferencia térmica entre ambos parques es mínima, pese al cambio de materiales.

La remodelación logra una ligera moderación térmica sin alterar significativamente el patrón radiante.

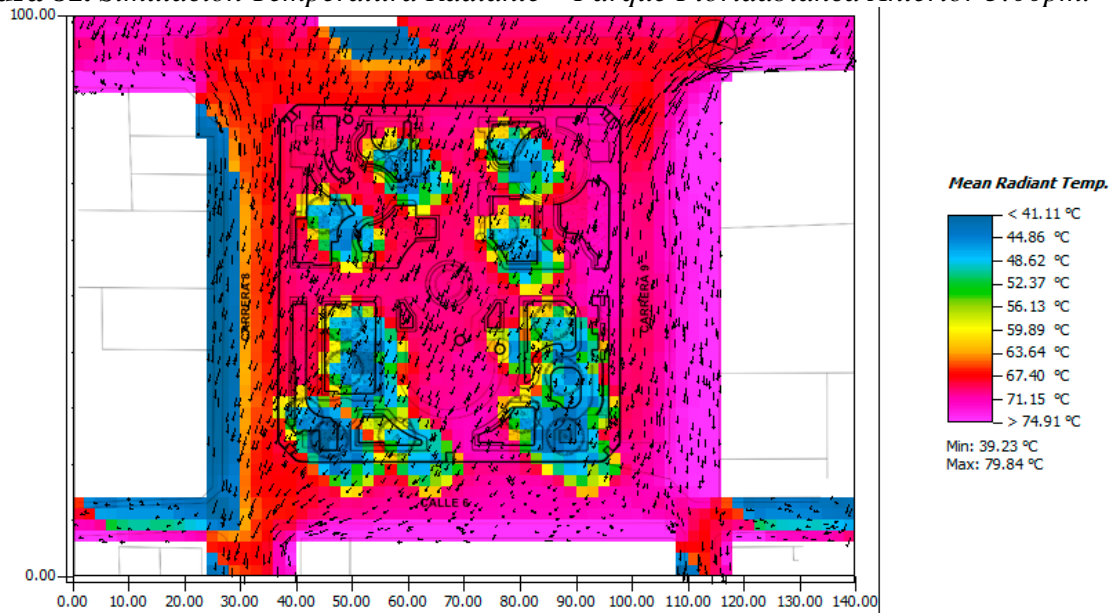
Al comparar los resultados de ambos parques, se observa que la diferencia térmica es mínima, a pesar de que en la remodelación se modificó completamente el tipo de material originalmente instalado en el parque.

Figura 79. Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Anterior 12:00pm.

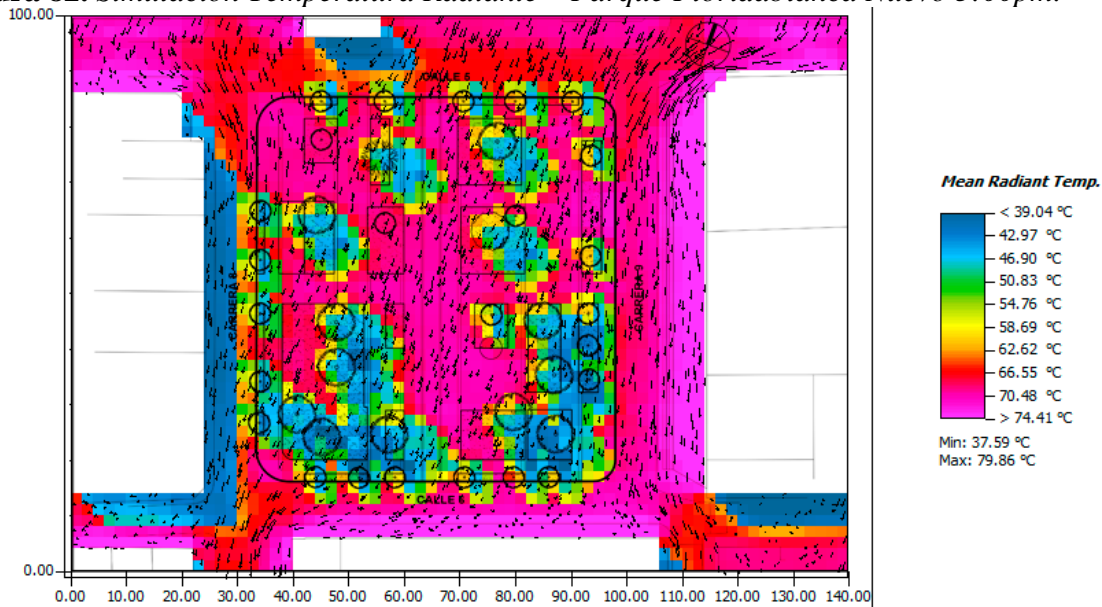
La Figura 79 correspondiente a las 12:00 p.m. en el parque anterior, muestra temperaturas de hasta 69.01 °C en las zonas duras y 63.51 °C a 69.01 °C en pavimentos asfálticos, mientras que las mínimas se ubican entre 49.76 °C y 55.26 °C. El parque antiguo alcanza su pico térmico al mediodía, evidenciando alta absorción solar.

Figura 80. Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Nuevo 12:00pm.

La *Figura 80* correspondiente a las 12:00 p.m. en el parque anterior, muestra temperaturas de hasta 69.01 °C en las zonas duras y 63.51 °C a 69.01 °C en pavimentos asfálticos, mientras que las mínimas se ubican entre 49.76 °C y 55.26 °C. El parque antiguo alcanza su pico térmico al mediodía, evidenciando alta absorción solar.

Figura 81. Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Anterior 3:00pm.

La *Figura 81* correspondiente a las 3:00 p.m. en el parque antiguo, muestra temperaturas de 67.40 °C en el costado oeste y hasta 74.91 °C en el este. Las zonas verdes alcanzan entre 41.11 °C y 48.62 °C. Durante la tarde, la vegetación atenúa parcialmente la radiación en el parque anterior.

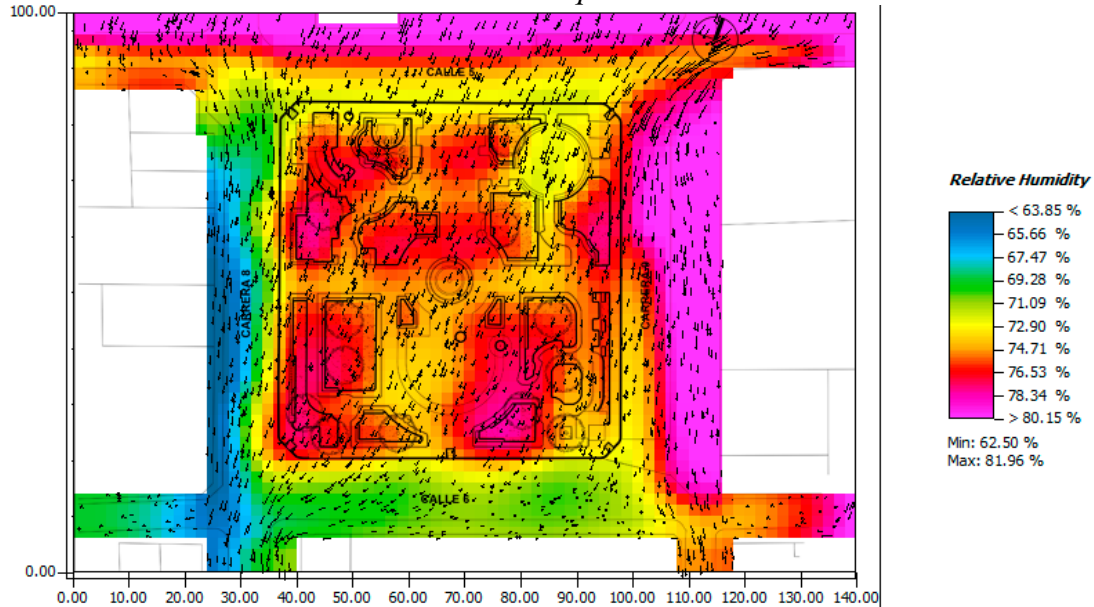
Figura 82. Simulación Temperatura Radiante – Parque Floridablanca Nuevo 3:00pm.

La Figura 82 para el parque actual a las 3:00 p.m., indica valores de 62.62 °C en el costado oeste y de 70.48 °C a 74.41 °C en el este. Las zonas verdes registran entre 42.97 °C y 46.90 °C. El parque remodelado conserva temperaturas más bajas y un enfriamiento más extendido hacia las zonas vegetadas.

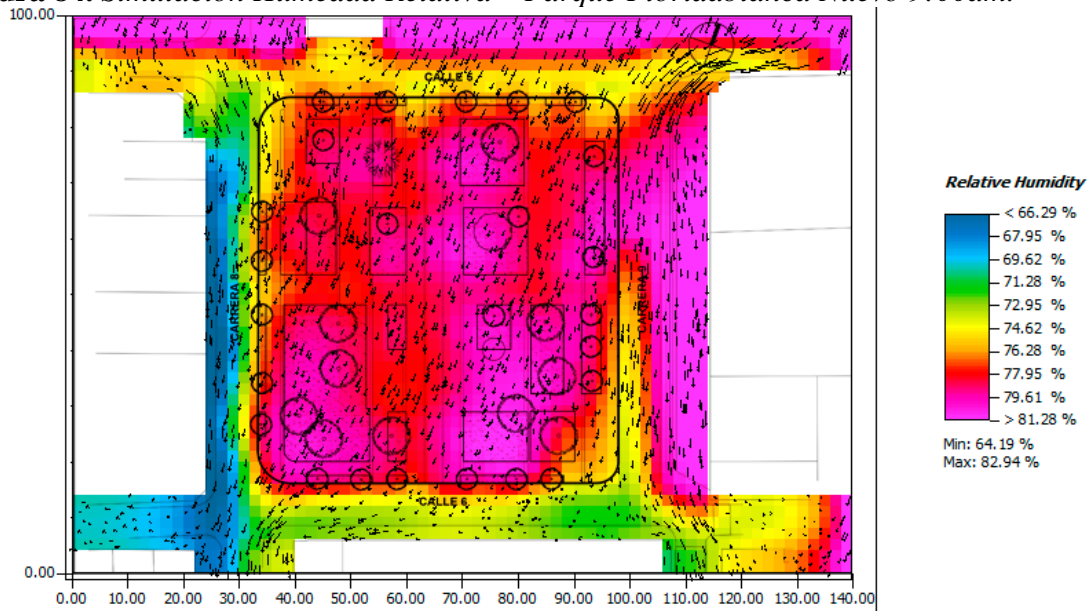
Al comparar ambos parques, el comportamiento térmico es similar a lo largo del día, con máximos superiores a 69 °C en superficies duras. Sin embargo, el parque actual presenta una ligera reducción promedio entre 2 °C y 4 °C, atribuida al cambio de materiales y a la arborización. En conjunto, el rediseño aporta una mejora moderada pero constante en el control térmico radiante.

7.3.3.2 Simulación Humedad Relativa.

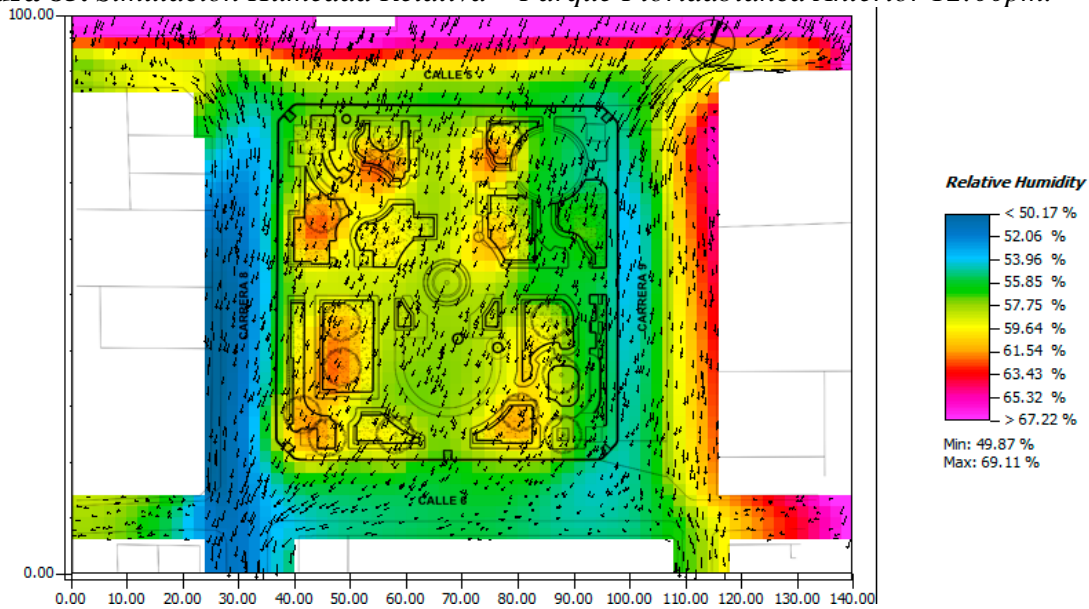
Figura 83. Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Anterior 9:00am.



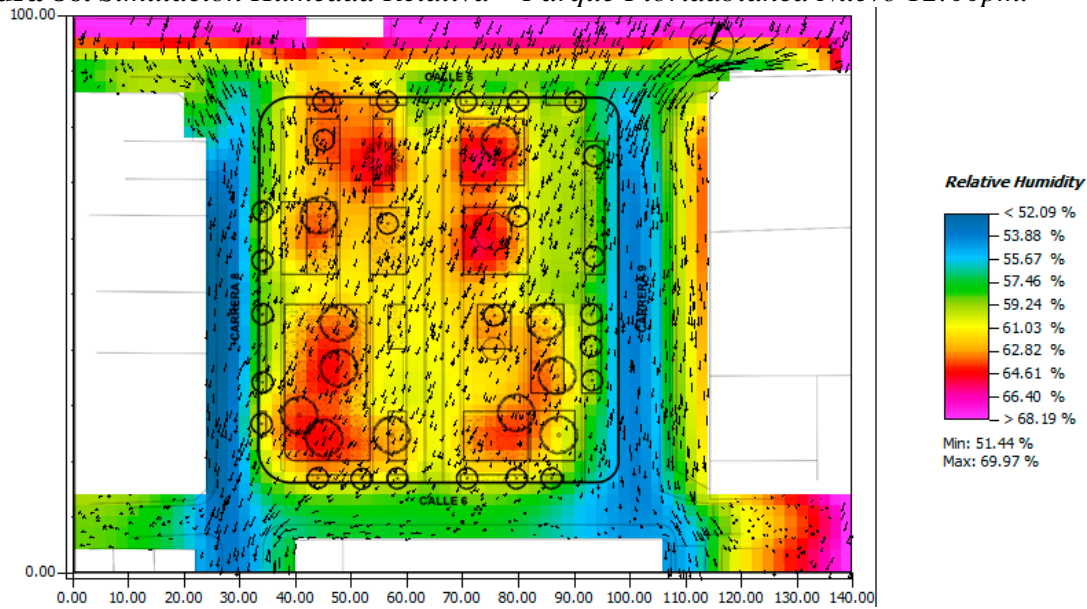
La *Figura 83* presenta la simulación de la variable de humedad relativa del parque antiguo de Floridablanca a las 9:00 a.m. Los valores más bajos de humedad coinciden con las áreas de mayor temperatura a esa hora, con rangos entre 63.85 % y 69.28 %. En contraste, las zonas más húmedas se localizan al interior y en el costado este del parque, donde los valores varían entre 76.53 % y 80.15 %. Este comportamiento confirma la relación inversa entre temperatura y humedad en el parque anterior.

Figura 84. Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Nuevo 9:00am.

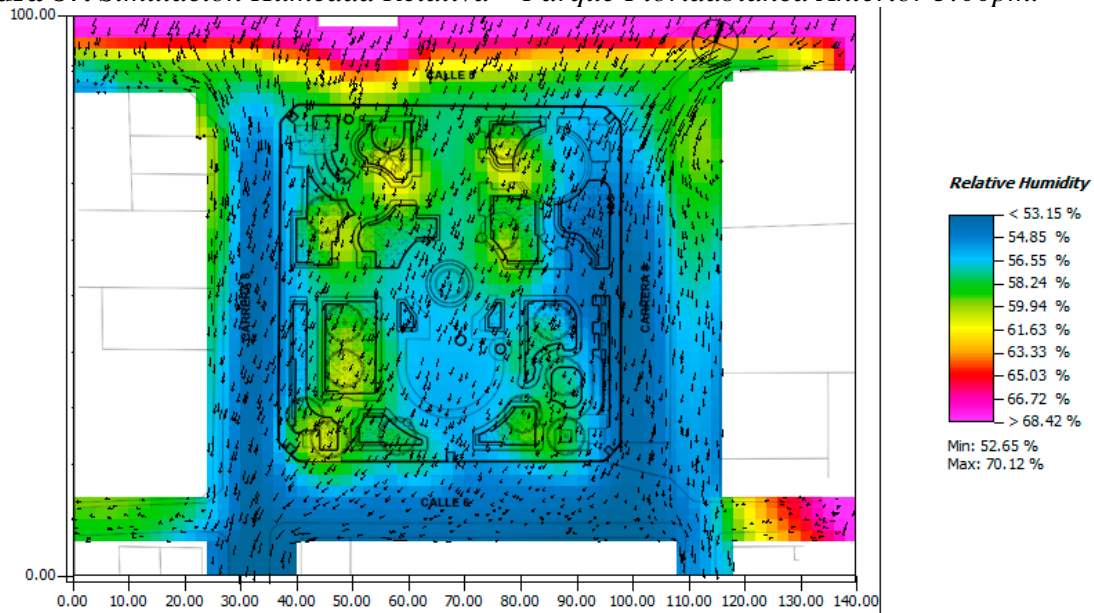
La *Figura 84* muestra la simulación de la humedad relativa del parque actual a las 9:00 a.m. En comparación con el parque anterior, se aprecia un aumento del área con valores más altos de humedad, que oscilan entre 76.28 % y 81.28 %. Este incremento refleja el efecto positivo del aumento de zonas verdes y de la arborización sobre los niveles de humedad del entorno. La intervención del parque favoreció la retención de humedad durante las primeras horas del día.

Figura 85. Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Anterior 12:00pm.

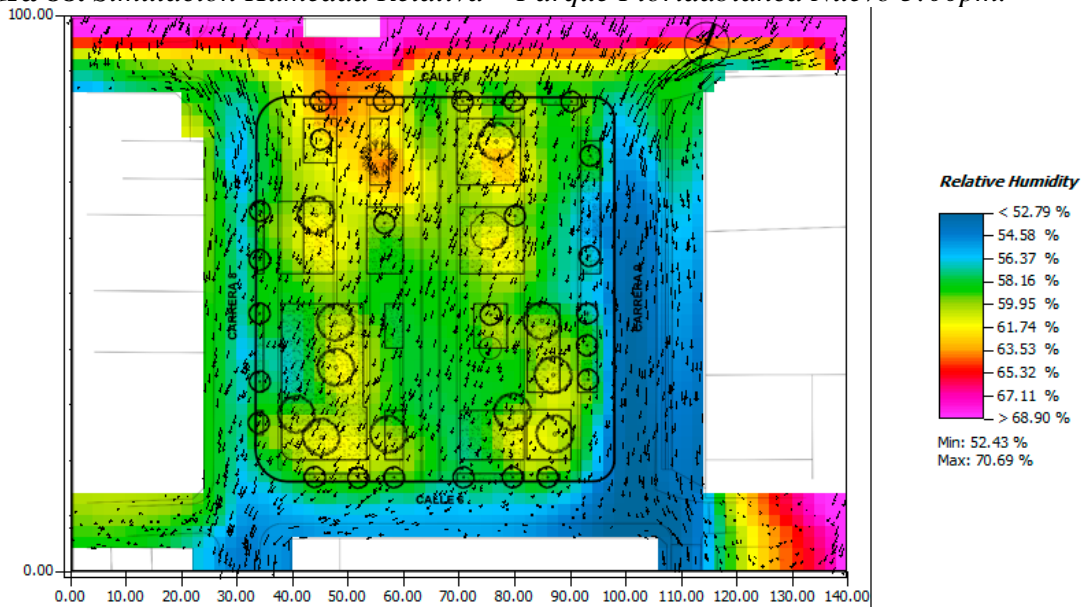
La Figura 85 correspondiente a las 12:00 p.m. en el parque antiguo, se registra una reducción general en los valores de humedad relativa tanto al interior como en el entorno, con rangos entre 55.85 % y 61.54 %. Esta disminución se relaciona directamente con el incremento de la temperatura al mediodía. Durante las horas de mayor radiación, el parque antiguo presenta una pérdida significativa de humedad.

Figura 86. Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Nuevo 12:00pm.

La *Figura 86* representa la simulación de la humedad relativa del parque actual a las 12:00 p.m. En comparación con el parque anterior, se mantiene un porcentaje mayor de área con valores altos de humedad, entre 76.28 % y 81.28 %, resultado que refleja el efecto moderador de las áreas verdes y la cobertura arbórea sobre las condiciones microclimáticas. El parque remodelado conserva mejores condiciones de humedad incluso en las horas más cálidas.

Figura 87. Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Anterior 3:00pm.

La *Figura 87* muestra la simulación de la humedad relativa del parque antiguo a las 3:00 p.m. A esta hora, el área con valores reducidos de humedad aumenta, con rangos principales entre 53.15 % y 58.24 %. Esta disminución se extiende del sur hacia el norte, evidenciando que las zonas verdes mantienen mayor estabilidad, mientras que las superficies expuestas a la radiación solar presentan las variaciones más marcadas. En la tarde, el parque anterior revela un descenso sostenido en la humedad por efecto del calentamiento superficial.

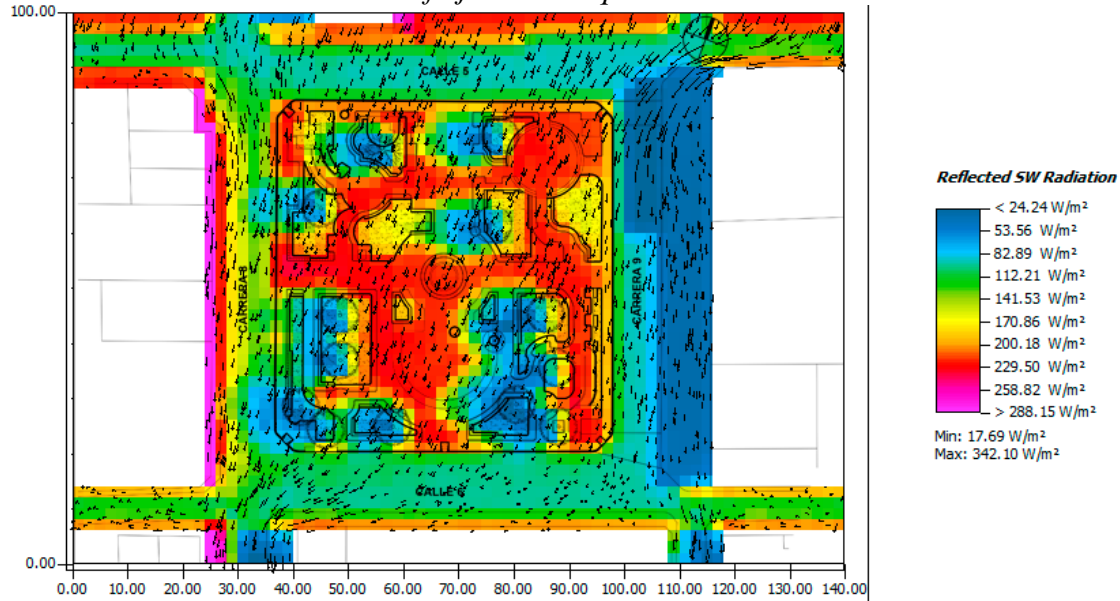
Figura 88. Simulación Humedad Relativa – Parque Floridablanca Nuevo 3:00pm.

La *Figura 88* presenta la simulación de la humedad relativa del parque actual a las 3:00 p.m. Se aprecia un incremento del área con valores mínimos de humedad, entre 52.79 % y 58.16 %. En comparación con el parque anterior, la disminución promedio es de apenas 0.36 %, lo que indica que, a pesar del aumento de vegetación, las condiciones térmicas siguen influenciadas por la exposición directa al sol y el calentamiento de las superficies duras. En esta franja horaria, la vegetación mitiga parcialmente la pérdida de humedad sin eliminarla por completo.

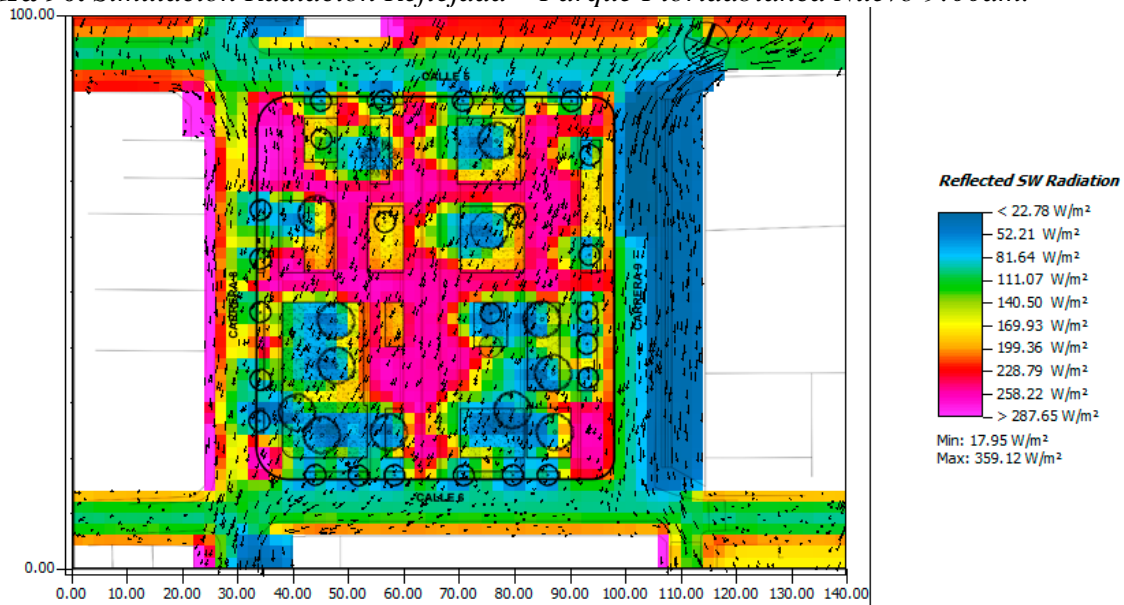
Al comparar los resultados, el parque actual mantiene niveles de humedad ligeramente superiores durante las primeras horas del día, favorecidos por la mayor presencia de vegetación y cobertura arbórea. Sin embargo, durante las horas de máxima radiación, la diferencia se reduce, demostrando que, aunque la vegetación mejora las condiciones microclimáticas, los materiales de las superficies duras y el grado de exposición solar continúan siendo factores determinantes en la pérdida de humedad. En conjunto, la vegetación mejora la retención de humedad, pero su efecto se limita bajo alta radiación solar.

7.3.3.3 Simulación Radiación Reflejada.

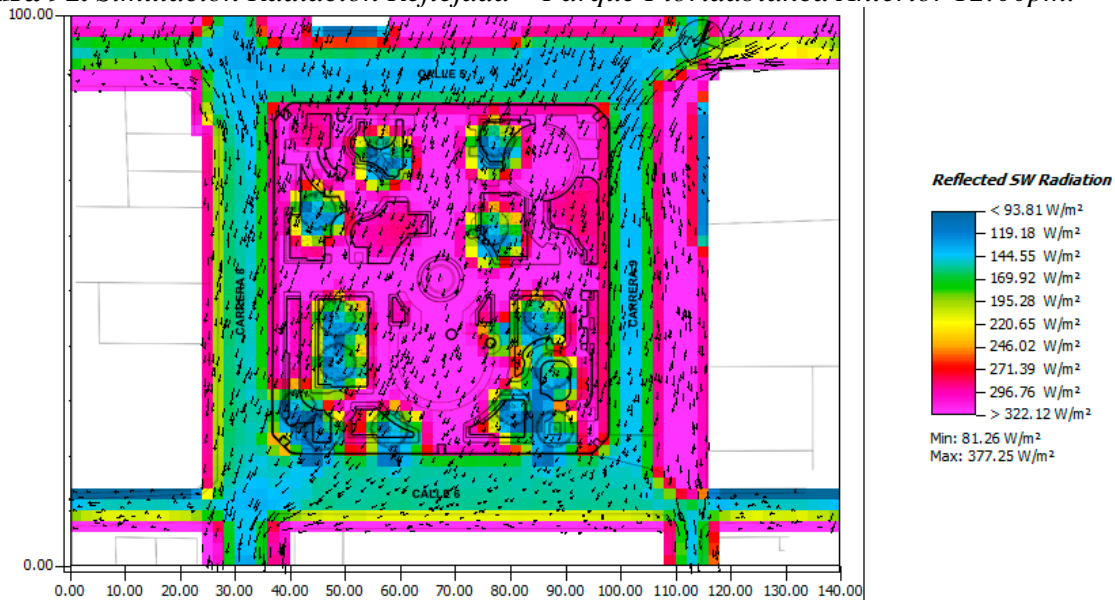
Figura 89. Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Anterior 9:00am.



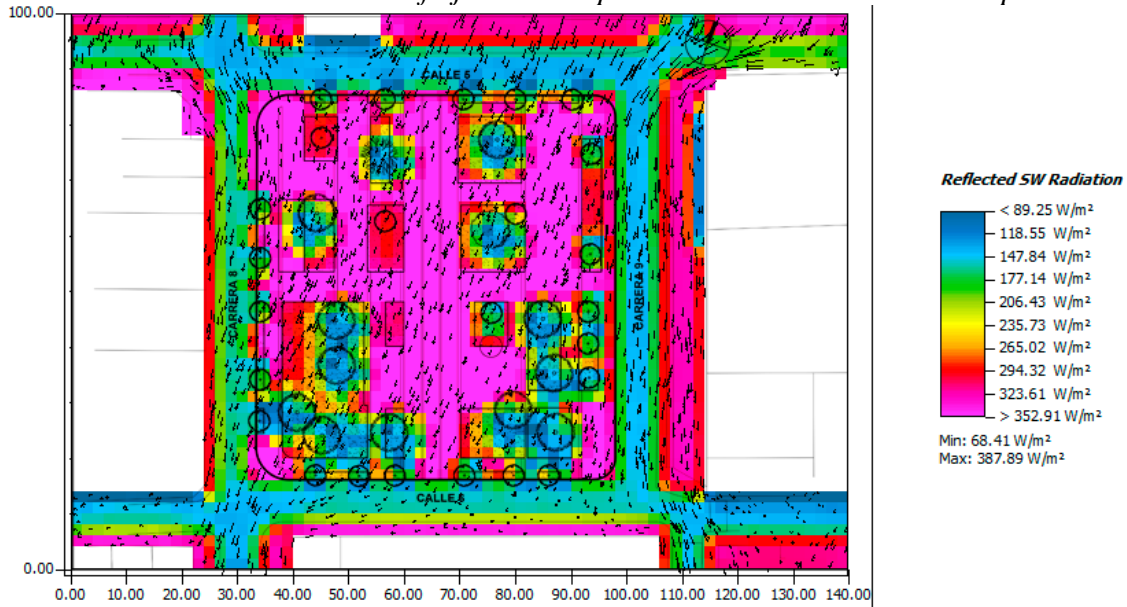
La *Figura 89* presenta la simulación de la variable de radiación reflejada a las 9:00 a.m. en el parque antiguo de Floridablanca. Las áreas con mayor radiación se localizan sobre las superficies construidas en concreto, alcanzando valores de hasta 229.50 W/m². En contraste, los valores más bajos se registran en los pavimentos asfálticos y en las zonas verdes con arborización, donde oscilan entre 24.24 W/m² y 82.89 W/m². En general, las superficies duras muestran una alta capacidad de reflexión en las primeras horas del día.

Figura 90. Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Nuevo 9:00am.

La *Figura 90* muestra la simulación de radiación reflejada a las 9:00 a.m. en el parque actual de Floridablanca. Las zonas con mayor radiación se ubican sobre superficies revestidas con piedra natural, alcanzando valores de hasta 258.22 W/m², mientras que las áreas más sombreadas y vegetadas presentan valores entre 22.78 W/m² y 111.07 W/m². La disminución en el costado este se asocia al sombreado generado por las edificaciones adyacentes. En comparación con el parque anterior, la piedra natural refleja una mayor cantidad de radiación que el concreto. El uso de piedra natural incrementa la reflectancia matutina, aunque el sombreado urbano atenúa su impacto local.

Figura 91. Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Anterior 12:00pm.

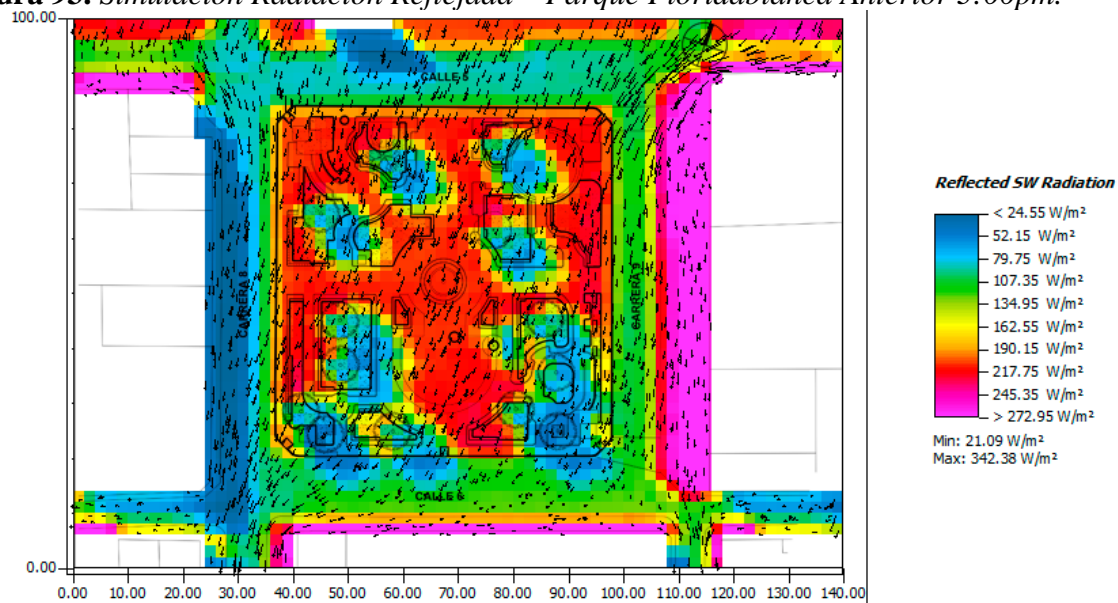
La *Figura 91* corresponde a la simulación de la radiación reflejada a las 12:00 p.m. en el parque antiguo. Las superficies en concreto concentran los valores más altos, con un máximo de 322.12 W/m², mientras que los pavimentos asfálticos y las zonas arborizadas presentan valores menores, entre 93.81 W/m² y 169.92 W/m². La superficie con baja radiación disminuye respecto a las horas de la mañana, lo que evidencia el aumento de la exposición solar. A mediodía, el concreto amplifica significativamente la radiación reflejada y eleva el calentamiento superficial.

Figura 92. Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Nuevo 12:00pm.

La

Figura 92 muestra la simulación de radiación reflejada a las 12:00 p.m. en el parque actual. Las superficies revestidas con piedra natural registran los valores más altos, entre 294.32 W/m² y 352.91 W/m², mientras que las áreas verdes con cobertura arbórea presentan valores entre 118.55 W/m² y 206.43 W/m². La cobertura vegetal contribuye a reducir la radiación reflejada, estabilizando térmicamente el entorno del parque.

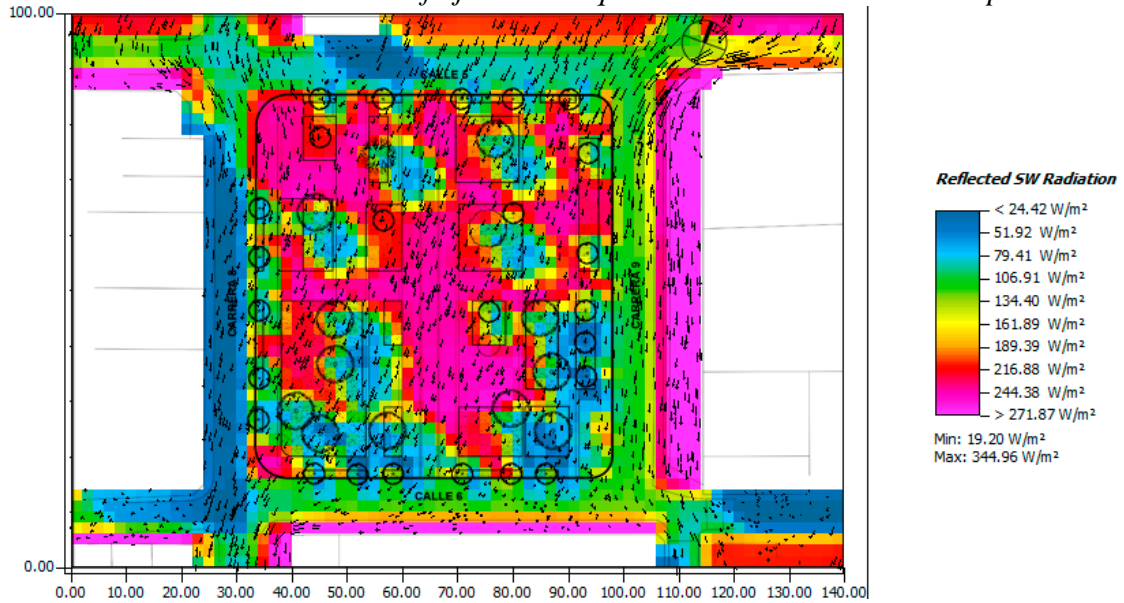
Figura 93. Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Anterior 3:00pm.



La *Figura 93* presenta la simulación de radiación reflejada a las 3:00 p.m. en el parque antiguo. Se observa una disminución general respecto al mediodía, con valores de hasta 217.75 W/m² en las zonas duras y entre 24.55 W/m² y 79.75 W/m² en las áreas con vegetación. Las superficies asfaltadas perimetrales registran tanto los valores mínimos como los máximos,

comportamiento influido por el ángulo solar y la orientación de las vías. En la tarde, la radiación reflejada disminuye, pero se mantiene alta en las superficies duras expuestas al sol.

Figura 94. Simulación Radiación Reflejada – Parque Floridablanca Nuevo 3:00pm.



La

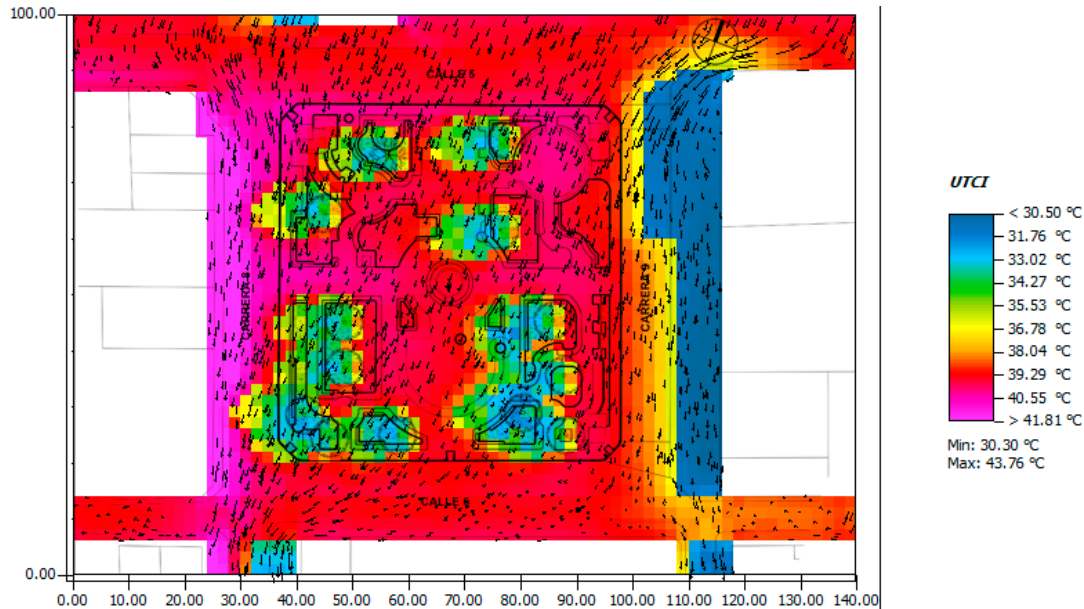
Figura 94 corresponde a la simulación de radiación reflejada a las 3:00 p.m. en el parque actual. La mayor radiación se concentra en las superficies de piedra natural, con valores entre 216.88 W/m² y 271.87 W/m², mientras que las zonas con cobertura vegetal muestran valores considerablemente menores, entre 51.92 W/m² y 79.41 W/m². El patrón vespertino confirma la función reguladora de la vegetación frente al calentamiento superficial.

Al comparar los resultados de radiación reflejada entre el parque antiguo y el actual, se aprecia un comportamiento similar a lo largo del día, con valores más elevados durante las horas de mayor incidencia solar. No obstante, el parque actual presenta una reducción en la radiación total, atribuida al aumento de áreas verdes y cobertura arbórea, que disminuyen la reflectancia superficial. Aunque la piedra natural genera altos niveles de reflexión, su distribución combinada con la vegetación favorece un mejor equilibrio térmico en el entorno. En conjunto, la nueva configuración del parque optimiza la radiación reflejada y contribuye al confort térmico urbano.

7.3.4 Cálculo de índice de evaluación de confort - Parque Floridablanca

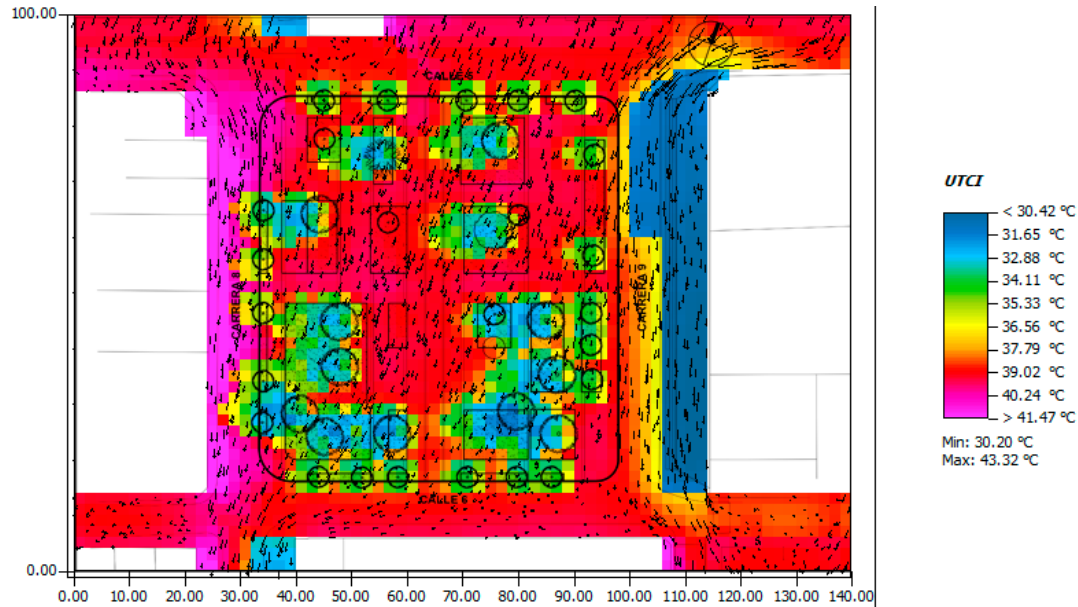
7.3.4.1 Simulación Índice UTCI.

Figura 95. *Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Anterior 9:00am*



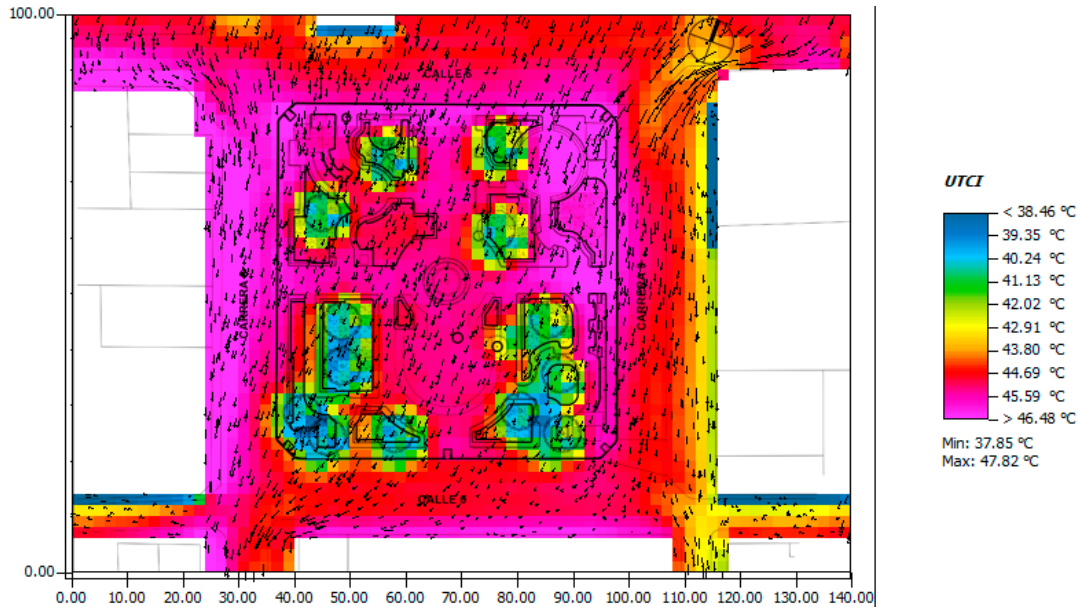
La Figura 95 presenta los resultados de la simulación del Índice Universal de Confort Térmico (UTCI) a las 9:00 a.m. para el parque antiguo de Floridablanca. De acuerdo con la escala del índice, se identifican tres rangos principales: el primero, entre 30.50 °C y 31.76 °C, asociado a una condición de *calor moderado*, predominante en las zonas con cobertura vegetal; el segundo, entre 31.76 °C y 38.00 °C, correspondiente a *calor fuerte*, presente en los espacios con mayor sombreado; y el tercero, entre 38.00 °C y 41.81 °C, que representa *calor muy fuerte*, concentrado principalmente en las superficies duras del interior del parque. A esta hora, las zonas verdes contribuyen a mantener condiciones de confort térmico más favorables frente a las áreas pavimentadas.

Figura 96. Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Nuevo 9:00am.



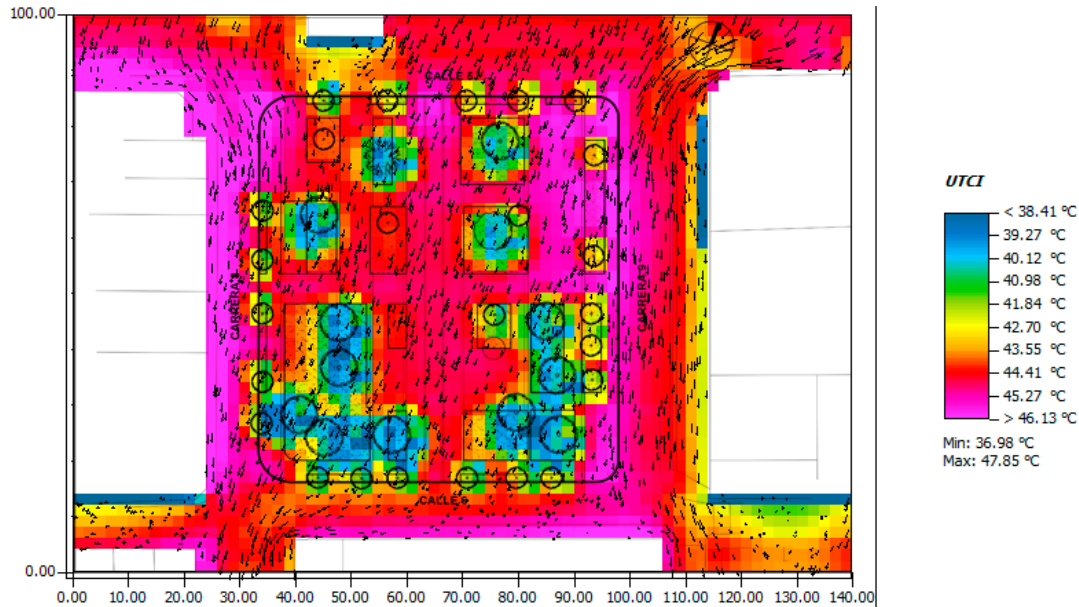
La *Figura 96* muestra los resultados del UTCI a las 9:00 a.m. en el parque actual de Floridablanca. Se distinguen dos rangos principales: el primero, entre 31.65 °C y 38.00 °C, correspondiente a una condición de *calor fuerte*, predominante en las áreas sombreadas con presencia arbórea; y el segundo, entre 38.00 °C y 41.81 °C, que indica *calor muy fuerte*, concentrado en el interior del parque y en las vías orientadas hacia el oeste. El incremento de arborización favorece el confort térmico matutino, aunque las zonas duras aún concentran el mayor calor acumulado.

Figura 97. Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Anterior 12:00pm.



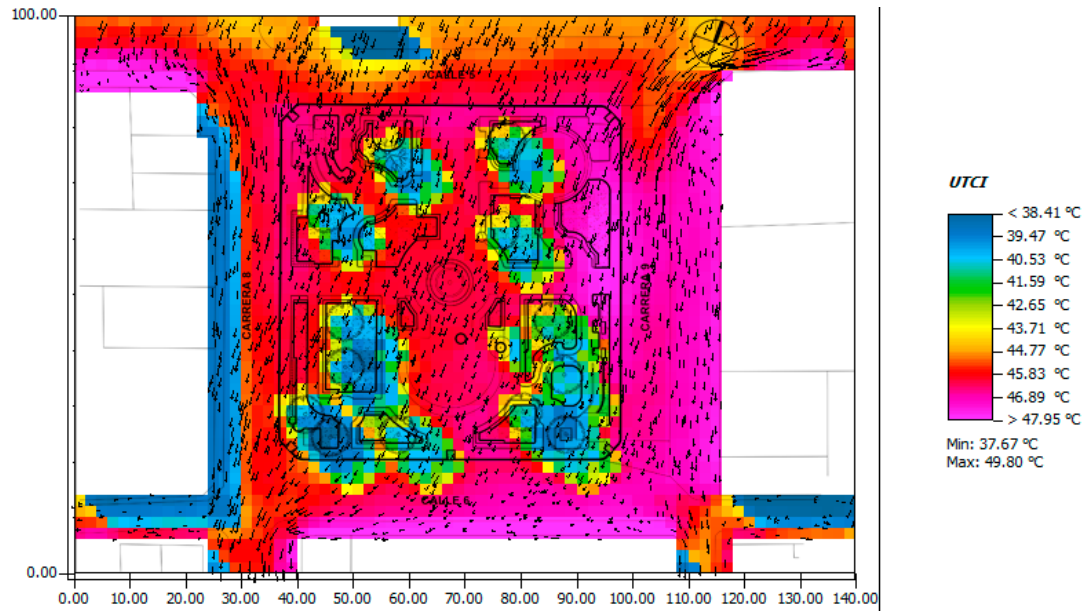
La *Figura 97* presenta los resultados del UTCI a las 12:00 p.m. para el parque antiguo. Se identifican dos rangos principales: el primero, entre 38.46 °C y 46.00 °C, correspondiente a *calor muy fuerte*, predominante en las áreas con menor exposición directa al sol; y el segundo, con temperaturas superiores a 46.00 °C, que indican estrés por *calor extremo*, concentrado en el costado norte y oeste del parque. Durante el mediodía, las superficies duras alcanzan niveles de estrés térmico severo, reduciendo significativamente el confort ambiental.

Figura 98. Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Nuevo 12:00pm.



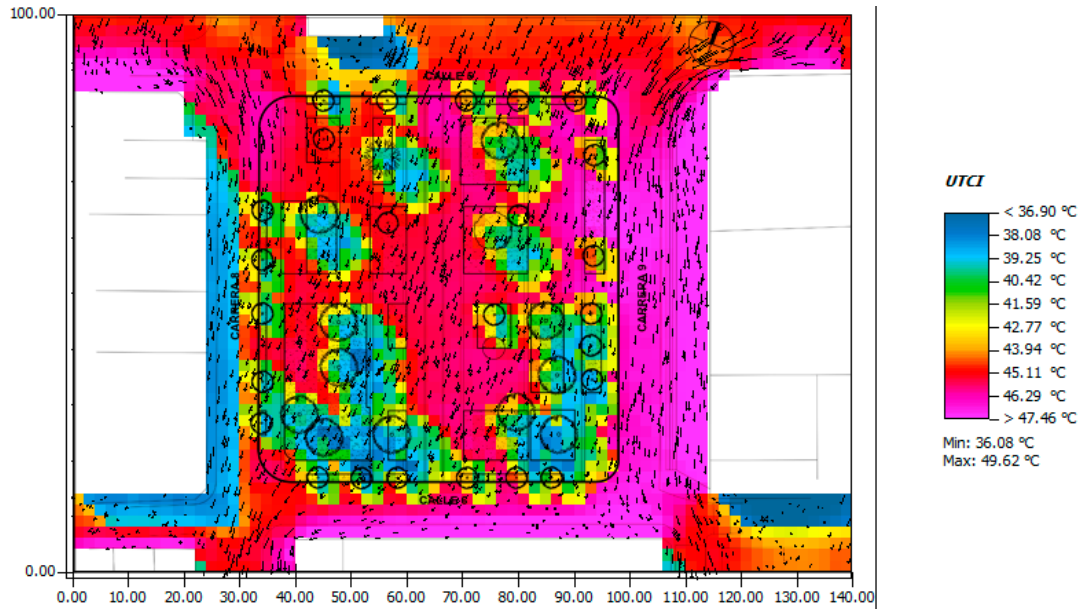
La *Figura 98* muestra los resultados del UTCI a las 12:00 p.m. para el parque actual de Floridablanca. Se identifican dos rangos principales: el primero, entre 38.41 °C y 46.00 °C, correspondiente a *calor muy fuerte*, predominante en las zonas con cobertura vegetal y arborización; y el segundo, con temperaturas superiores a 46.00 °C, que reflejan *estrés por calor extremo*, localizado principalmente en las vías orientadas al este y al oeste del parque. Aunque las áreas verdes moderan el incremento térmico, la exposición directa al sol sigue generando condiciones de disconfort en las vías perimetrales.

Figura 99. Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Anterior 3:00pm.



La *Figura 99* presenta los resultados del UTCI a las 3:00 p.m. en el parque antiguo de Floridablanca. Se distinguen dos rangos principales: el primero, entre 38.41 °C y 46.00 °C, correspondiente a *calor muy fuerte*, predominante en las zonas con menor exposición solar directa, ubicadas hacia el costado oeste; y el segundo, con temperaturas superiores a 46.00 °C, asociadas a *estrés por calor extremo*, concentrado en la zona sureste donde se ubican las superficies asfálticas. En horas de la tarde, el pavimento asfáltico actúa como principal foco de acumulación térmica, afectando el confort ambiental.

Figura 100. Simulación Índice UTCI – Parque Floridablanca Nuevo 3:00pm.



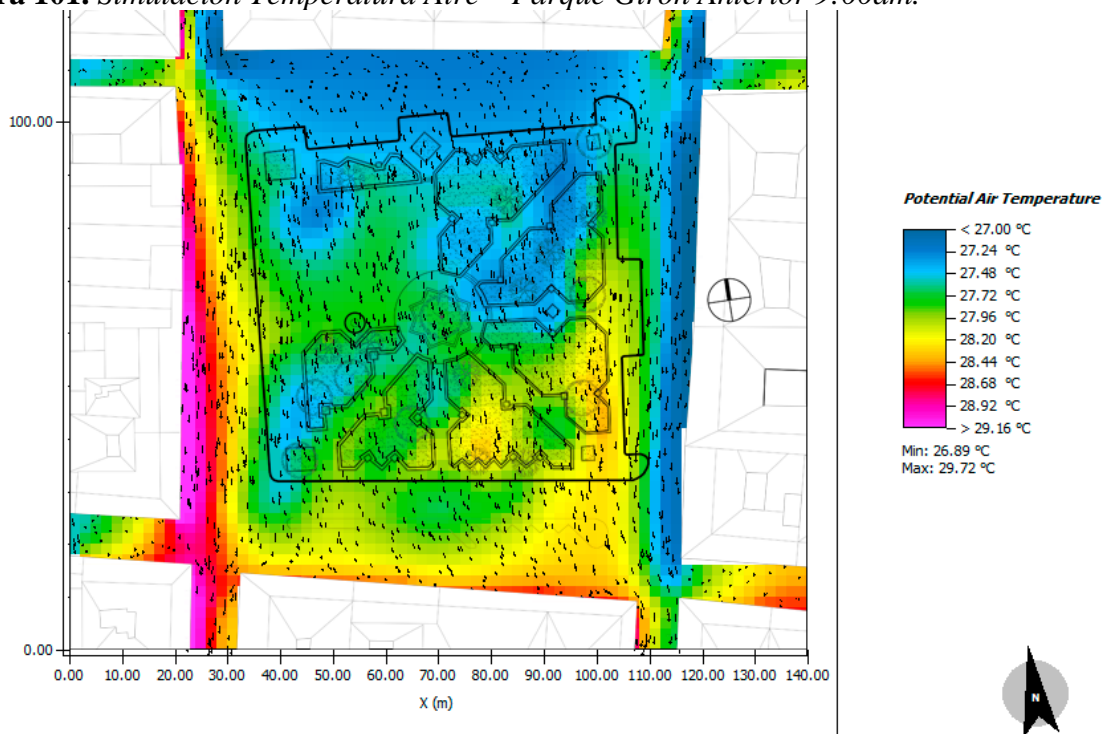
La Figura 100 muestra los resultados del UTCI a las 3:00 p.m. en el parque actual de Floridablanca. Se identifican dos rangos principales: el primero, entre 36.90 °C y 38.00 °C, correspondiente a *calor fuerte*, predominante en las zonas con cobertura vegetal y arborización; y el segundo, con temperaturas superiores a 46.00 °C, que representan *calor muy fuerte*, concentrado en las superficies asfálticas del costado sureste. La presencia de vegetación mantiene niveles térmicos más estables, reduciendo parcialmente el estrés por calor durante la tarde.

En conjunto, el comportamiento del UTCI en ambos parques evidencia condiciones predominantes de calor fuerte y muy fuerte durante la mayor parte del día. Los resultados demuestran que la incorporación de vegetación y materiales naturales en el diseño del parque actual favorece una mayor estabilidad térmica y una ligera reducción del estrés por calor. No obstante, las superficies duras y asfaltadas continúan siendo los principales focos de desconfort térmico bajo alta radiación solar. En síntesis, la vegetación actúa como un regulador térmico eficaz, aunque su efecto se ve limitado por la presencia de materiales con alta capacidad de acumulación y reflexión de calor.

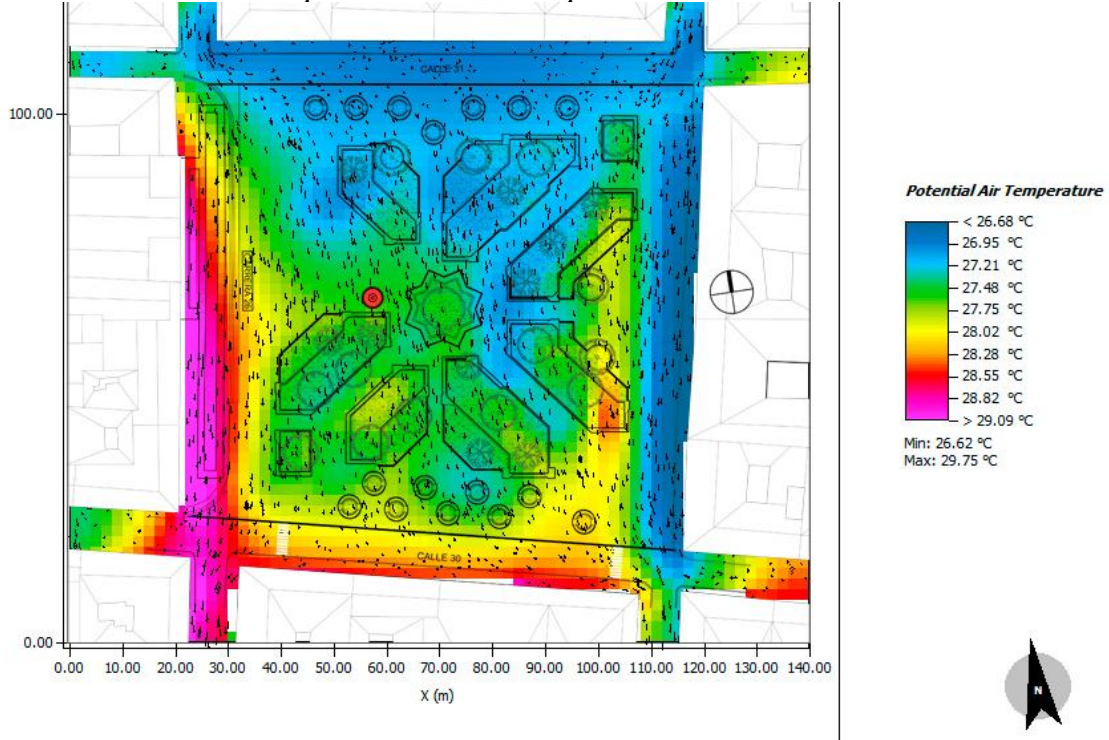
7.3.5 Cálculo de parámetros ambientales - Parque Girón

7.3.5.1 Simulación Temperatura.

Figura 101. Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Anterior 9:00am.

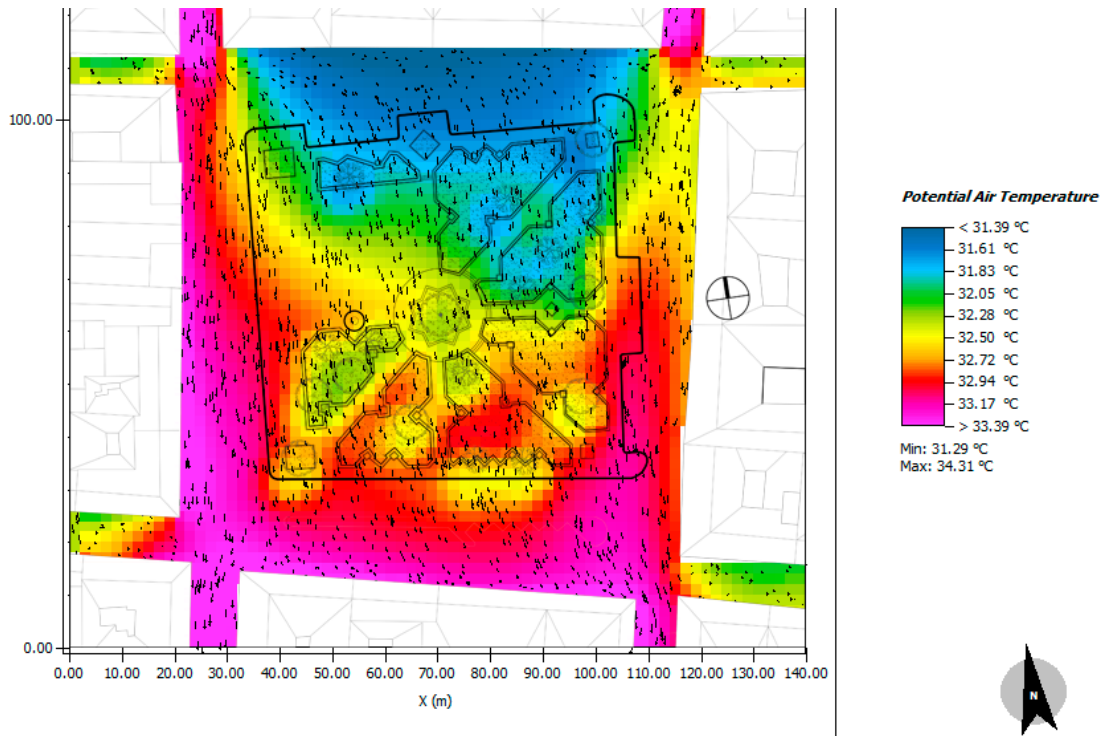


La *Figura 101* presenta la simulación de temperatura del aire a las 9:00 a.m. en el parque antiguo de Girón. Las zonas más cálidas se localizan en el área suroeste, que recibe mayor exposición solar y corresponde principalmente a vías vehiculares sin sombreado, con valores entre 27.96 °C y 29.56 °C. En contraste, la zona noreste del parque registra temperaturas más bajas, sin superar los 27.72 °C. En las primeras horas del día, la ausencia de sombra y la exposición solar directa determinan el patrón térmico del parque.

Figura 102. Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Nuevo 9:00am.

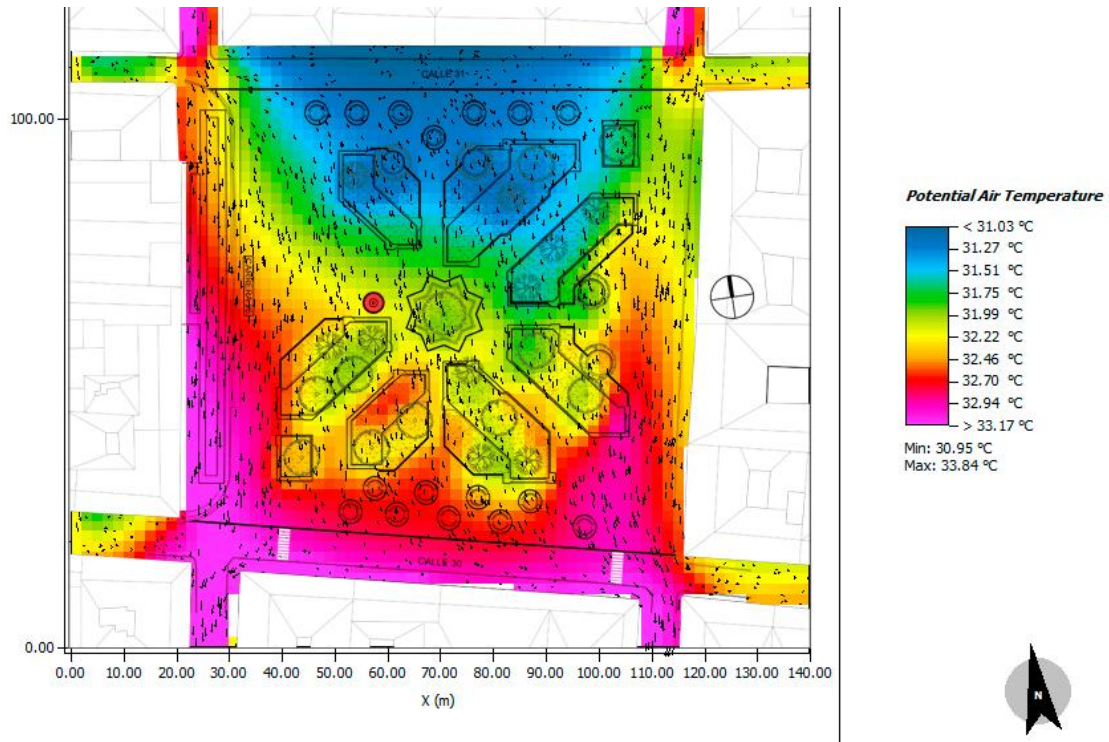
La *Figura 102* muestra la simulación de temperatura del aire a las 9:00 a.m. en el parque actual de Girón. Las temperaturas más elevadas se concentran en el área sur, con valores entre $28.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $29.09\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que el interior del parque, con mayor cobertura vegetal y sombreado, presenta valores más bajos, entre $26.68\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $27.75\text{ }^{\circ}\text{C}$. La incorporación de vegetación en el parque actual genera una moderación térmica evidente en las zonas interiores.

Figura 103. Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Anterior 12:00pm.

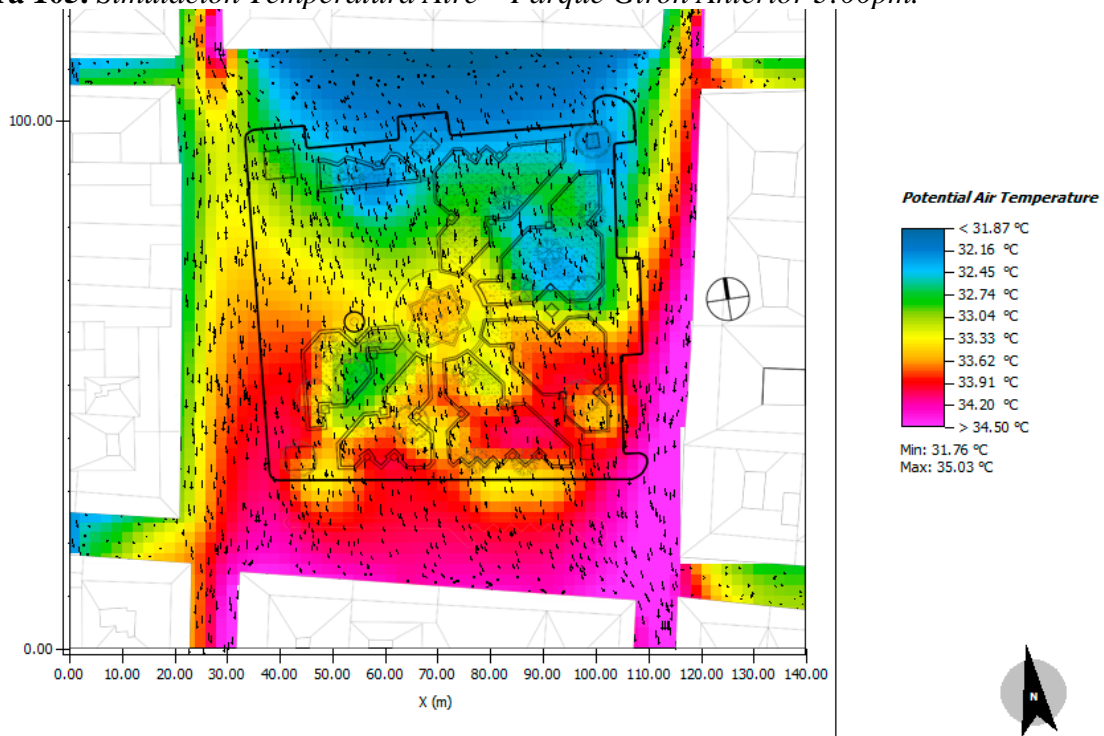


La *Figura 103* corresponde a la simulación de temperatura del aire a las 12:00 p.m. en el parque antiguo de Girón. El incremento térmico se manifiesta principalmente en el costado sur, con valores entre 32.94 °C y 33.39 °C. Debido al carácter homogéneo de los materiales superficiales, se identifican pequeñas islas térmicas en las áreas con vegetación, donde la temperatura desciende hasta cerca de 32.00 °C. El costado norte, en cambio, presenta valores ligeramente menores, entre 31.39 °C y 32.05 °C. Al mediodía, las zonas vegetadas actúan como reguladores térmicos dentro de un entorno predominantemente cálido.

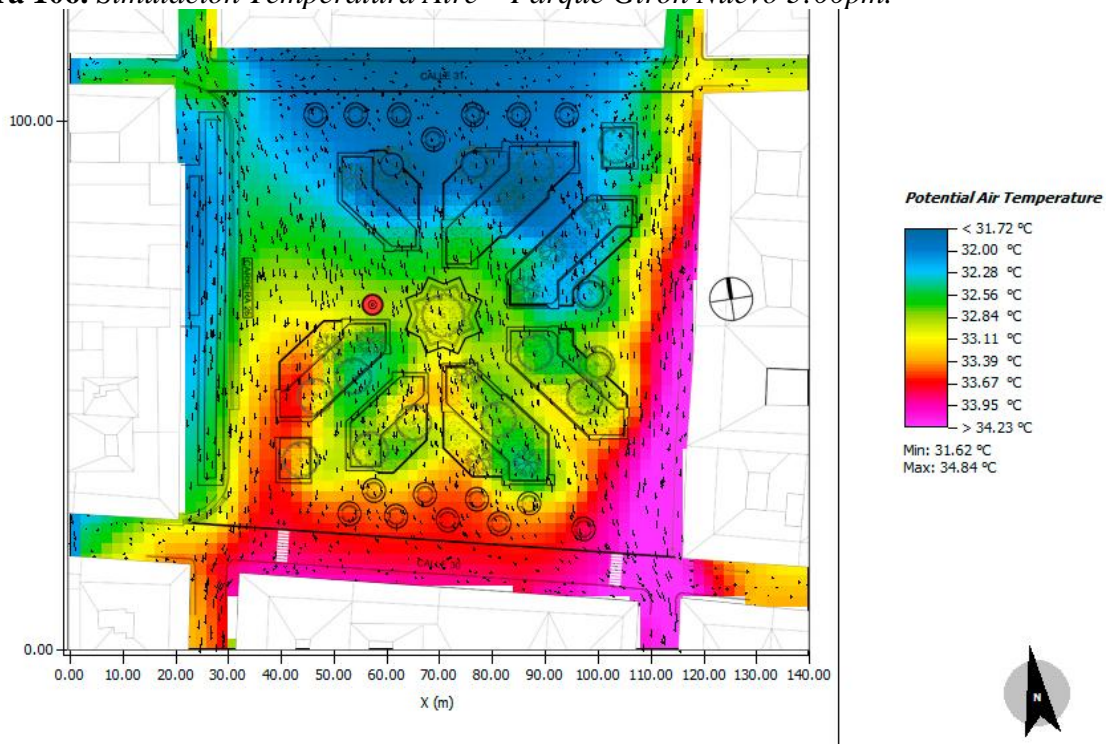
Figura 104. Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Nuevo 12:00pm.



La *Figura 104* presenta la simulación de temperatura del aire a las 12:00 p.m. en el parque actual de Girón. El incremento térmico se concentra en el costado sur, con valores entre 32.70 °C y 33.17 °C. En contraste, las áreas con nueva cobertura vegetal y el costado norte muestran temperaturas más bajas, entre 31.03 °C y 32.46 °C. La ampliación de zonas verdes en el parque actual reduce la temperatura general y mejora el confort térmico al mediodía.

Figura 105. Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Anterior 3:00pm.

La *Figura 105* muestra la simulación de temperatura del aire a las 3:00 p.m. en el parque antiguo de Girón. El costado sur registra los valores más altos, entre 33.91 °C y 34.50 °C, producto de la exposición solar prolongada y del uso de superficies pétreas, que retienen el calor acumulado. Asimismo, se aprecia un aumento en el costado norte respecto a los valores del mediodía. Durante la tarde, los materiales duros y la radiación acumulada intensifican las condiciones de calor en todo el parque.

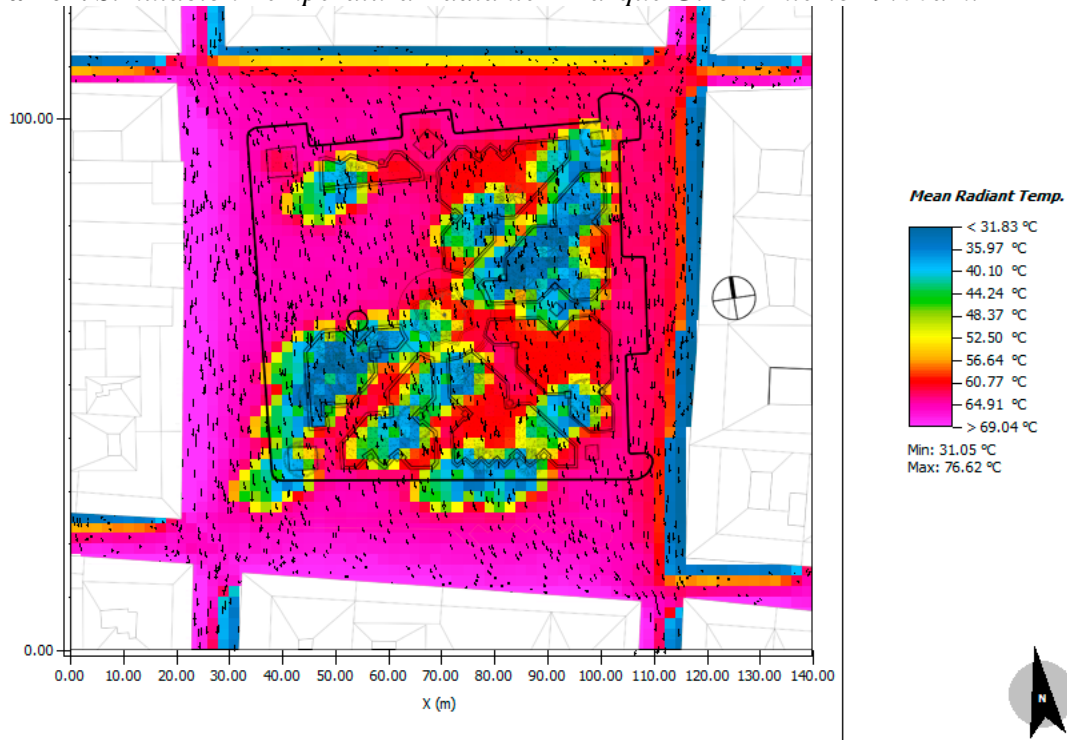
Figura 106. Simulación Temperatura Aire – Parque Girón Nuevo 3:00pm.

La *Figura 106* corresponde a la simulación de temperatura del aire a las 3:00 p.m. en el parque actual de Girón. Los valores más elevados se concentran en el costado sureste, con rangos entre 33.67 °C y 34.23 °C, zona de mayor exposición solar. El resto del parque presenta temperaturas ligeramente inferiores, entre 31.72 °C y 33.11 °C. La presencia de vegetación y sombreado permite mantener temperaturas más estables durante la tarde, especialmente en el interior del parque.

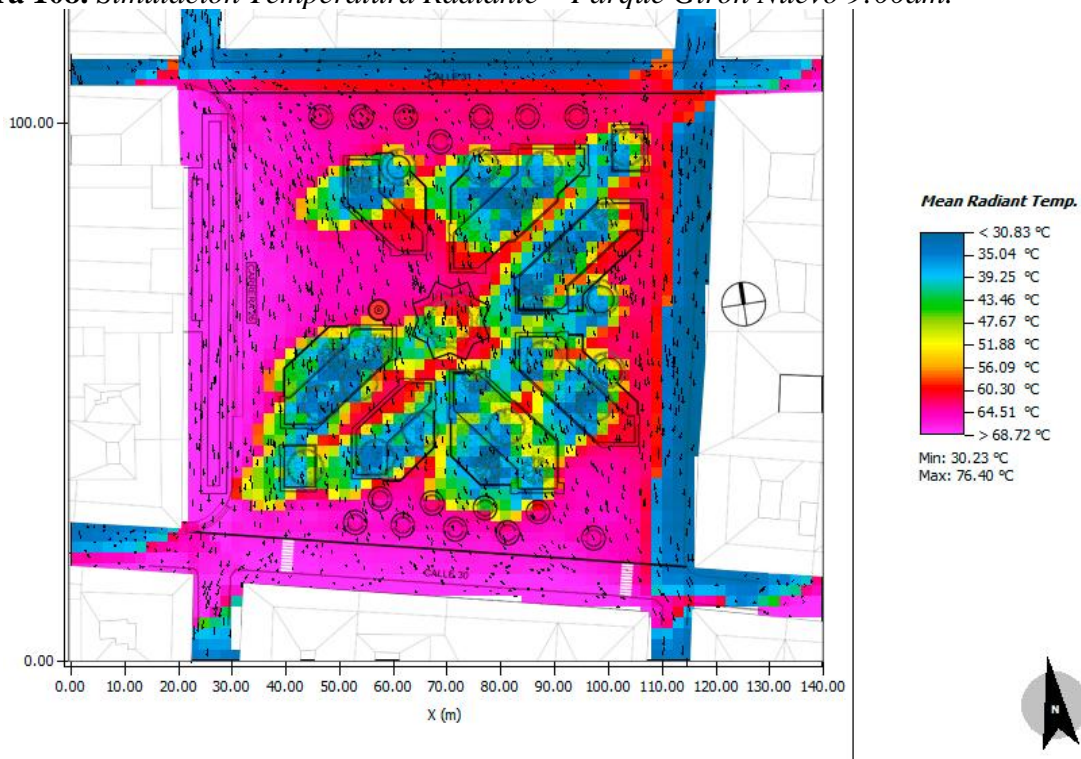
Al comparar los resultados de ambos parques, se identifica un comportamiento térmico similar a lo largo del día, con incrementos progresivos hacia la tarde. Sin embargo, el parque actual registra valores ligeramente menores, entre 0.2 °C y 0.4 °C, particularmente en las zonas con nueva cobertura vegetal y arborización. La predominancia de materiales pétreos en las superficies duras continúa siendo el principal factor asociado a la acumulación de calor durante las horas de mayor

radiación. En conjunto, la vegetación incorporada en el parque actual contribuye a mitigar el aumento térmico, aunque los materiales duros siguen condicionando el confort ambiental.

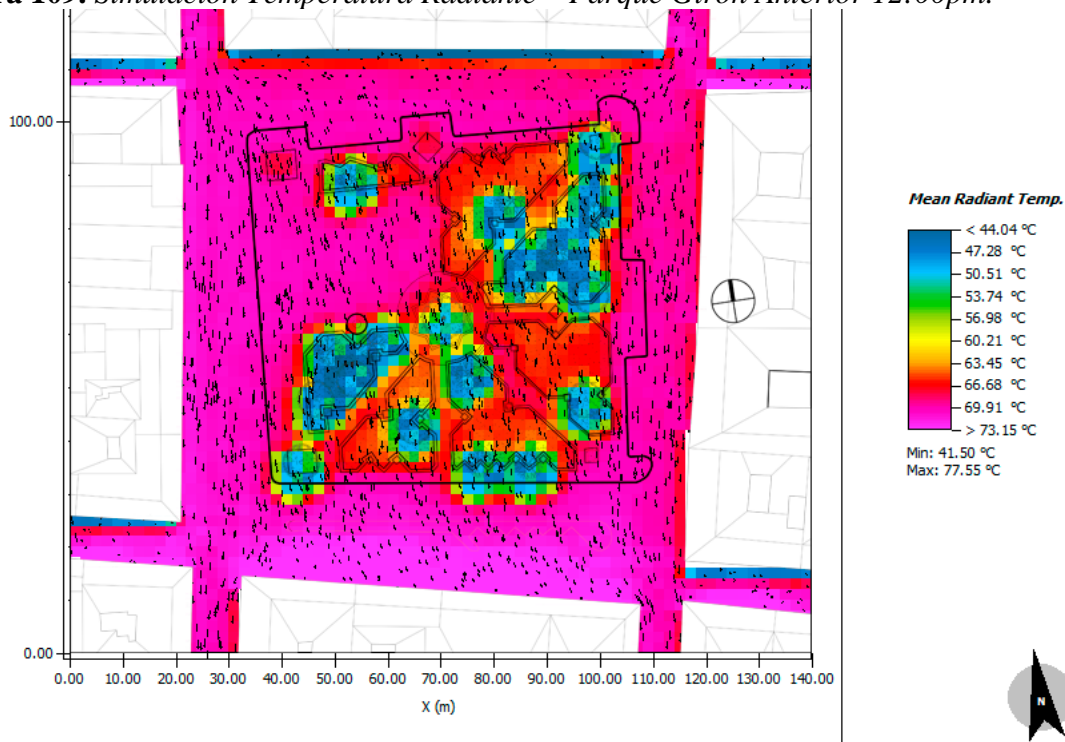
Figura 107. Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Anterior 9:00am.



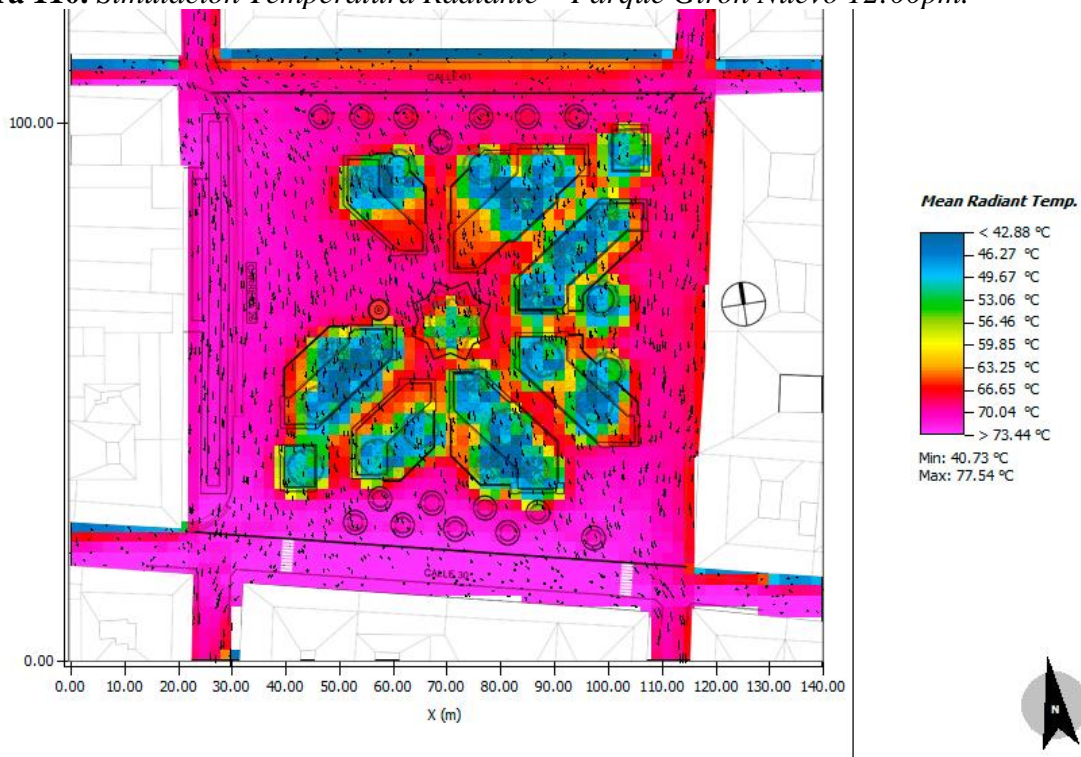
La *Figura 107* presenta la simulación de temperatura radiante a las 9:00 a.m. en el parque antiguo de Girón. Las superficies de piedra natural registran los valores más altos, entre 64.91 °C y 69.04 °C, mientras que las zonas arborizadas o con cobertura vegetal mantienen temperaturas considerablemente menores, entre 31.83 °C y 52.50 °C. En las primeras horas del día, la radiación solar incide directamente sobre los pavimentos duros, generando un contraste térmico marcado con las áreas vegetadas.

Figura 108. Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Nuevo 9:00am.

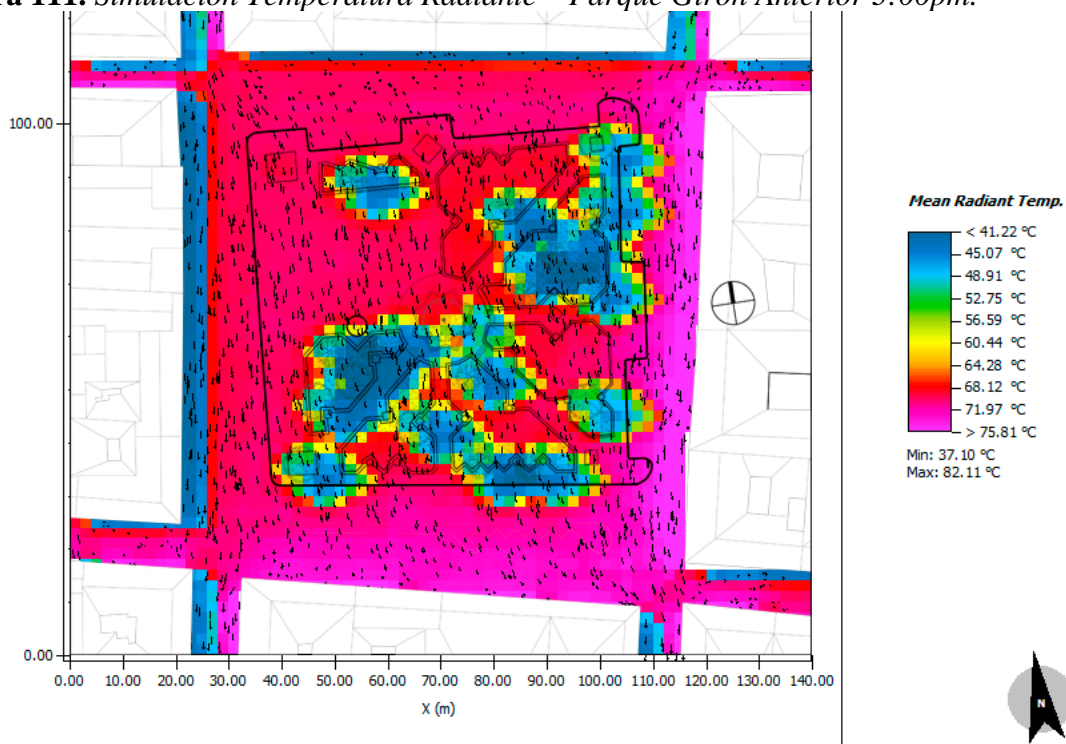
La *Figura 108* muestra la simulación de temperatura radiante a las 9:00 a.m. en el parque actual de Girón. Las superficies pétreas alcanzan valores entre 64.51 °C y 68.72 °C, en tanto que las áreas con cobertura vegetal presentan temperaturas inferiores, entre 30.83 °C y 51.88 °C. Esta diferencia se asocia con la mayor extensión de zonas verdes incorporadas en la renovación del parque. La ampliación de la cobertura vegetal contribuye a reducir la radiación superficial y mejora el comportamiento térmico matutino.

Figura 109. Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Anterior 12:00pm.

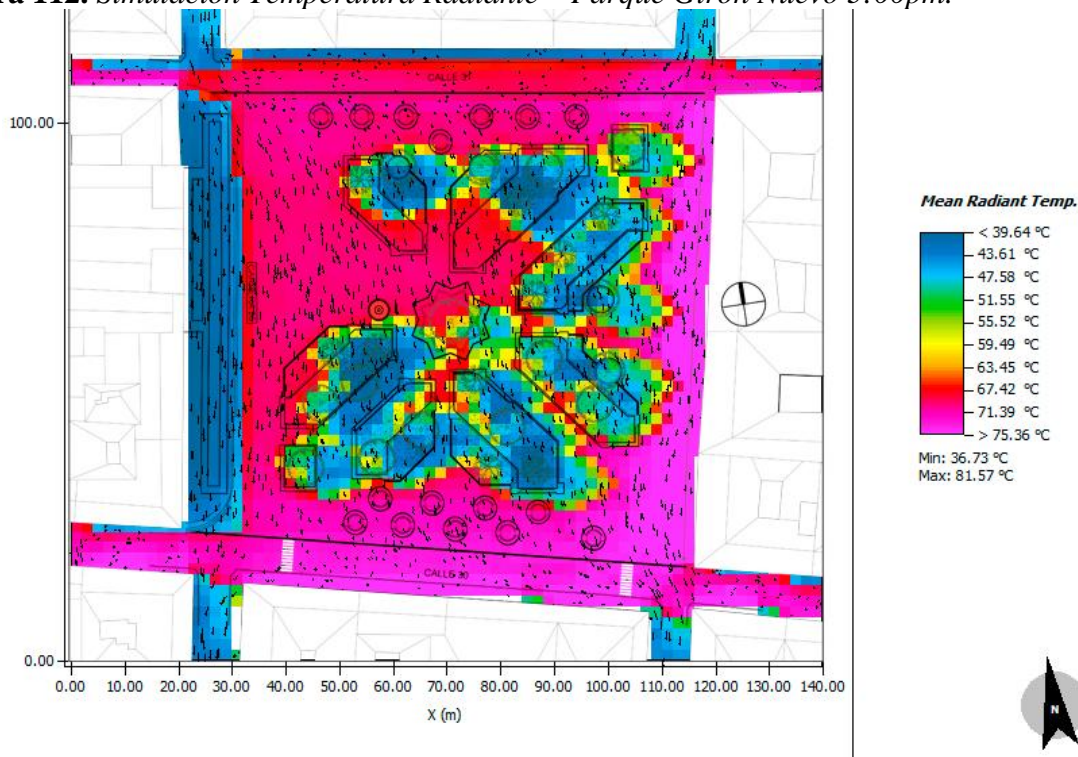
La *Figura 109* corresponde a la simulación de temperatura radiante a las 12:00 p.m. en el parque antiguo de Girón. Las superficies de piedra natural alcanzan valores entre 66.68 °C y 73.15 °C, mientras que las zonas con vegetación, aunque con menor área de influencia, registran temperaturas más bajas, entre 44.08 °C y 60.21 °C. Durante el mediodía, el incremento generalizado de la radiación resalta la limitada capacidad de las áreas verdes existentes para mitigar el calor acumulado.

Figura 110. Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Nuevo 12:00pm.

La *Figura 110* presenta la simulación de temperatura radiante a las 12:00 p.m. en el parque actual de Girón. Las zonas con piedra natural muestran valores entre 66.54 °C y 73.44 °C, mientras que las áreas vegetadas se mantienen entre 42.88 °C y 66.65 °C, evidenciando un aumento respecto a las horas de la mañana. A pesar del incremento térmico, la vegetación continúa desempeñando un papel moderador más efectivo en comparación con el parque antiguo.

Figura 111. Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Anterior 3:00pm.

La *Figura 111* muestra la simulación de temperatura radiante a las 3:00 p.m. en el parque antiguo de Girón. Las superficies pétreas registran valores entre 68.12 °C y 75.81 °C, mientras que las áreas con cobertura vegetal mantienen temperaturas más bajas, entre 41.22 °C y 60.44 °C. En las horas de la tarde, la acumulación de calor en los materiales duros intensifica el contraste térmico entre superficies pavimentadas y vegetadas.

Figura 112. Simulación Temperatura Radiante – Parque Girón Nuevo 3:00pm.

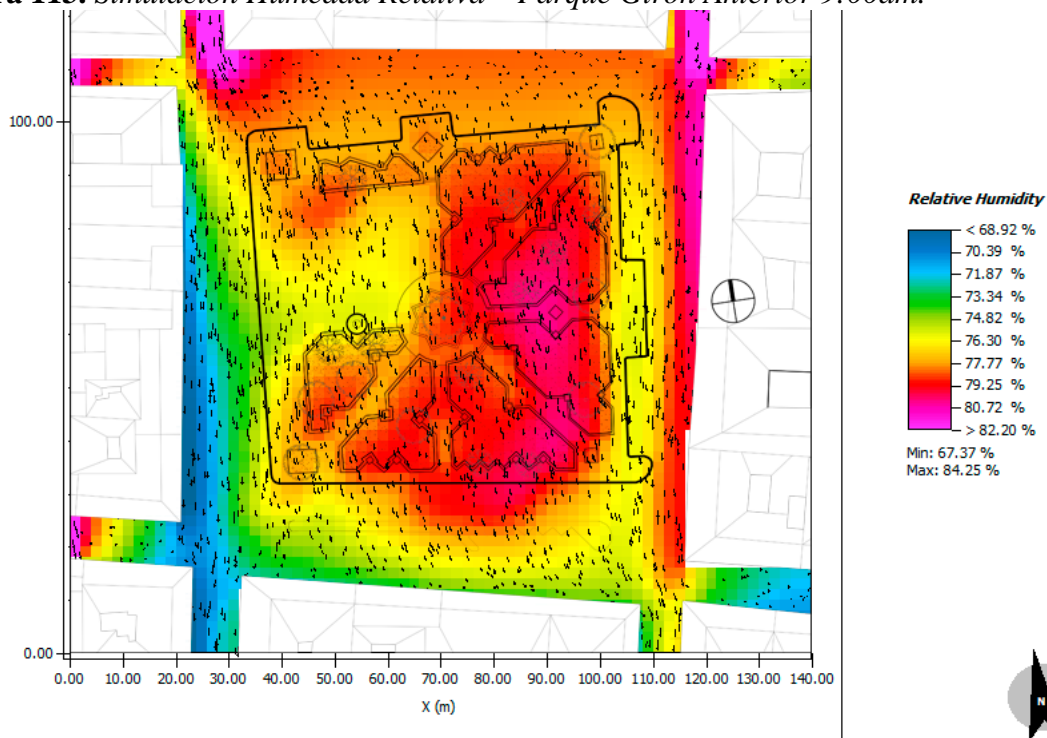
La *Figura 112* corresponde a la simulación de temperatura radiante a las 3:00 p.m. en el parque actual de Girón. Las zonas con piedra natural alcanzan valores entre $71.39\text{ }^\circ\text{C}$ y $75.36\text{ }^\circ\text{C}$, y las áreas vegetadas registran temperaturas entre $39.64\text{ }^\circ\text{C}$ y $59.49\text{ }^\circ\text{C}$, superiores a las de la mañana y el mediodía. El parque actual mantiene un mejor equilibrio térmico gracias a la distribución de áreas verdes, aunque la radiación acumulada en las superficies duras sigue siendo considerable.

Al comparar los resultados de ambos parques, se identifica que, aunque las superficies pétreas alcanzan temperaturas similares hasta $75.81\text{ }^\circ\text{C}$ en el parque antiguo y $75.36\text{ }^\circ\text{C}$ en el actual, la distribución térmica del parque renovado es más homogénea por la incorporación de cobertura vegetal y arborización. Las zonas con vegetación presentan valores significativamente inferiores, entre $39\text{ }^\circ\text{C}$ y $60\text{ }^\circ\text{C}$, confirmando su función como reguladores microclimáticos frente a las

superficies duras. Sin embargo, hacia la tarde, la efectividad de esta cobertura disminuye debido a la alta radiación solar y la limitada extensión de sombra. Los resultados subrayan la necesidad de aumentar la densidad arbórea y diversificar los materiales de pavimentación para optimizar las condiciones térmicas del espacio público.

7.3.5.2 Simulación Humedad Relativa.

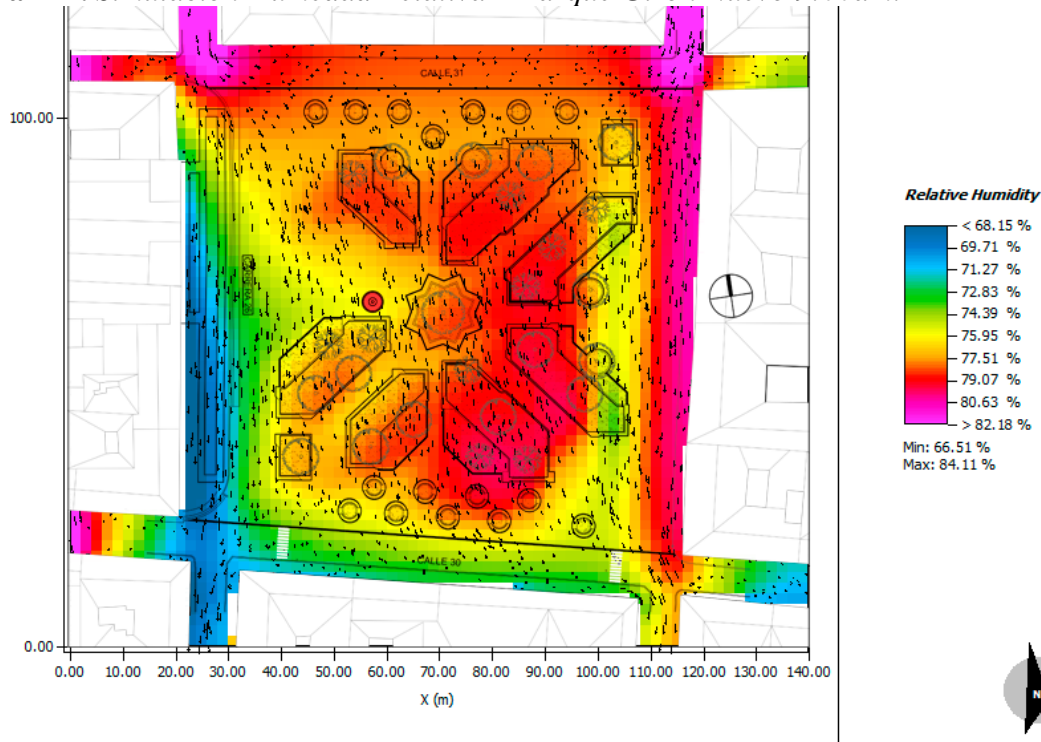
Figura 113. Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Anterior 9:00am.



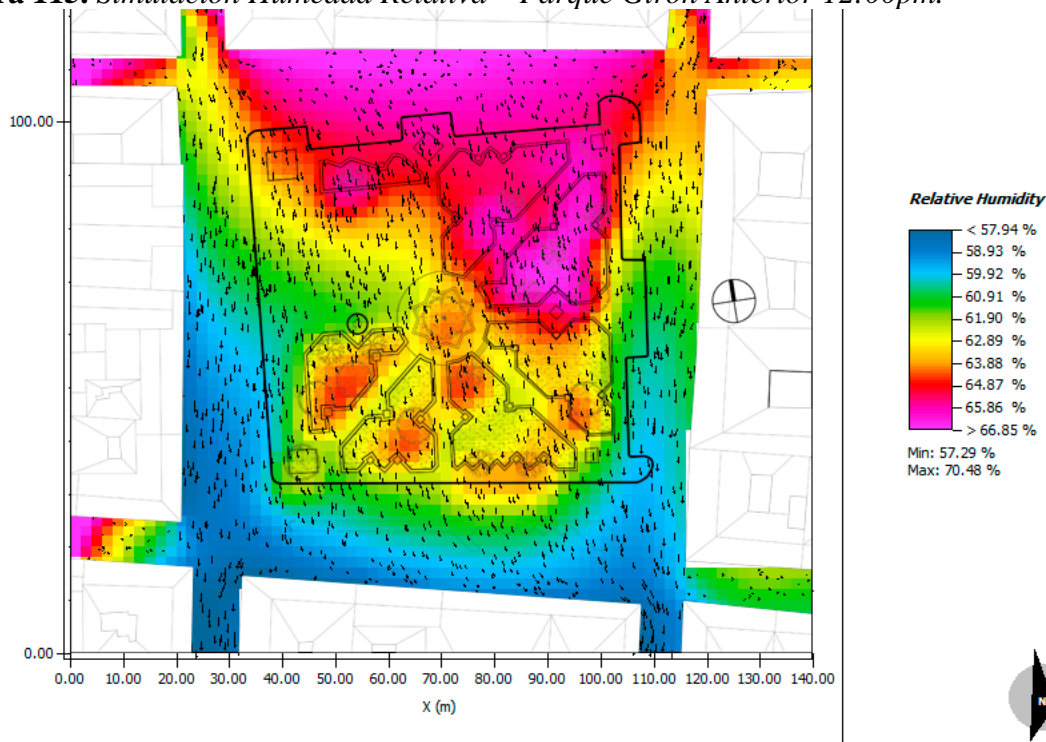
La *Figura 113* presenta la simulación de la variable de humedad relativa en el parque antiguo de Girón a las 9:00 a.m. Los valores más bajos se concentran en las zonas con mayor temperatura, especialmente hacia el área suroeste, con rangos entre 68.92 % y 71.87 %. En contraste, las mayores concentraciones de humedad se registran en el interior y el costado este del parque, donde los valores oscilan entre 76.53 % y 80.15 %. En esta hora, la humedad se distribuye

de forma inversamente proporcional a la temperatura del aire, reflejando la influencia de la radiación solar temprana.

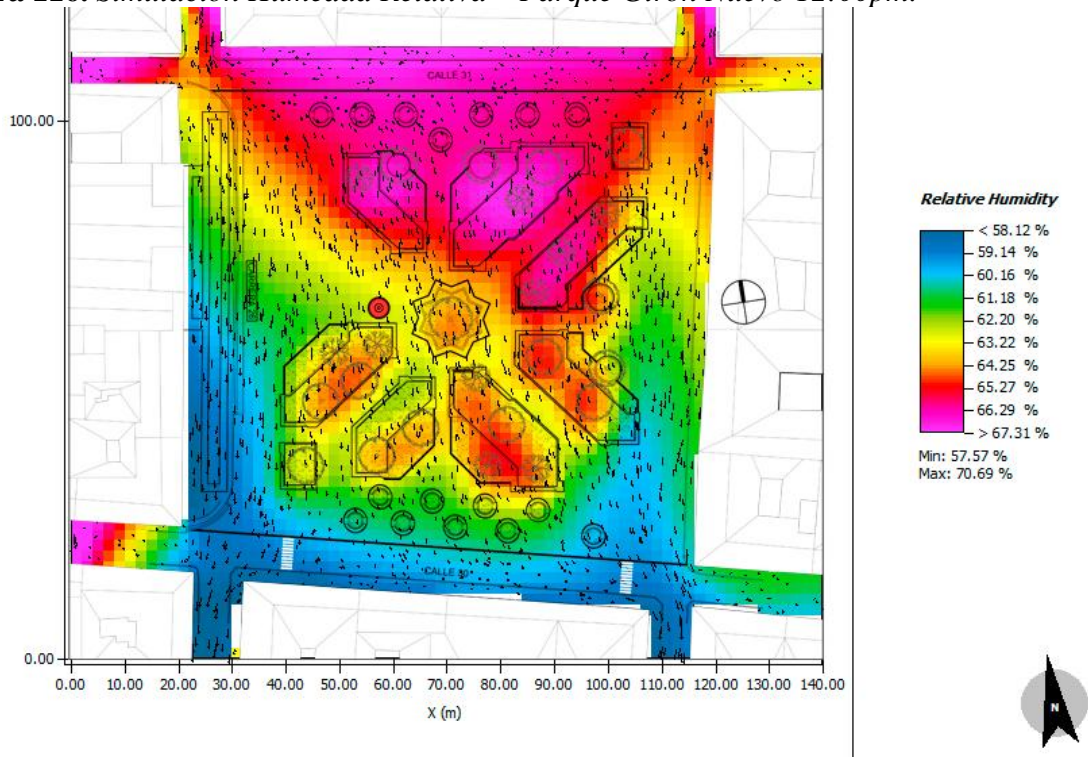
Figura 114. Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Nuevo 9:00am.



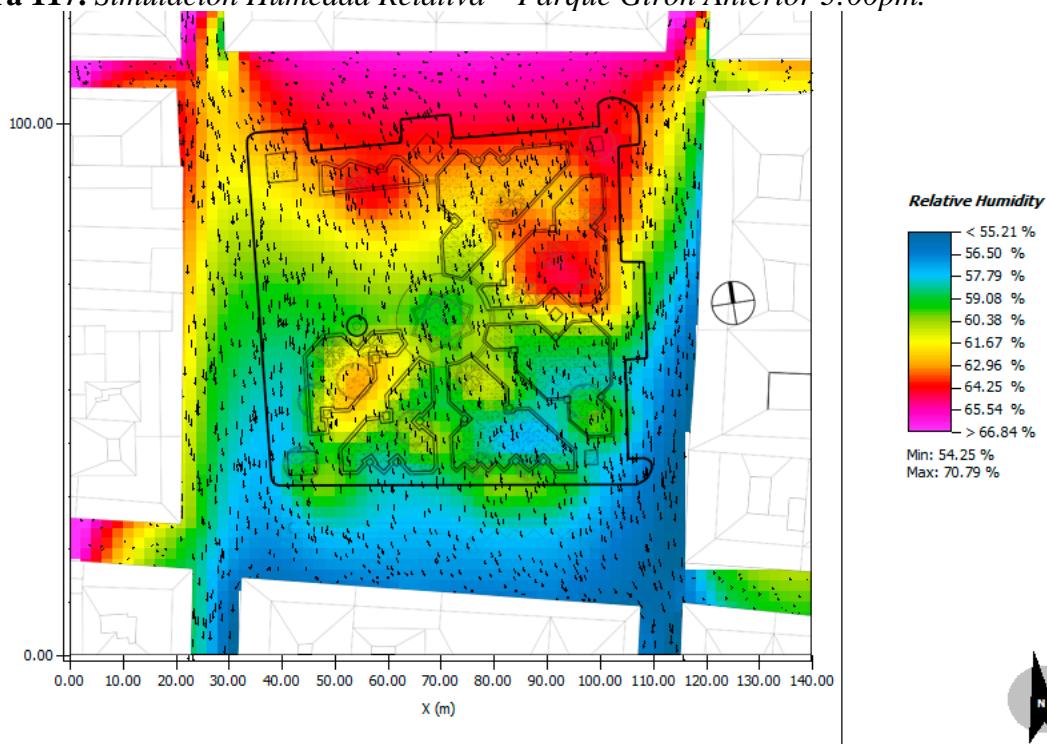
La *Figura 114* muestra la simulación de humedad relativa en el parque actual de Girón a las 9:00 a.m. Los valores más bajos se concentran en el costado suroeste, con rangos entre 68.15 % y 72.39 %, mientras que las zonas con mayor humedad se ubican en el interior y el costado este, donde los valores varían entre 79.07 % y 82.18 %, coincidiendo con el área de mayor densidad arbórea. La presencia de vegetación densa favorece la retención de humedad y mejora las condiciones microclimáticas en las primeras horas del día.

Figura 115. Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Anterior 12:00pm.

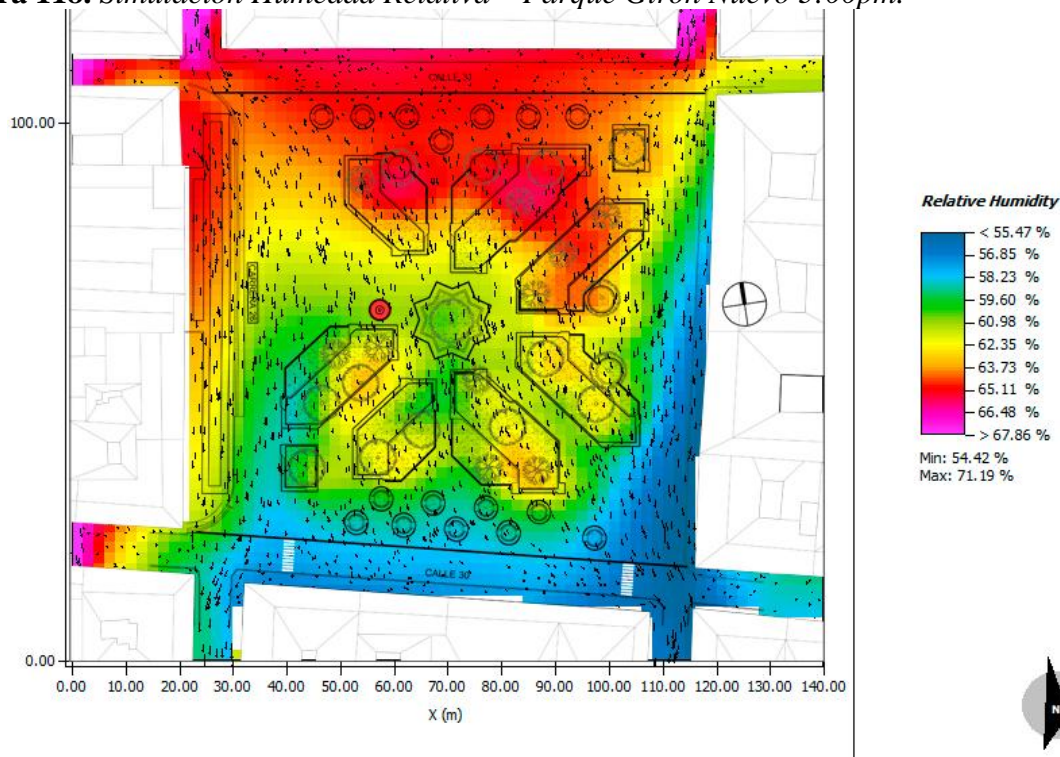
La *Figura 115* presenta la simulación de humedad relativa en el parque antiguo de Girón a las 12:00 p.m. Los valores más bajos se localizan en el costado sur, con rangos entre 57.94 % y 61.90 %, mientras que los valores más altos se concentran hacia el norte, con porcentajes entre 64.87 % y 66.85 %. El patrón evidencia la disminución de humedad en las zonas expuestas a mayor radiación solar durante el mediodía.

Figura 116. Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Nuevo 12:00pm.

La *Figura 116* corresponde a la simulación de humedad relativa en el parque actual de Girón a las 12:00 p.m. El comportamiento térmico es similar al del parque antiguo: las zonas del costado sur presentan los valores más bajos, entre 58.12 % y 62.20 %, mientras que los valores más altos se concentran hacia el norte, con porcentajes entre 65.27 % y 67.31 %. A esta hora, la cobertura vegetal contribuye a mantener un nivel de humedad ligeramente superior al registrado en el parque antiguo.

Figura 117. Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Anterior 3:00pm.

La *Figura 117* muestra la simulación de humedad relativa en el parque antiguo de Girón a las 3:00 p.m. Los valores más bajos se extienden desde el costado sur hacia el norte, con rangos entre 55.21 % y 59.08 %, mientras que los valores más altos se concentran en el extremo norte, entre 64.25 % y 65.54 %. Durante la tarde, la pérdida de humedad se intensifica por el aumento de temperatura acumulada en las superficies duras.

Figura 118. Simulación Humedad Relativa – Parque Girón Nuevo 3:00pm.

La *Figura 118* presenta la simulación de humedad relativa en el parque actual de Girón a las 3:00 p.m. Las menores concentraciones se ubican en el costado sur, con rangos entre 55.47 % y 62.35 %, y los valores más altos se mantienen en el costado norte, entre 65.11 % y 67.86 %.

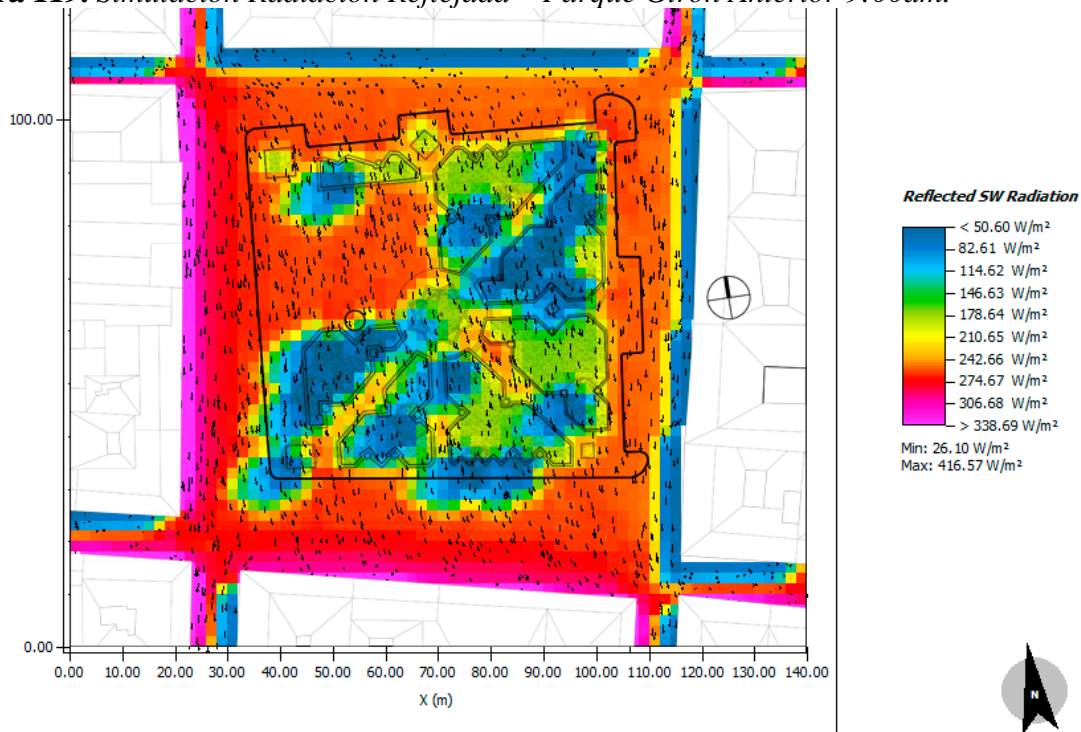
El parque actual conserva mejores niveles de humedad vespertina gracias a la cobertura vegetal, que reduce la evapotranspiración directa.

Al comparar las simulaciones de ambos parques, la humedad relativa es consistentemente mayor en el parque actual, atribuida a la mayor presencia de vegetación. En horas de la mañana, la diferencia promedio es de 2 %, evidenciando la capacidad de las áreas verdes para retener humedad. Al mediodía, la brecha se reduce a entre 0.5 % y 1 %, y hacia la tarde vuelve a incrementarse, alcanzando entre 1.5 % y 2.3 %. En conjunto, los resultados confirman el papel

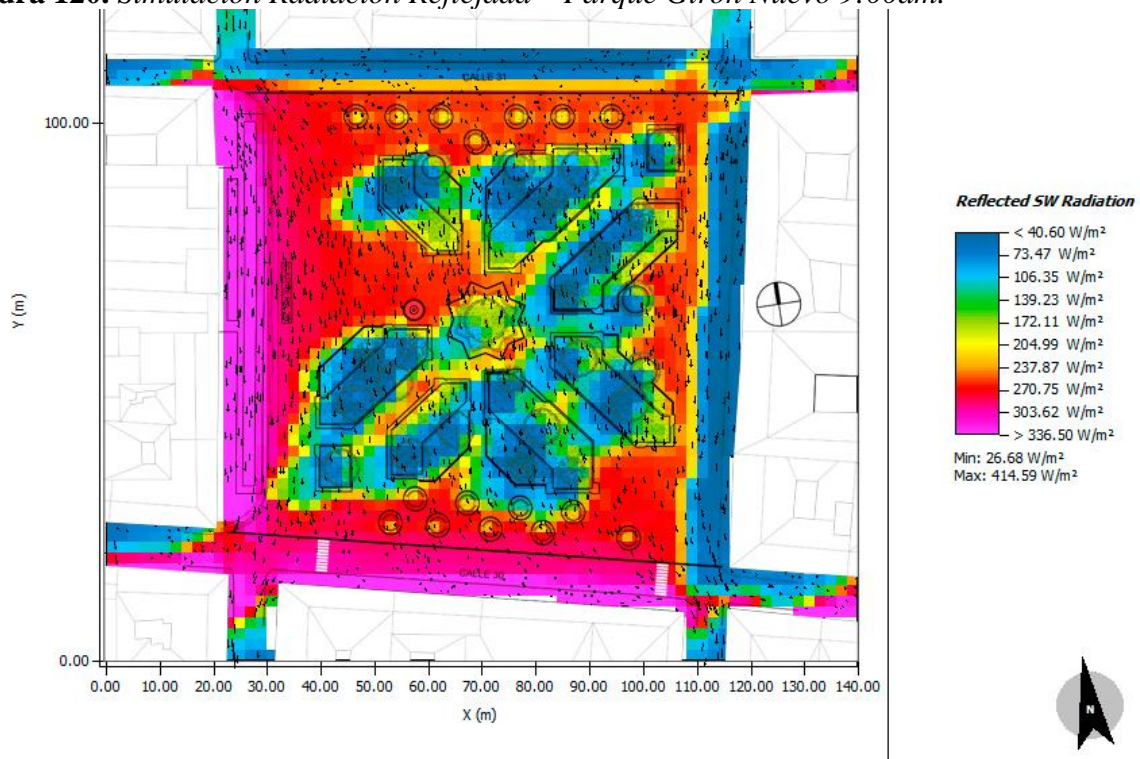
determinante de la vegetación como regulador microclimático, al contribuir a la estabilidad térmica y la conservación de la humedad ambiental.

7.3.5.3 Simulación Radiación Reflejada.

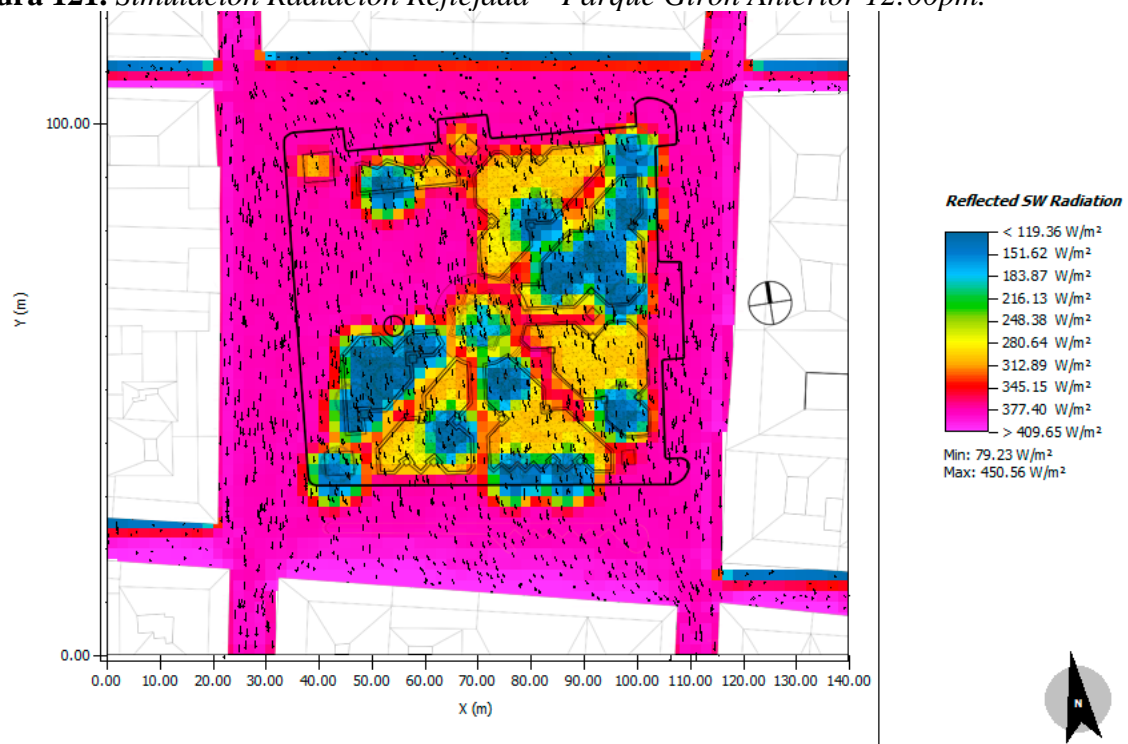
Figura 119. Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Anterior 9:00am.



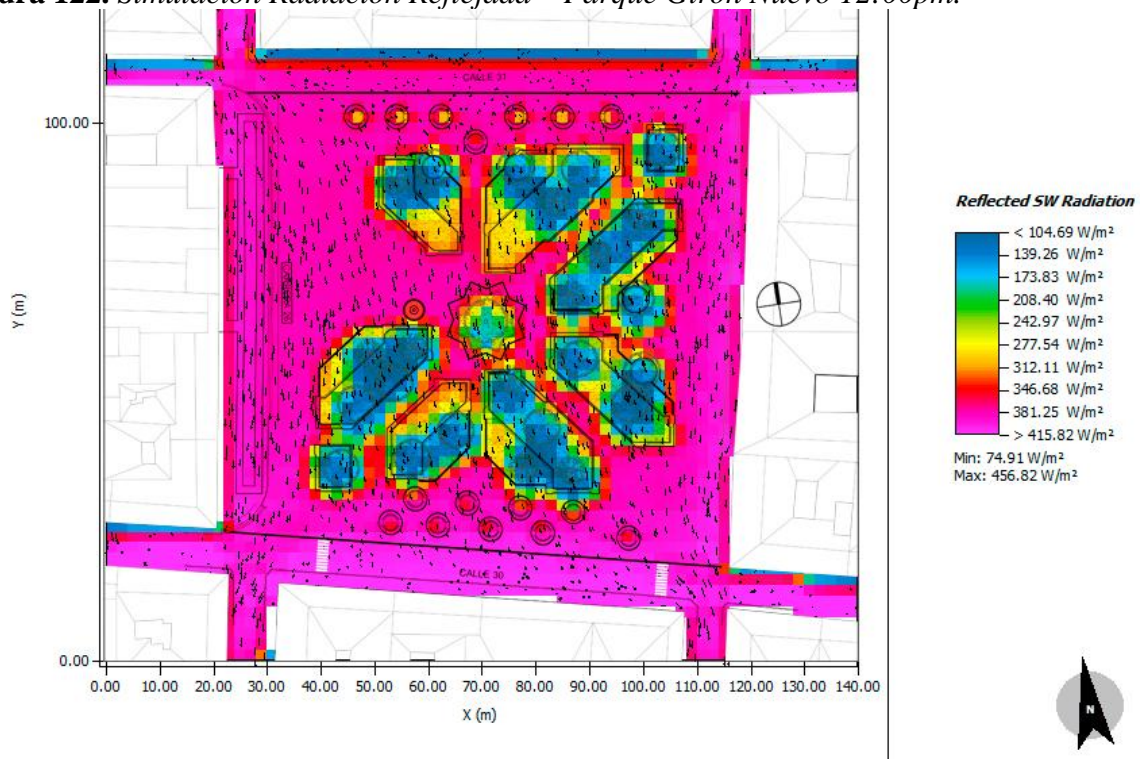
La *Figura 119* presenta la simulación de la radiación reflejada a las 9:00 a.m. en el parque antiguo de Girón. Las mayores concentraciones de radiación se registran sobre las superficies de piedra natural, con valores de hasta 306.68 W/m². En contraste, las áreas verdes con arborización muestran los niveles más bajos, entre 50.60 W/m² y 146.63 W/m². En esta hora, la presencia de vegetación reduce significativamente la reflexión solar en comparación con las superficies duras.

Figura 120. Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Nuevo 9:00am.

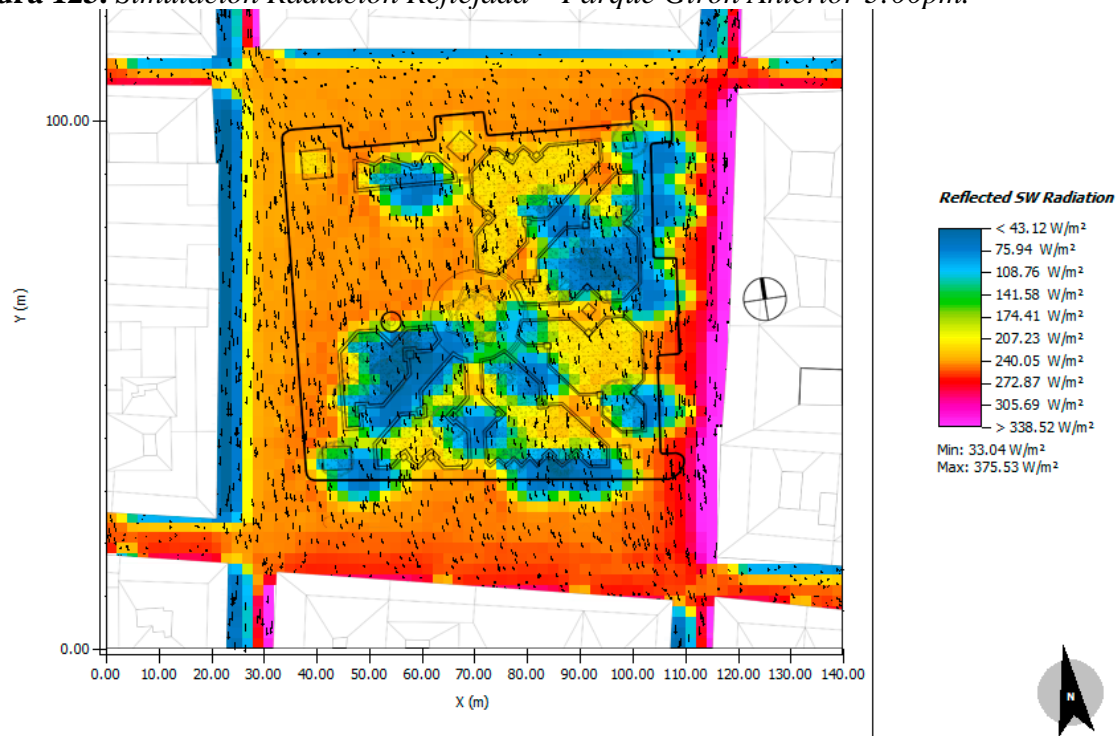
La Figura 120 muestra la simulación de la radiación reflejada a las 9:00 a.m. en el parque actual de Girón. Las superficies de piedra natural alcanzan valores máximos de 303.62 W/m^2 , mientras que las zonas con cobertura vegetal registran valores inferiores, entre 40.60 W/m^2 y 172.11 W/m^2 . La incorporación de mayor cobertura arbórea en el parque actual favorece una menor reflectancia matutina.

Figura 121. Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Anterior 12:00pm.

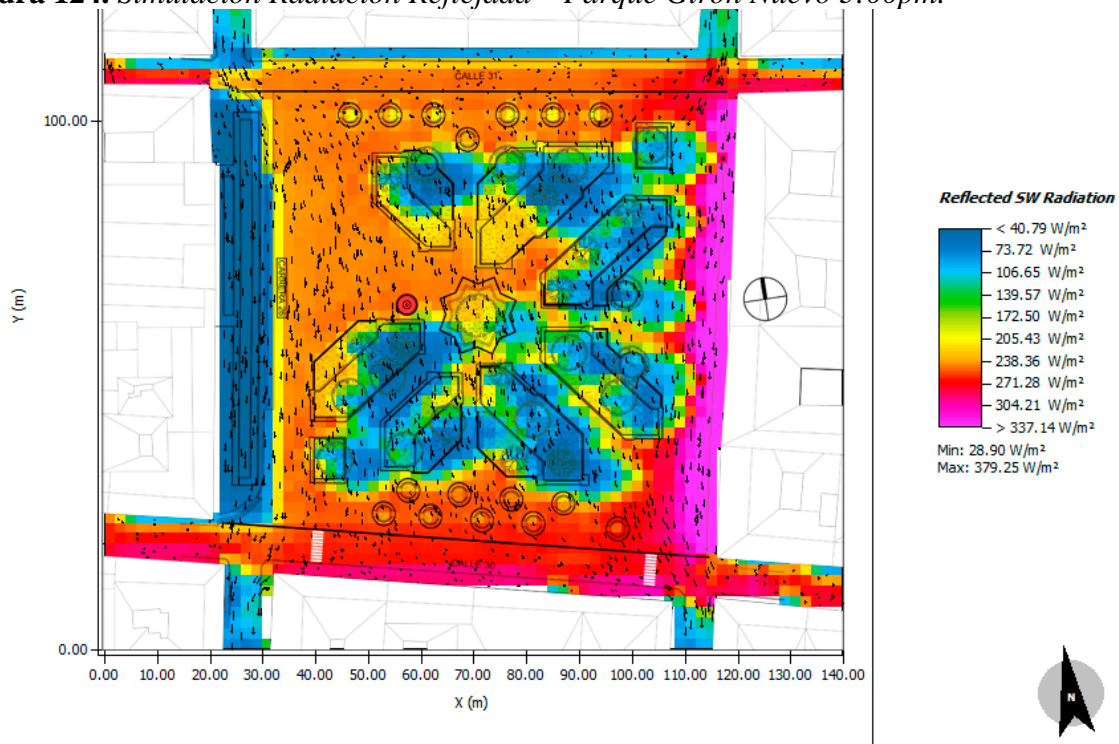
La *Figura 121* corresponde a la simulación de radiación reflejada a las 12:00 p.m. en el parque antiguo de Girón. Las zonas pavimentadas con piedra natural alcanzan hasta 409.65 W/m^2 , mientras que las áreas verdes con arborización registran valores más bajos, entre 119.36 W/m^2 y 312.89 W/m^2 . Durante el mediodía, la intensidad de radiación sobre las superficies pétreas evidencia su alta capacidad reflectiva.

Figura 122. Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Nuevo 12:00pm.

La *Figura 122* presenta la simulación de radiación reflejada a las 12:00 p.m. en el parque actual de Girón. En esta hora no se aprecian contrastes marcados en los valores de radiación, salvo los generados por las zonas verdes, debido a la homogeneidad de los materiales del parque. La radiación más alta alcanza 415.82 W/m², mientras que la más baja se sitúa entre 104.69 W/m² y 312.11 W/m². El uso extensivo de materiales pétreos limita la variabilidad térmica y aumenta la radiación promedio del entorno.

Figura 123. Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Anterior 3:00pm.

La *Figura 123* muestra la simulación de radiación reflejada a las 3:00 p.m. en el parque antiguo de Girón. Se registra una disminución general de la radiación sobre las superficies de piedra natural, con valores entre 240.05 W/m² y 272.87 W/m², y en las zonas verdes, con rangos entre 43.12 W/m² y 141.58 W/m². En horas de la tarde, la pérdida de intensidad solar favorece la reducción de la radiación reflejada en todas las superficies.

Figura 124. Simulación Radiación Reflejada – Parque Girón Nuevo 3:00pm.

La *Figura 124* presenta la simulación de radiación reflejada a las 3:00 p.m. en el parque actual de Girón. Las superficies de piedra natural registran valores entre 238.36 W/m² y 337.14 W/m², mientras que las áreas verdes mantienen niveles más bajos, entre 40.79 W/m² y 172.50 W/m². La distribución de vegetación contribuye a estabilizar la radiación reflejada en el parque actual durante la tarde.

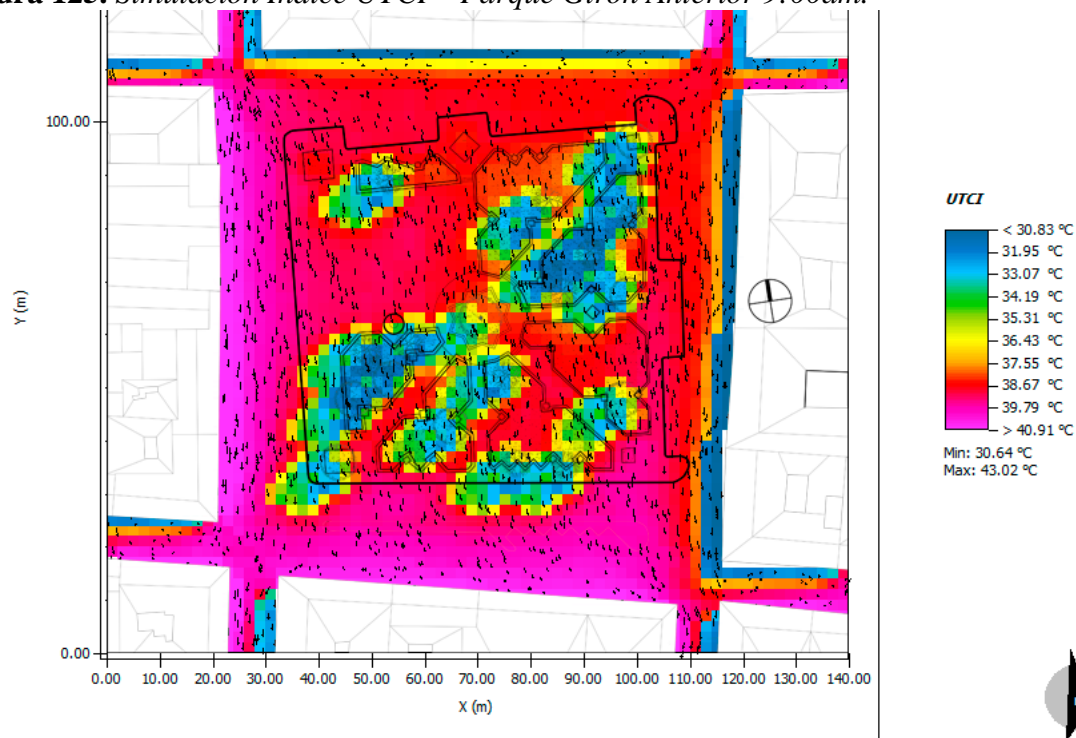
Al comparar los resultados de radiación reflejada de ambos parques, las superficies de piedra natural muestran los valores más elevados a lo largo del día, superando los 300 W/m² en la mañana y alcanzando picos cercanos a 410–415 W/m² al mediodía. El parque actual presenta valores ligeramente superiores, asociados a la mayor extensión de superficies pétreas. En contraste, las zonas con cobertura vegetal registran valores inferiores a 180 W/m² en promedio y mantienen

un comportamiento térmico más estable. Estos resultados confirman el papel moderador de la vegetación frente a la radiación reflejada, reduciendo el impacto térmico en el espacio urbano.

7.3.6 Cálculo de índice de evaluación de confort - Parque Girón

7.3.6.1 Simulación Índice UTCI.

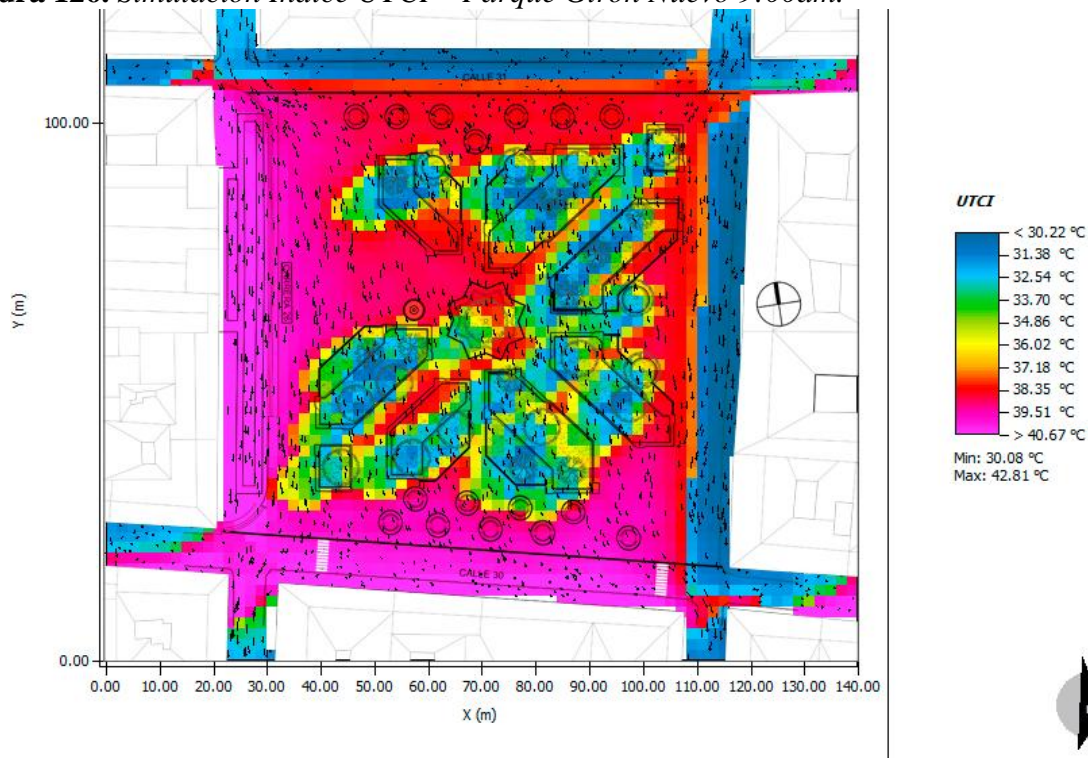
Figura 125. Simulación Índice UTCI – Parque Girón Anterior 9:00am.



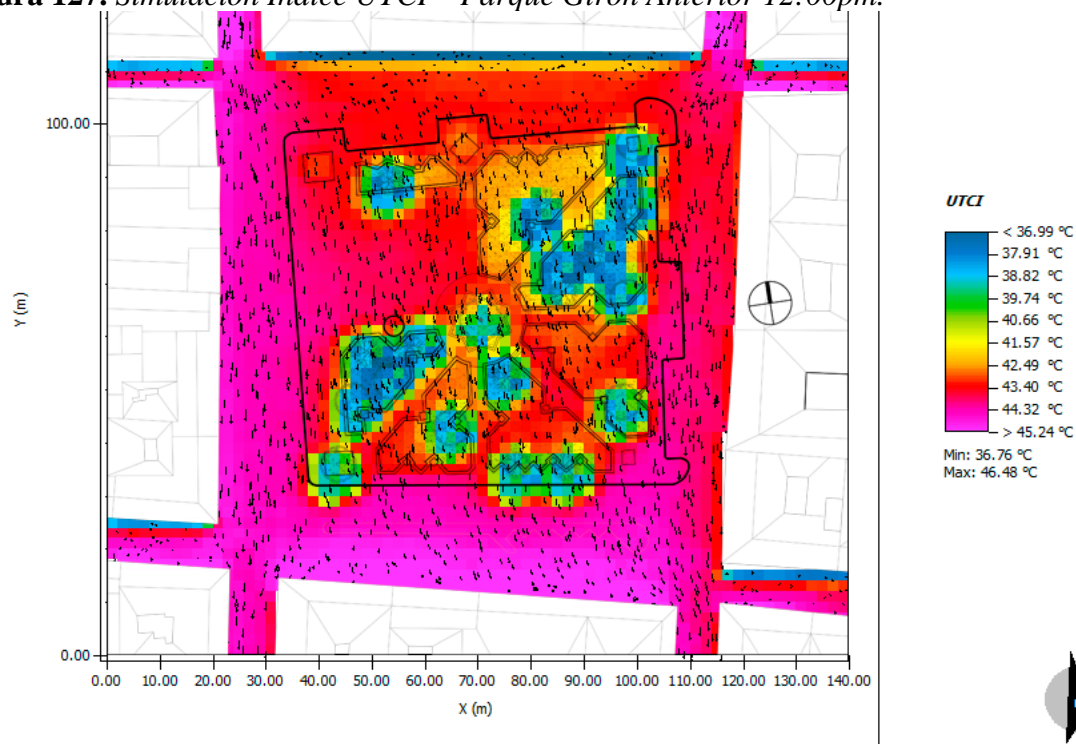
La *Figura 125* presenta los resultados de la simulación del Índice Universal de Confort Térmico (UTCI) a las 9:00 a.m. para el parque antiguo de Girón. Se distinguen tres rangos principales: el primero, entre 30.83 °C y 31.95 °C, correspondiente a una condición de *calor moderado* predominante en las áreas con cobertura vegetal; el segundo, entre 33.07 °C y 37.55 °C, asociado a *calor fuerte* en los espacios con menor sombreado; y el tercero, entre 38.67 °C y

40.91 °C, que representa una condición de *calor muy fuerte* concentrada en las superficies duras con piedra natural. En esta hora, las zonas con vegetación logran atenuar parcialmente la sensación térmica, mientras que las superficies pétreas intensifican el calor percibido.

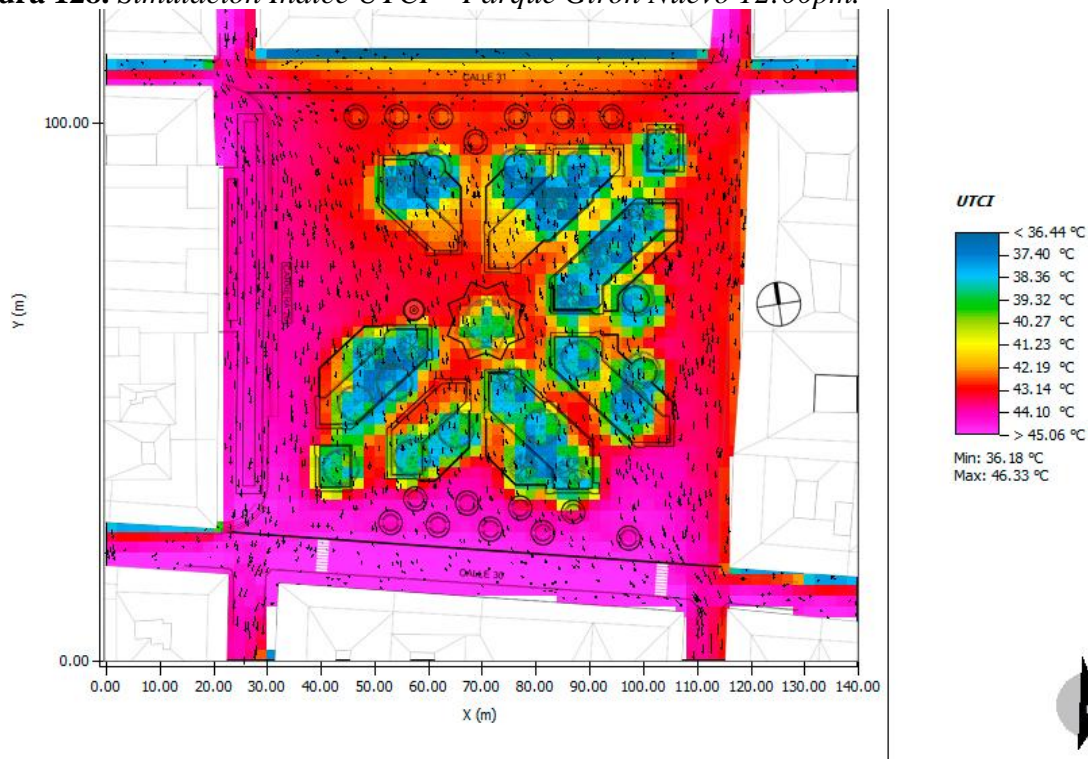
Figura 126. Simulación Índice UTCI – Parque Girón Nuevo 9:00am.



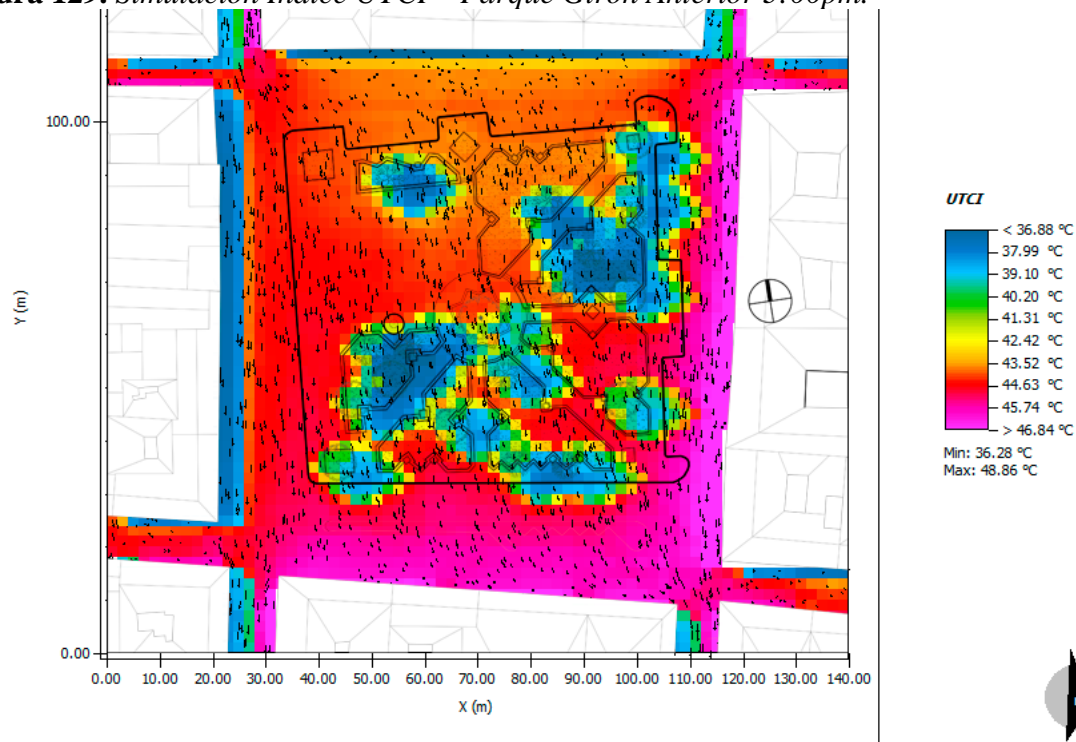
La *Figura 126* muestra los resultados del UTCI a las 9:00 a.m. para el parque actual de Girón. Se identifican los mismos tres rangos térmicos: entre 30.83 °C y 31.95 °C en las áreas con vegetación *calor moderado*, entre 33.07 °C y 37.55 °C en sectores con menor sombra *calor fuerte*, y entre 38.67 °C y 40.91 °C en superficies duras con piedra natural *calor muy fuerte*. El patrón térmico es similar al del parque antiguo, aunque la mayor cobertura vegetal del parque actual favorece condiciones ligeramente más confortables.

Figura 127. Simulación Índice UTCI – Parque Girón Anterior 12:00pm.

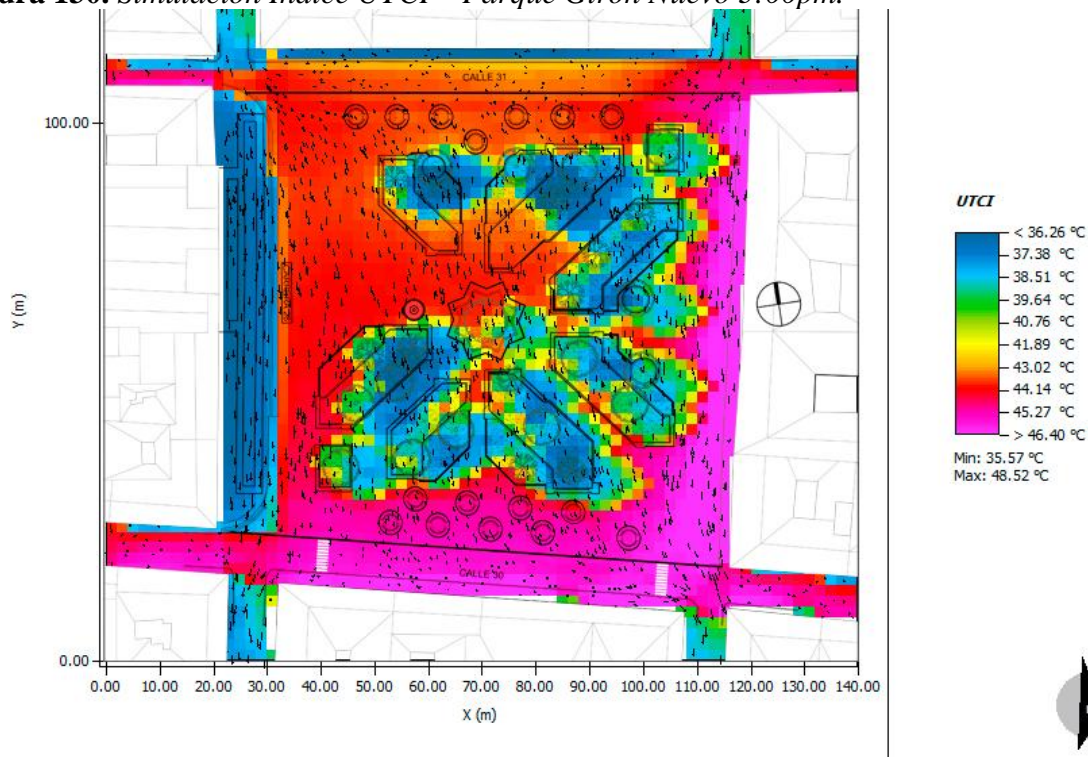
La *Figura 127* corresponde a la simulación del UTCI a las 12:00 p.m. para el parque antiguo de Girón. Se aprecian dos rangos dominantes: uno entre 36.99 °C y 37.91 °C *calor fuerte* presente en áreas vegetadas, y otro entre 38.82 °C y 45.24 °C *calor muy fuerte* concentrado en las superficies duras del parque. Durante el mediodía, el incremento de la radiación solar acentúa el contraste térmico entre las zonas sombreadas y las expuestas.

Figura 128. Simulación Índice UTCI – Parque Girón Nuevo 12:00pm.

La *Figura 128* presenta los resultados del UTCI a las 12:00 p.m. para el parque actual de Girón. Los valores se agrupan entre 36.44 °C y 37.40 °C *calor fuerte* en la parte central con cobertura vegetal y entre 38.36 °C y 45.06 °C *calor muy fuerte* en las superficies duras y los bordes del parque. La distribución de sombra y vegetación en el parque actual reduce levemente la magnitud del calor percibido respecto al parque antiguo.

Figura 129. Simulación Índice UTCI – Parque Girón Anterior 3:00pm.

La *Figura 129* muestra los resultados del UTCI a las 3:00 p.m. para el parque antiguo de Girón. Se definen tres rangos: entre 36.88 °C y 37.99 °C *calor fuerte* en zonas vegetadas y sombreadas; entre 39.10 °C y 45.74 °C *calor muy fuerte* en superficies duras; y valores superiores a 46 °C, que indican estrés por calor extremo en los puntos más expuestos a radiación solar directa. En la tarde, el parque antiguo mantiene amplias áreas con condiciones críticas de calor, evidenciando baja resiliencia térmica.

Figura 130. Simulación Índice UTCI – Parque Girón Nuevo 3:00pm.

La Figura 130 presenta el UTCI a las 3:00 p.m. para el parque actual de Girón. Se identifican tres rangos: entre $36.26\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $37.38\text{ }^{\circ}\text{C}$ *calor fuerte* en las áreas sombreadas; entre $38.51\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45.27\text{ }^{\circ}\text{C}$ *calor muy fuerte* en las superficies duras del costado noroeste; y valores superiores a $46\text{ }^{\circ}\text{C}$ *estrés térmico extremo* en los puntos más expuestos, principalmente en el costado sureste. El parque actual conserva zonas de estrés térmico, aunque la mayor arborización contribuye a reducir la extensión de estas áreas críticas.

Al comparar ambos parques, se aprecia que presentan condiciones térmicas severas a lo largo del día, con valores del UTCI superiores a $38\text{ }^{\circ}\text{C}$, correspondientes a calor muy fuerte e incluso estrés térmico extremo en algunos sectores. No obstante, el parque actual muestra temperaturas ligeramente menores en las áreas vegetadas, reflejando una mayor capacidad de regulación térmica. En síntesis, la presencia de cobertura vegetal y sombreado genera una

mejora perceptible en el confort térmico, confirmando su relevancia en la mitigación del calor urbano.

En contraste, el parque antiguo muestra una mayor área expuesta a la radiación directa, concentrando los valores más altos de UTCI en las superficies duras, especialmente en las horas posteriores al mediodía y en la tarde. Aunque ninguno de los dos espacios logra garantizar condiciones de confort térmico óptimas en los momentos de mayor radiación, el parque actual presenta un desempeño térmico ligeramente más favorable, con diferencias de hasta 1 °C a 2 °C en las zonas sombreadas. Esto resalta el efecto positivo de la cobertura vegetal sobre el confort térmico urbano.

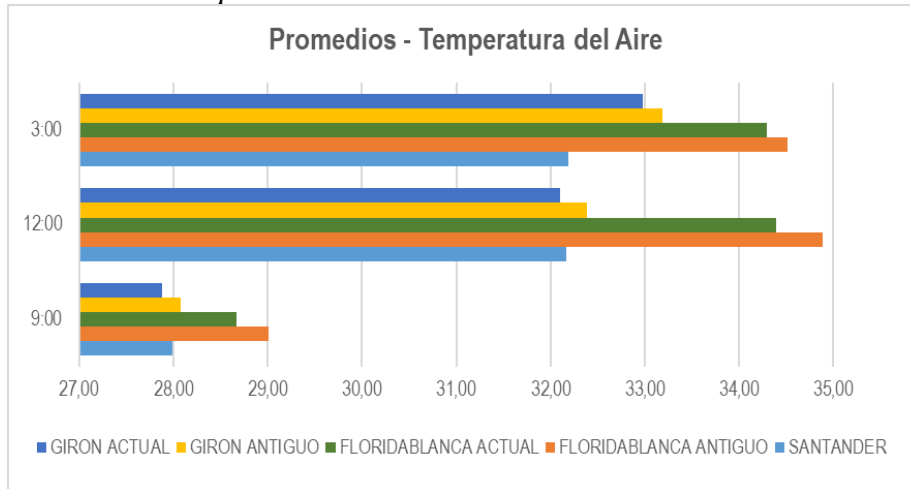
7.4 Conclusiones

El análisis de los parques seleccionados del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) permite identificar patrones consistentes entre la composición de materiales, la cobertura vegetal y las condiciones microclimáticas locales. Los resultados evidencian que la estructura física, particularmente la proporción entre superficies duras e impermeables frente a las áreas verdes permeables, constituye un factor determinante en el confort térmico y en la capacidad de resiliencia climática de cada espacio público. En conjunto, se confirma que la morfología urbana, el tipo de materialidad empleado y la densidad vegetal son factores clave para la regulación térmica y la mitigación del efecto de isla de calor urbana.

En general, el análisis muestra que la temperatura del aire presenta variaciones significativas en función a la cobertura vegetal y el tipo de pavimento. Las zonas con mayor densidad arbórea registraron reducciones de hasta 3°C respecto a las áreas pavimentadas expuestas. Este comportamiento se asocia directamente a la capacidad de sombreado, la

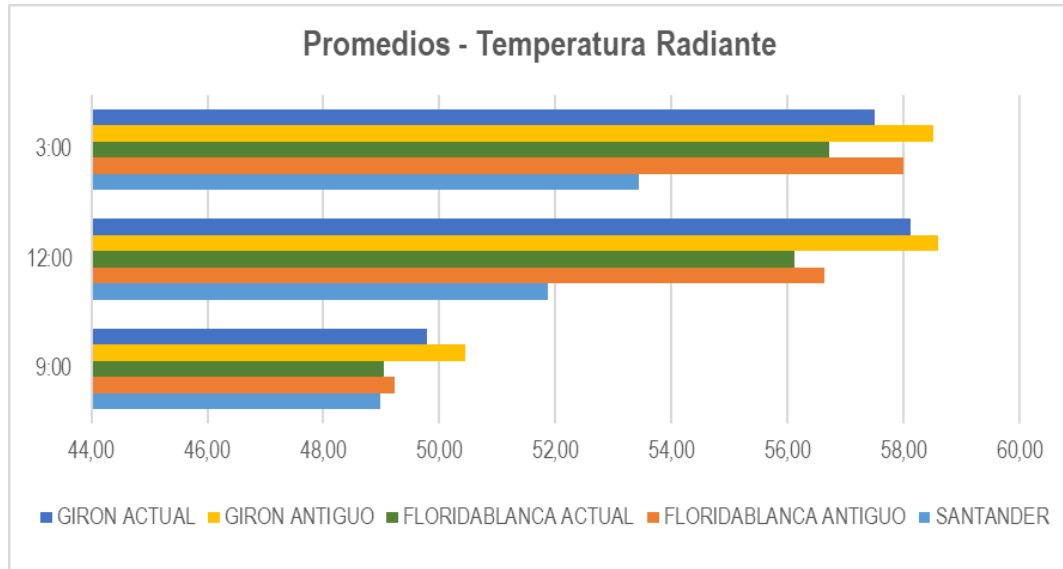
evapotranspiración y la permeabilidad del suelo, que facilita la disipación térmica y moderan el calentamiento superficial.

Figura 131. Promedio – Temperatura del Aire.



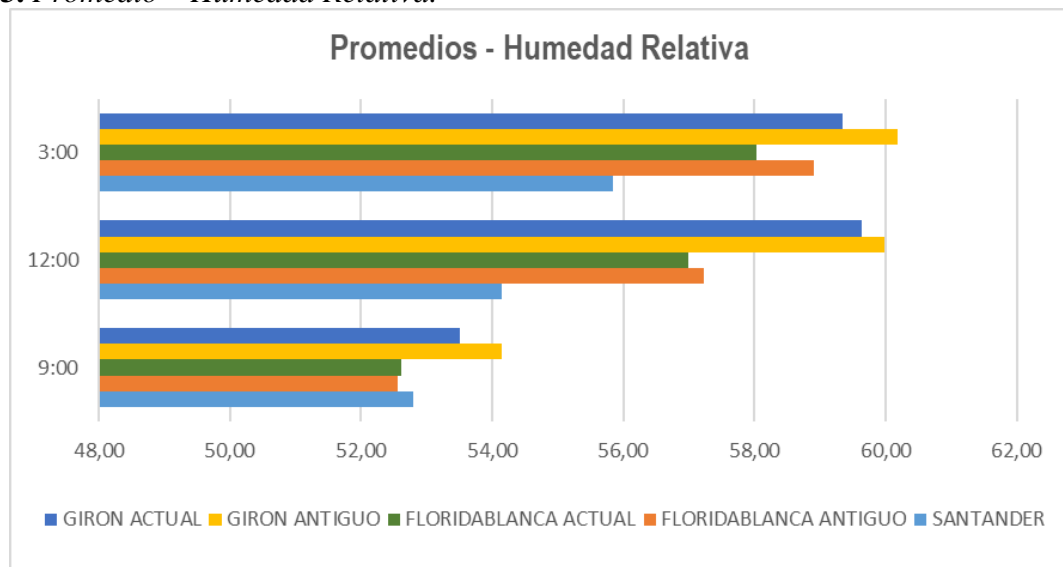
La temperatura radiante media se mantuvo más estable en las áreas con cobertura vegetal continua, especialmente bajo arboles de gran copa, donde las diferencias diarias fueron menores y las condiciones térmicas resultaron más homogéneas. En contraste, los espacios con predominio de materiales reflectantes o pétreos presentan picos de hasta 58°C durante las horas de mayor radiación solar. Los resultados de temperatura radiante constituyen un componente crítico dentro del balance energético urbano, al ser uno de los principales determinantes de la sensación térmica y del confort ambiental en espacios abiertos.

Figura 132. Promedio – Temperatura Radiante.



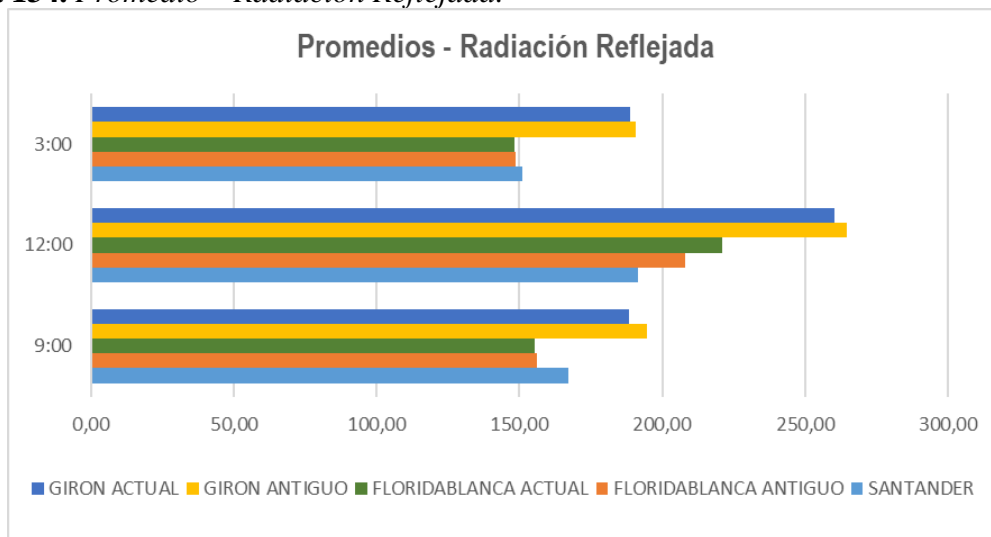
En cuando a la humedad relativa, se observó un comportamiento inversamente proporcional a la temperatura, con incrementos de hasta 10% en las zonas sombreadas. Los parques con mayor cobertura vegetal mantuvieron niveles superiores al 60% durante la tarde, lo que mejora la sensación térmica en sombra, aunque puede intensificar el estrés por calor en áreas que se encuentren expuestas.

Figura 133. Promedio – Humedad Relativa.

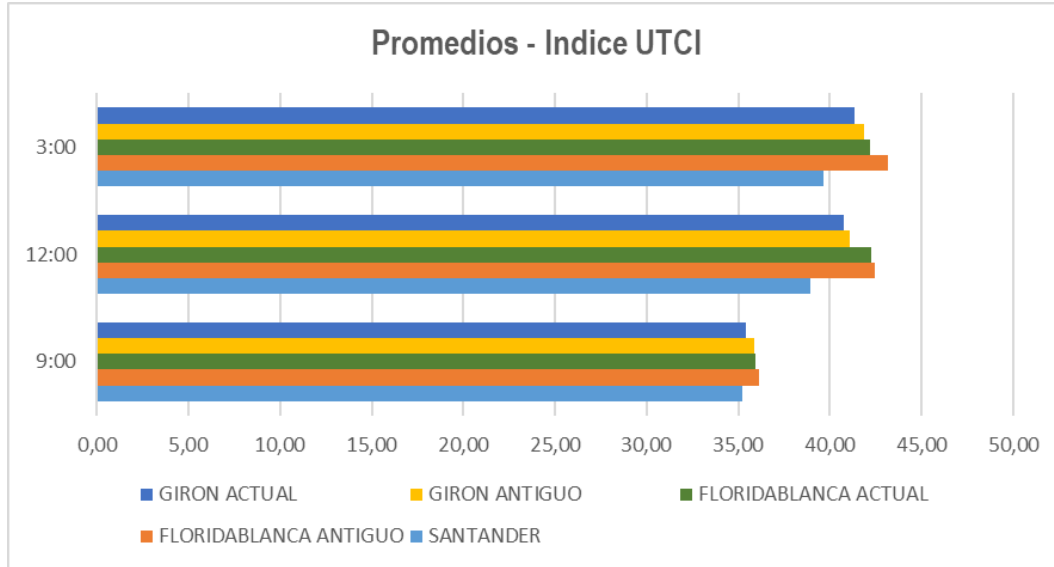


La radiación reflejada mostró una incidencia superior en superficies duras de concreto y piedra, mientras que los materiales porosos y la vegetación redujeron el albedo, disminuyendo así la carga térmica percibida por los usuarios. Este componente constituye un factor crítico dentro del balance energético urbano, ya que contribuye al calentamiento de las capas atmosféricas más próximas al suelo y al incremento del nivel de estrés térmico en el espacio público.

Figura 134. Promedio – Radiación Reflejada.



Para la valoración del confort térmico exterior. Se aplicó el índice Universal de Confort Térmico (UTCI), que integra los efectos combinados de la temperatura del aire, la humedad, la radiación y el viento. Los resultados muestran que durante las horas de mayor radiación solar las áreas expuestas alcanzaron niveles de calor moderado a estrés por calor extremo, siendo esta la escala más alta dentro del índice analizado. Por otra parte, las áreas de cobertura vegetal se mantuvieron dentro de los rangos de calor moderado a calor fuerte, confirmando la eficacia de la vegetación como regulador microclimático natural.

Figura 135. Promedio – Índice Universal de Confort Térmico (UTCI) .

1. Parque Santander: presenta una cobertura vegetal abundante y una diversidad de especies arbóreas con follaje denso, lo que contribuye significativamente a la reducción de la radiación solar incidente. Este factor favorece los procesos de evapotranspiración y contrarresta el efecto térmico generado por el alto porcentaje de superficies duras presentes en el parque. Asimismo, la variedad de materiales empleados en su composición urbana favorece un comportamiento térmico más equilibrado.

2. Parque Principal de Floridablanca: el cambio entre ambos parques evidencia una transformación hacia superficies más duras y reflectantes, lo que eleva la temperatura y reduce la capacidad de absorción de agua. No obstante, el incremento de especies arbóreas ha favorecido la disipación de calor acumulado, mejorando la regulación térmica. La reforestación planificada, el aumento de sombra efectiva y la incorporación de pavimentos fríos y permeables contribuyen a la recuperación del confort térmico.

3. Parque Principal de Girón: de los parques analizados es el que presenta menor cobertura vegetal y la mayor exposición directa, generando altas temperaturas radiantes y reflejadas. El

predominio de materiales pétreos amplifica la radiación térmica y reduce el confort de los usuarios. La escasa presencia de árboles de gran copa limita la mitigación térmica, configurando un escenario típico de isla de calor urbana a escala local.

El comportamiento térmico diario sigue un patrón característico de los climas cálido húmedos, con temperaturas que aumentan progresivamente desde las primeras horas de la mañana hasta alcanzar su máximo al mediodía. Las diferencias entre los parques se asocian directamente con la influencia con la proporción de zonas verdes, la reflectancia de los materiales y la cobertura arbórea disponible.

Los resultados confirman que la interacción entre cobertura vegetal, materiales y morfología urbana define el desempeño térmico de los parques y su capacidad para mitigar el efecto de isla de calor. En particular, los casos de Floridablanca y Girón evidencian que las intervenciones urbanas recientes han priorizado criterios estéticos y funcionales por encima del desempeño térmico, lo que revela una brecha entre el diseño urbano y la gestión ambiental.

Esta situación resalta la necesidad de integrar indicadores de sostenibilidad y confort térmico en las políticas y herramientas de planificación urbana del AMB, fortaleciendo la infraestructura verde, la arborización urbana y el diseño bioclimático de los espacios públicos. Desde una perspectiva de investigación aplicada, el presente análisis constituye una base técnica y metodológica que articula el diagnóstico físico con los insumos de simulación climática, sirviendo de sustento para la modelación digital desarrollada en el siguiente capítulo y para la formulación de estrategias de adaptación climática en contextos tropicales intermedios.

8. Estrategias Urbano – Ambientales

8.1 Criterios de diseño urbano bioclimático en espacios libres

Las estrategias orientadas al mejoramiento del confort urbano están directamente relacionadas con el bienestar ciudadano y el aprovechamiento de los recursos renovables. Su implementación contribuye a la reducción del gasto energético, la mitigación de la contaminación urbana y la creación de entornos más saludables y sostenibles. La aplicación de medidas para contrarrestar o mitigar los efectos negativos del microclima urbano depende de muchos factores, algunos de los cuales pueden incorporarse en las estrategias de planificación, mientras que otros escapan del control directo sobre el uso y la geometría de los espacios.

Los estudios enfocados en mitigar los efectos de la isla de calor urbana (ICU) y en mejorar el microclima urbano se han centrado en tres grandes enfoques:

Figura 136. *Enfoques de estudios enfocados mitigar ICU.*



A continuación, se presentan medidas que pueden implementarse en el entorno urbano, especialmente aplicables a los parques del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), con

énfasis en los espacios intersticiales, dado que el objetivo de este trabajo es el análisis del confort térmico.

Estas medidas se sustentan en principios de planificación climáticamente sensible, donde la infraestructura verde y azul se concibe como elemento estructurante del microclima urbano. Los espacios libres y zonas verdes se abordan como reguladores térmicos naturales, capaces de reducir el efecto de isla de calor urbana mediante procesos de evapotranspiración, sombreado y ventilación natural.

Se recomienda incrementar la proporción de superficies permeables y áreas arboladas, priorizando la introducción de especies nativas adaptadas al clima cálido-húmedo de Bucaramanga. El uso estratégico de la vegetación permite modular el flujo del viento, filtrar contaminantes, mitigar la radiación directa y generar corredores bioclimáticos que favorecen la conectividad ambiental. Asimismo, la disposición de copas frondosas y arbustos medianos debe integrarse al diseño de los flujos peatonales, garantizando ventilación cruzada, sombra continua y condiciones óptimas de confort térmico.

Estas directrices constituyen la base para las estrategias de diseño bioclimático desarrolladas en los apartados siguientes, orientadas a fortalecer la resiliencia térmica y ambiental de los parques urbanos del AMB.

8.1.1 Espacios Libres y Zonas Verdes

Los espacios libres y zonas verdes representan componentes esenciales en la mitigación del efecto de isla de calor y en la mejora del confort térmico urbano. Su diseño debe responder tanto a criterios ecológicos como sociales, integrando funciones recreativas, culturales y ambientales:

- Priorizar el valor social del espacio público como garante de la calidad de vida urbana.
- Incorporar usos mixtos (recreativos, deportivos, culturales y de ocio) que fomenten la apropiación del espacio.
- Recuperar la biodiversidad local, privilegiando especies autóctonas y adaptadas al clima regional.
- Diseñar espacios abiertos que optimicen las condiciones microclimáticas considerando orientación solar, vientos dominantes, materiales y vegetación.
- Aplicar técnicas naturales de acondicionamiento, como sombreado vegetal, pavimentos fríos y enfriamiento evaporativo mediante cuerpos de agua o fuentes, para reducir la temperatura del aire y la radiación superficial.
- Usar pavimentos porosos con alta capacidad de absorción solar y baja temperatura superficial, favoreciendo el confort térmico del suelo.

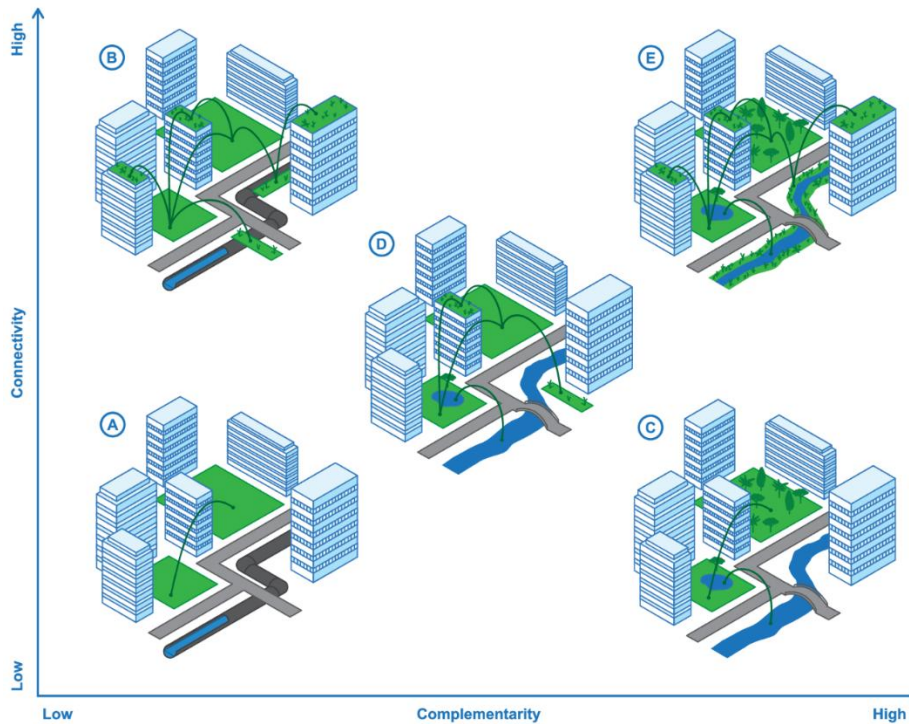
8.1.2 Uso de Vegetación

La vegetación constituye el principal recurso natural para la regulación térmica urbana. Los árboles y arbustos reducen la radiación solar mediante sombra y evapotranspiración, enfriando el aire ambiente y mejorando la calidad del espacio público. Entre los beneficios documentados se destacan:

- Reducciones de temperatura del aire entre 1 y 4,7 °C en áreas de 100 a 1.000 m², según la disponibilidad de agua (Schmidt, 2006).
- Disminución del choque térmico sobre superficies urbanas y reducción de la demanda energética hasta en 25 % (Nichols Consulting Engineers, 2012)
- Menor temperatura radiante media en superficies bajo vegetación (Bruse, 2007).

- Ahorros energéticos del 1 % en refrigeración y 2 % en calefacción por árbol (USDA Forest Service).
- Mejora de la ventilación y disminución de la temperatura en parques urbanos (Scudo, 2006) (Santamouris, Asimakopoulos et ál., 2001) (Gómez et ál., 2004).
- Reducción de contaminantes atmosféricos (NO_x, SO₂, CO, O₃) y del ruido urbano, además de captura de carbono (Ochoa de la Torre, 1999) (Currie y Bass, 2008) (Wong, 2007).
- Protección del suelo, prevención de erosión y deslaves, y mejora de la infiltración de aguas lluvias.
- Beneficios psicológicos y sociales, al generar espacios de descanso, encuentro y recreación (Edgerton, Romice y Spencer, 2007) (Gray y Finster, 2000) (Higueras, 2011).

Figura 137. *Infraestructura Urbana – Verde y Azul.*



Tomado Engineering blue-green infrastructure for and with biodiversity in cities (s.f.).

8.1.3 Selección de materiales y pavimentos urbanos

Los materiales urbanos inciden directamente en el balance energético del entorno. Propiedades como el albedo, la emisividad térmica y la conductividad determinan la temperatura superficial y, por tanto, las condiciones de confort térmico.

Se recomienda el uso de materiales fríos (cool materials), con alta reflectancia solar y emisividad infrarroja, que reducen la acumulación de calor en las estructuras y el aire circundante (Karlessi, et ál., 2009) (Synnefa, et ál., 2007).

Los pavimentos permeables y los water-holding pavements (Nakayama y Fujita, 2010) favorecen la infiltración del agua y el enfriamiento evaporativo, contribuyendo además al control de escorrentías.

Tipos de pavimento recomendados:

- Pavimentos permeables no vegetados: permiten el paso del agua para controlar escorrentías.

- Pavimentos fríos: tienen menor temperatura superficial gracias a su alto albedo (más radiación solar), emisividad alta (Liberan eficazmente el calor acumulado) y baja conductividad y capacidad calorífica (Reducen la transferencia y almacenamiento de calor) (EPA, 2008).

Durante el verano o temporadas de calor extremo, el pavimento urbano puede alcanzar temperaturas de hasta 67 °C. Incrementar el albedo entre 10 % y 35 % puede reducir la temperatura del aire hasta 0,6 °C (EPA, 2008). Algunos materiales especializados, como el asfalto oscuro PerfectCool, combinan alta emisividad con pigmentos reflectivos para minimizar el calentamiento superficial (Wijeyesekera, et ál., 2012).

8.2 Modelo de evaluación de criterios de diseño urbano bioclimáticos

Con el fin de profundizar en la comprensión del comportamiento térmico de los espacios públicos urbanos, se desarrolló un modelo esquemático de evaluación que permite analizar diferentes alternativas de diseño para parques urbanos.

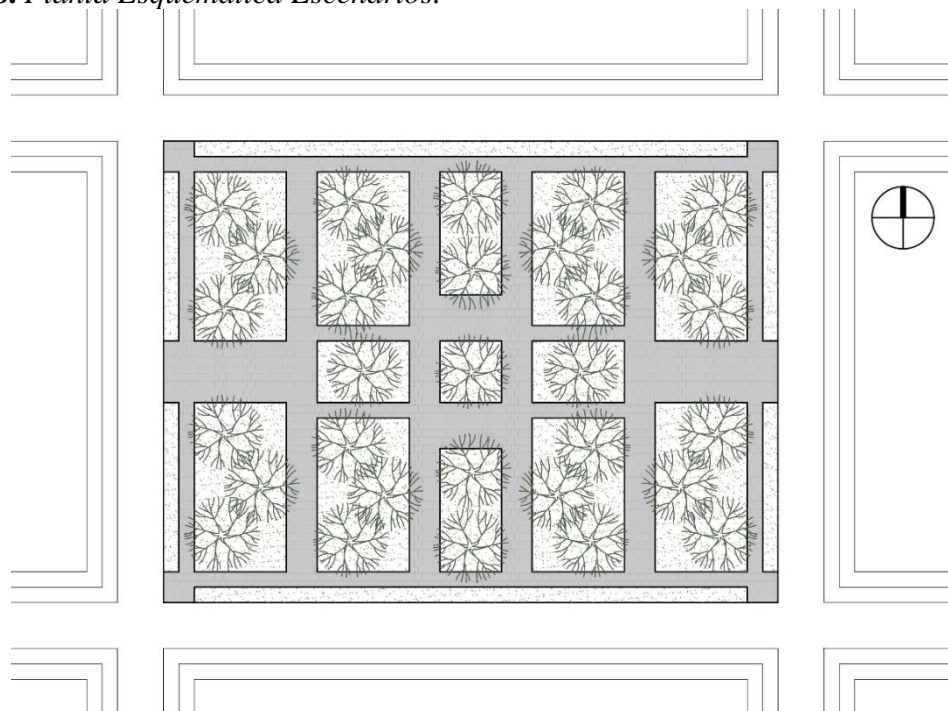
El objetivo fue determinar el efecto térmico de los materiales de uso recurrente en los entornos urbanos de Bucaramanga, manteniendo constante la proporción de zonas verdes para evaluar exclusivamente la influencia de los materiales en el balance energético.

El modelo propuesto cuenta con una superficie total de 4.800 m², de los cuales el 62,33 % corresponde a zonas verdes y el 37,67 % a superficies duras. Además, se incorporaron 27 árboles distribuidos estratégicamente con el propósito de optimizar el sombreado sobre las áreas peatonales.

Este esquema combina simulaciones dinámicas (ENVI-met v5.8) con variables microclimáticas: temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa y radiación reflejada. El modelo permite comparar escenarios antes y después de implementar estrategias urbanas, valorando su impacto sobre el Índice Universal de Confort Térmico (UTCI).

Los resultados se representan gráficamente para diferentes horarios (9:00 a. m., 12:00 m., 3:00 p. m.), evidenciando variaciones significativas en el confort térmico según los materiales empleados y la densidad vegetal del entorno.

A partir de esta configuración base se plantearon cuatro escenarios de simulación, diferenciados por los materiales utilizados en las zonas duras, teniendo en cuenta los resultados de los parques analizados y viendo el comportamiento térmico de los pavimentos asfálticos en los escenarios se propone una opción de materialidad diferente con el fin de comprobar el comportamiento térmico en conjunto con las otras características del parque.

Figura 138. *Planta Esquemática Escenarios.*

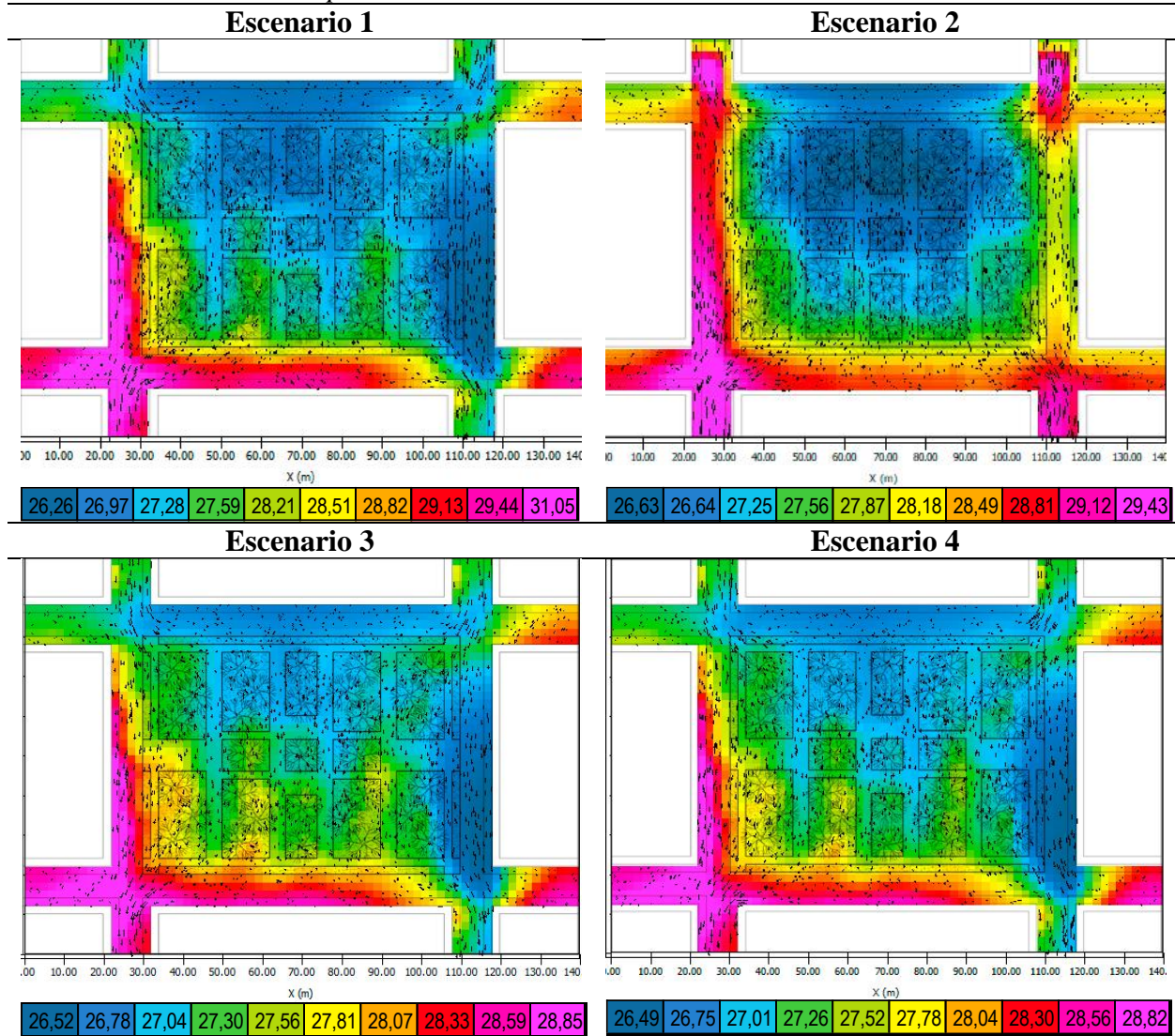
- Escenario 1: zonas duras en concreto y vías en pavimento asfáltico oscuro
- Escenario 2: zonas duras en piedra natural y vías en pavimento asfáltico oscuro
- Escenario 3: zonas duras en concreto y vías en pavimento frío (con alto albedo y emisividad)
- Escenario 4: zonas duras en piedra natural y vías en pavimento frío (con alto albedo y emisividad)

Estos escenarios permitirán comparar el desempeño térmico de los materiales convencionales frente a alternativas con mejor comportamiento térmico, aportando resultados sobre su potencial para mitigar el efecto isla de calor y mejorar el confort térmico en los parques.

8.2.1 Cálculo de parámetros ambientales

8.2.1.1 Simulación Temperatura del Aire.

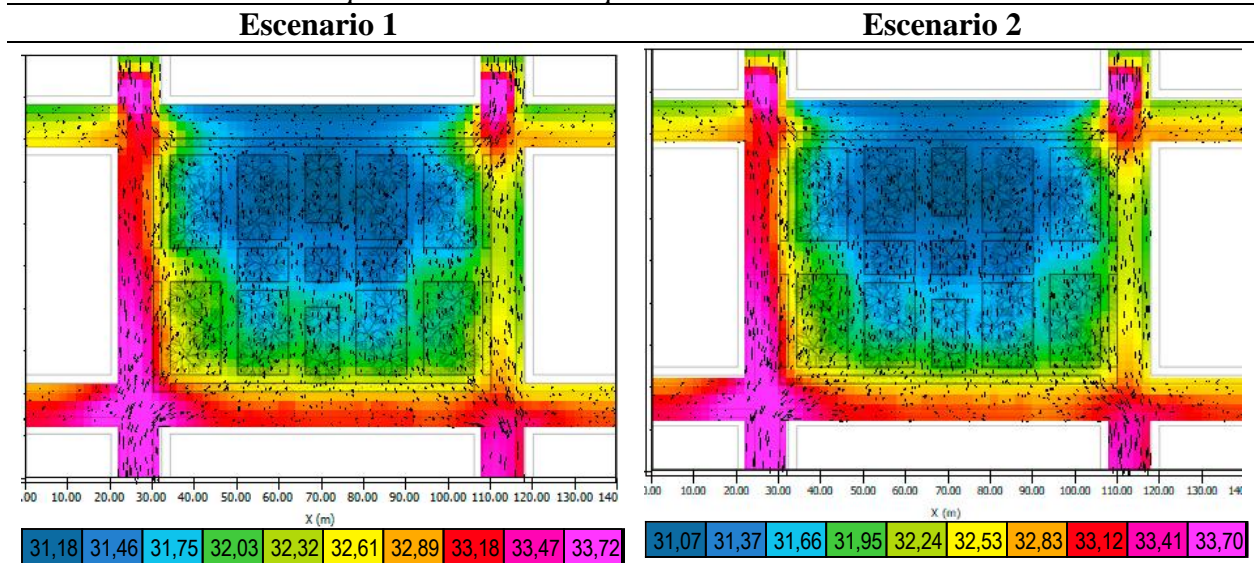
Tabla 10. Simulación Temperatura Aire 9:00am

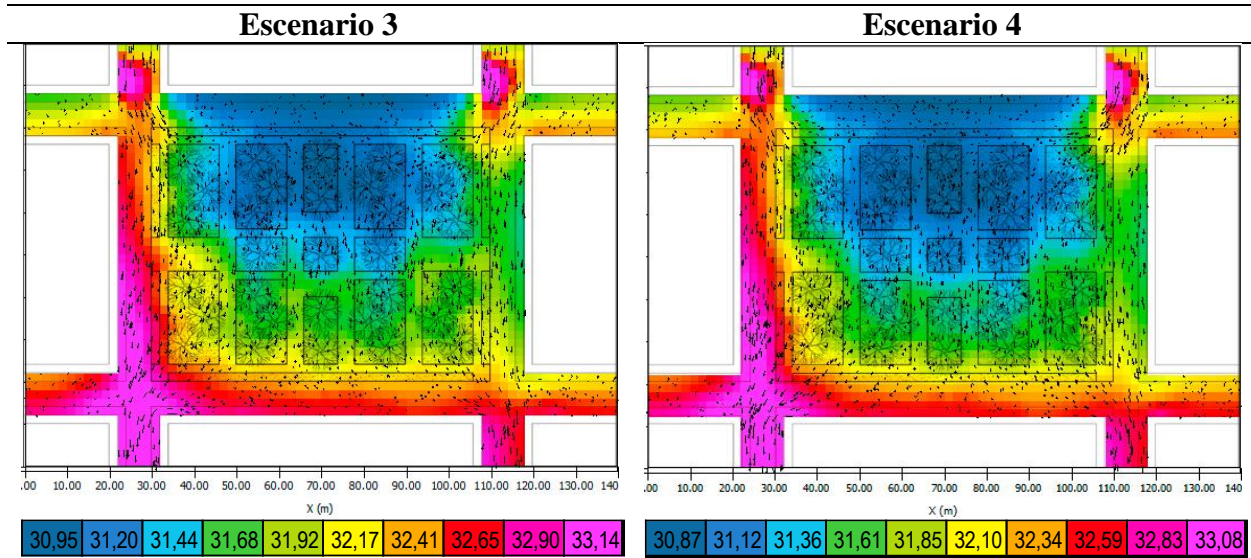


El comparativo de los escenarios planteados para la variable de temperatura del aire a las 9am nos permite observar el comportamiento térmico, en donde si bien en el escenario 1 entre la temperatura mínima y máxima hay una diferencia de 4.79°C sin embargo es el escenario donde la

mayor parte del parque tiene una temperatura entre los 26.26°C a 27.28°C. En el Escenario 2, con superficies duras en piedra natural, se evidencia un mayor calentamiento en la periferia del parque, influenciado principalmente por el efecto térmico de las vías asfaltadas adyacentes. Por su parte, los Escenarios 3 y 4 muestran un comportamiento térmico similar en la distribución de la temperatura, manteniéndose alrededor de los 27 °C en el interior del parque. No obstante, las temperaturas máximas continúan concentrándose en las vías, donde se registra una diferencia de 0.61 °C entre el pavimento asfáltico oscuro y el pavimento frío.

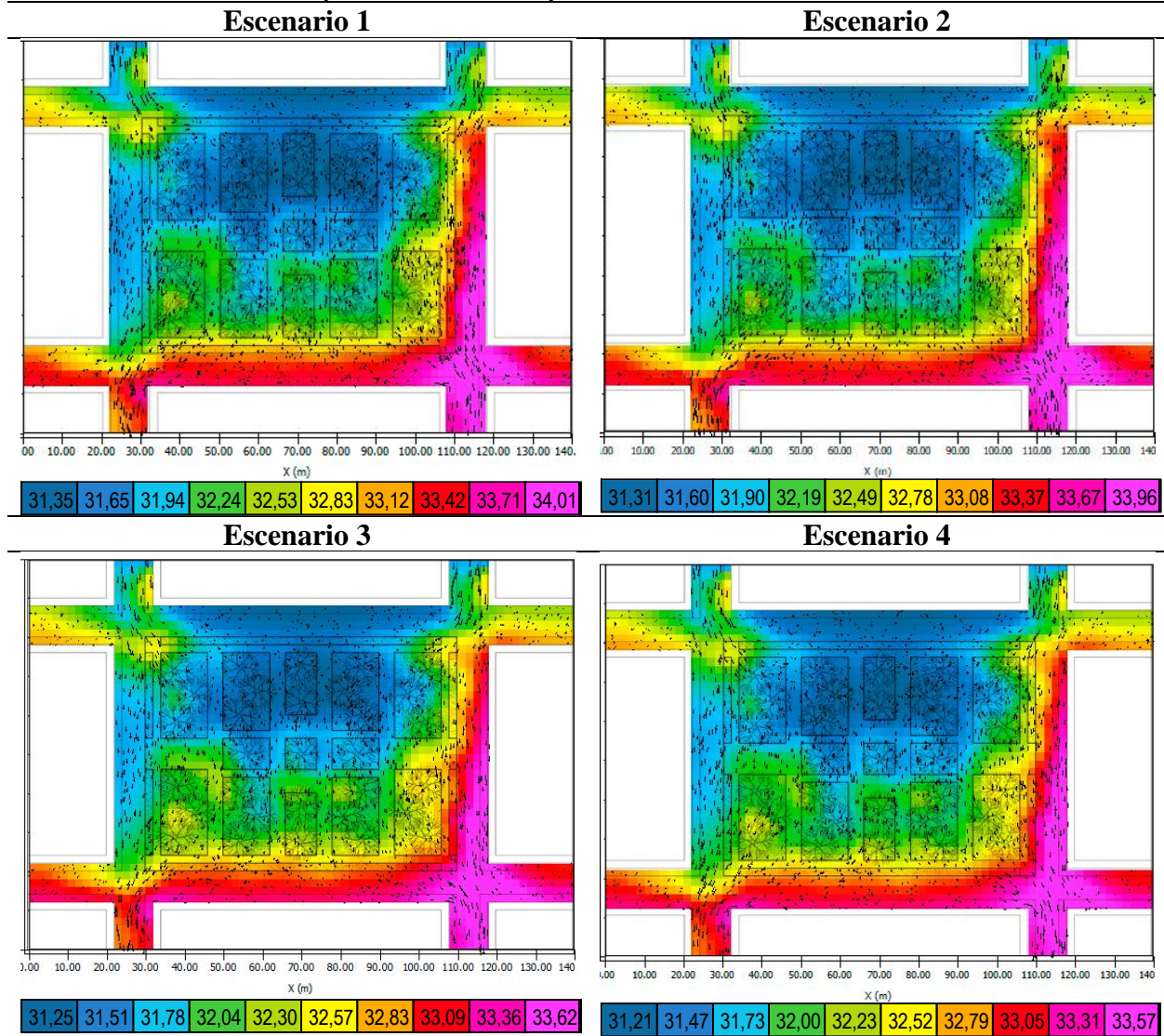
Tabla 11. Simulación Temperatura Aire 12:00pm.





El comparativo de temperatura del aire a las 12pm evidencia un comportamiento térmico similar en la forma en que el calor afecta la superficie del parque. Se observa una mínima diferencia entre los Escenarios 3 y 4, con una variación de 0.21 °C en las temperaturas mínimas, localizadas principalmente en la zona norte del parque, mientras que las temperaturas máximas presentan una diferencia de 0.62 °C, coincidiendo en puntos específicos de las vías. En todos los escenarios, la temperatura al interior del parque se mantiene entre 31 °C y 32 °C, lo que se asocia directamente con el efecto de sombreado generado por la presencia de los árboles propuestos, que contribuyen a moderar el calentamiento superficial en las horas de mayor radiación solar.

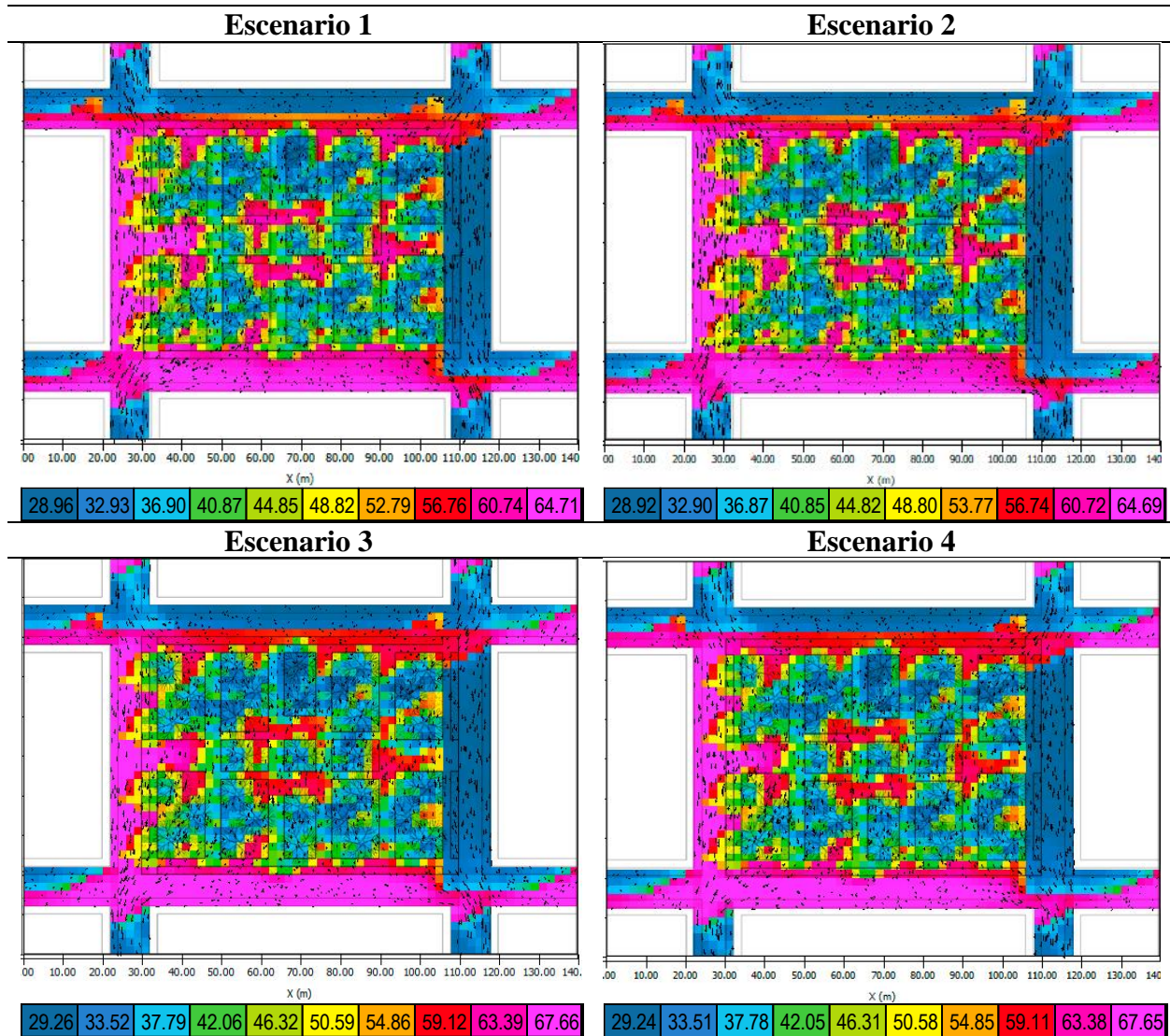
Tabla 12. Simulación Temperatura Aire 3:00pm.



La temperatura del aire a las 3pm observar el comportamiento térmico parecido al ocupado en las horas de la mañana. Si bien en el interior del parque la temperatura se mantiene relativamente estable para todos los escenarios, con valores entre 31 °C y 32 °C, la principal diferencia se presenta en las zonas correspondientes a las vías. En este punto, el asfalto oscuro utilizado en los Escenarios 1 y 2 registra temperaturas superiores en aproximadamente 0.39 °C con respecto a los Escenarios 3 y 4, que emplean pavimentos fríos.

8.2.1.2 Simulación Temperatura Radiante

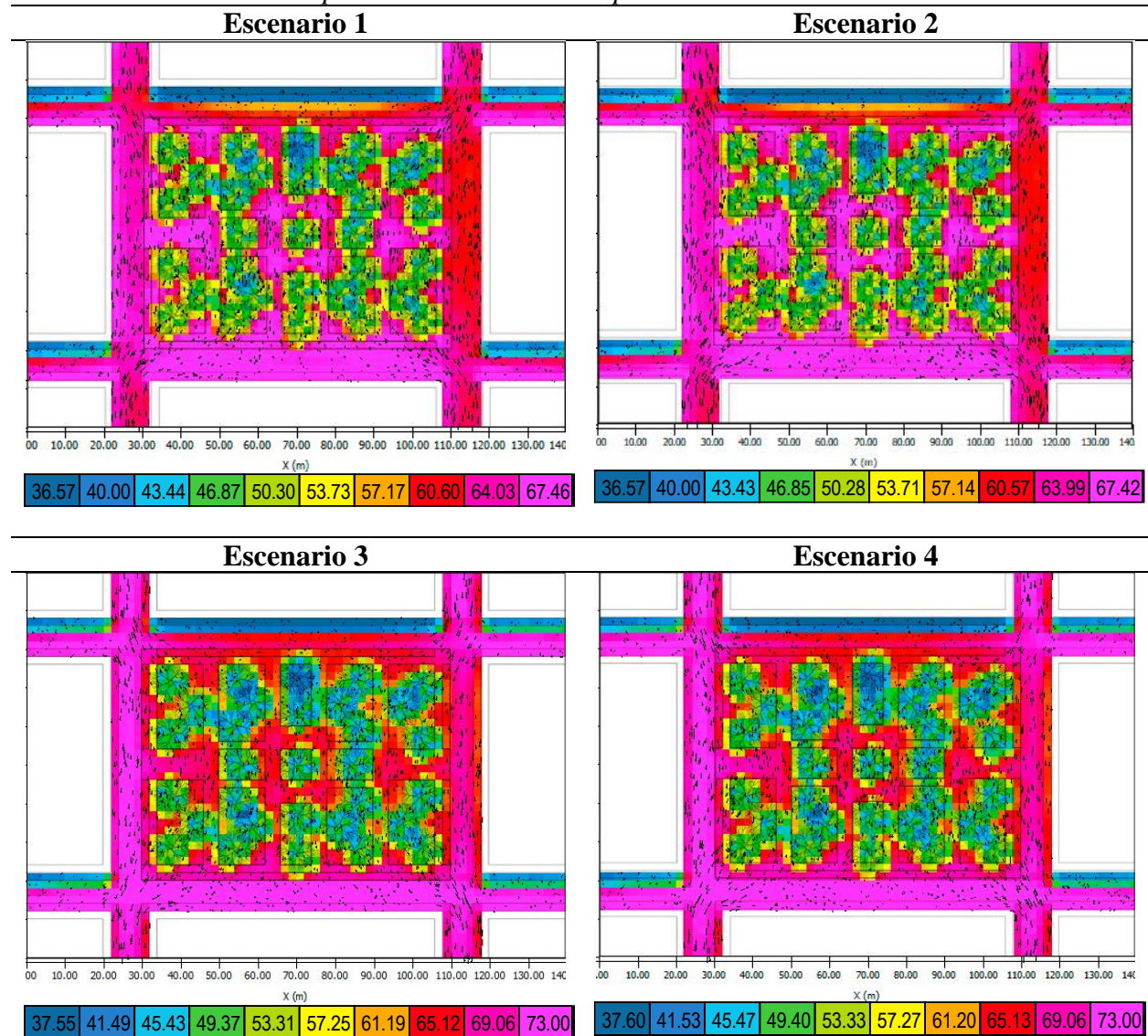
Tabla 13. Simulación Temperatura Radiante 9:00am



El análisis de la temperatura radiante a las 9am evidencia un comportamiento térmico inverso al observado en la temperatura del aire, ya que en esta variable los Escenarios 3 y 4 no presentan el mismo desempeño favorable. En todos los escenarios se destaca la eficiencia del sombreado generado por los árboles, con temperaturas radiantes en las zonas bajo copa que

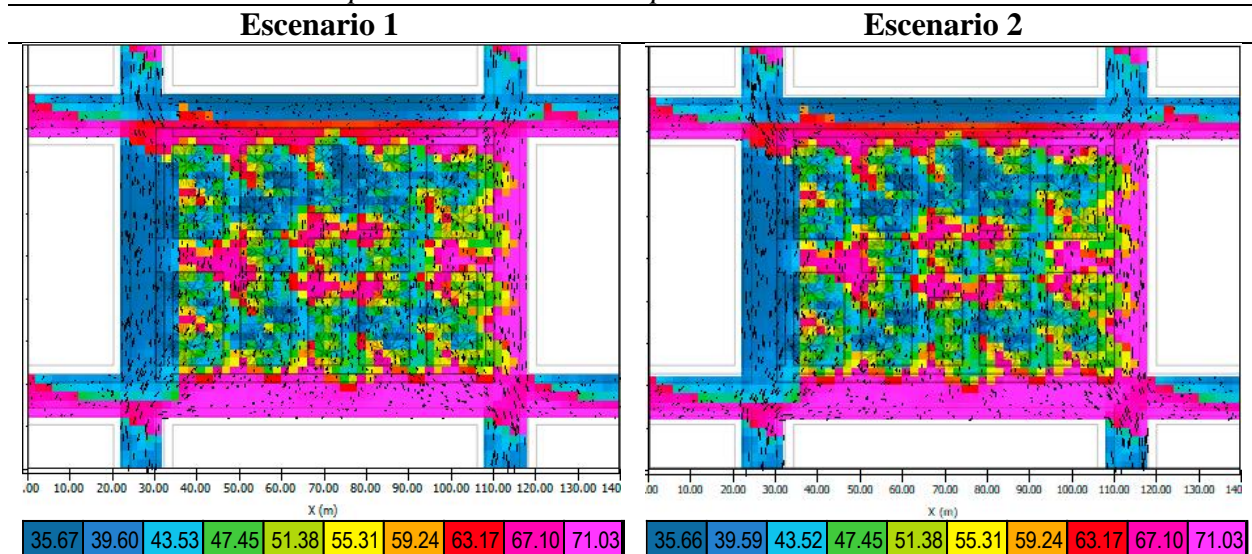
oscilan entre 33 °C y 37 °C. Sin embargo, en las zonas duras expuestas a la radiación solar directa, se observan diferencias importantes: en los Escenarios 1 y 2 las temperaturas radiantes varían entre 56 °C y 64 °C, mientras que en los Escenarios 3 y 4 alcanzan valores de 59 °C a 67 °C, con una diferencia aproximada de 3 °C. Este resultado está asociado a las propiedades térmicas de los pavimentos fríos, que presentan una mayor reflectancia, lo que incrementa la temperatura radiante en áreas cercanas y puede afectar el confort térmico de los usuarios en las zonas expuesta

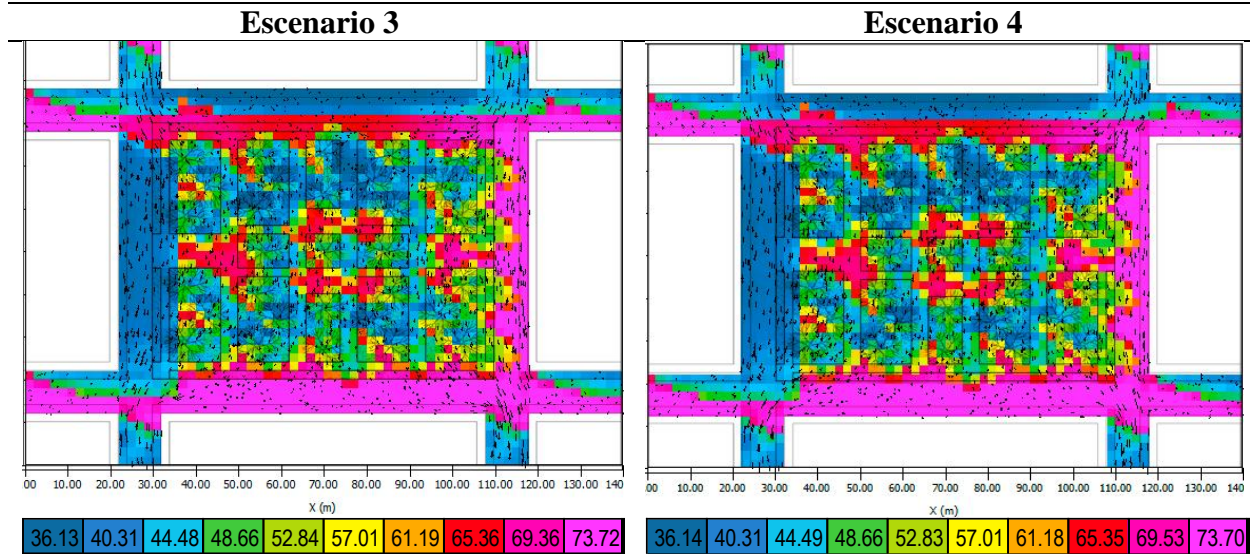
Tabla 14. Simulación Temperatura Radiante 12:00pm



La temperatura radiante a las 12pm muestra que, aunque el sombreado generado por la cobertura arbórea continúa siendo efectivo para atenuar la radiación, su área de influencia disminuye en comparación con las primeras horas de la mañana debido al aumento de la radiación solar. En los Escenarios 1 y 2, la temperatura radiante en las zonas duras y vías asfaltadas supera en su mayoría los 67 °C, evidenciando un comportamiento térmico crítico en las superficies expuestas. En contraste, en los Escenarios 3 y 4, se registra una diferencia superior a 8 °C entre las zonas duras y las vías, alcanzando valores al interior del parque de aproximadamente 65 °C, lo que representa una reducción cercana a 2 °C respecto a los escenarios con pavimento asfáltico oscuro. Este comportamiento confirma el efecto positivo de los materiales con alto albedo y emisividad, los cuales contribuyen a mitigar parcialmente la ganancia térmica superficial durante las horas de mayor carga solar.

Tabla 15. Simulación Temperatura Radiante 3:00pm.

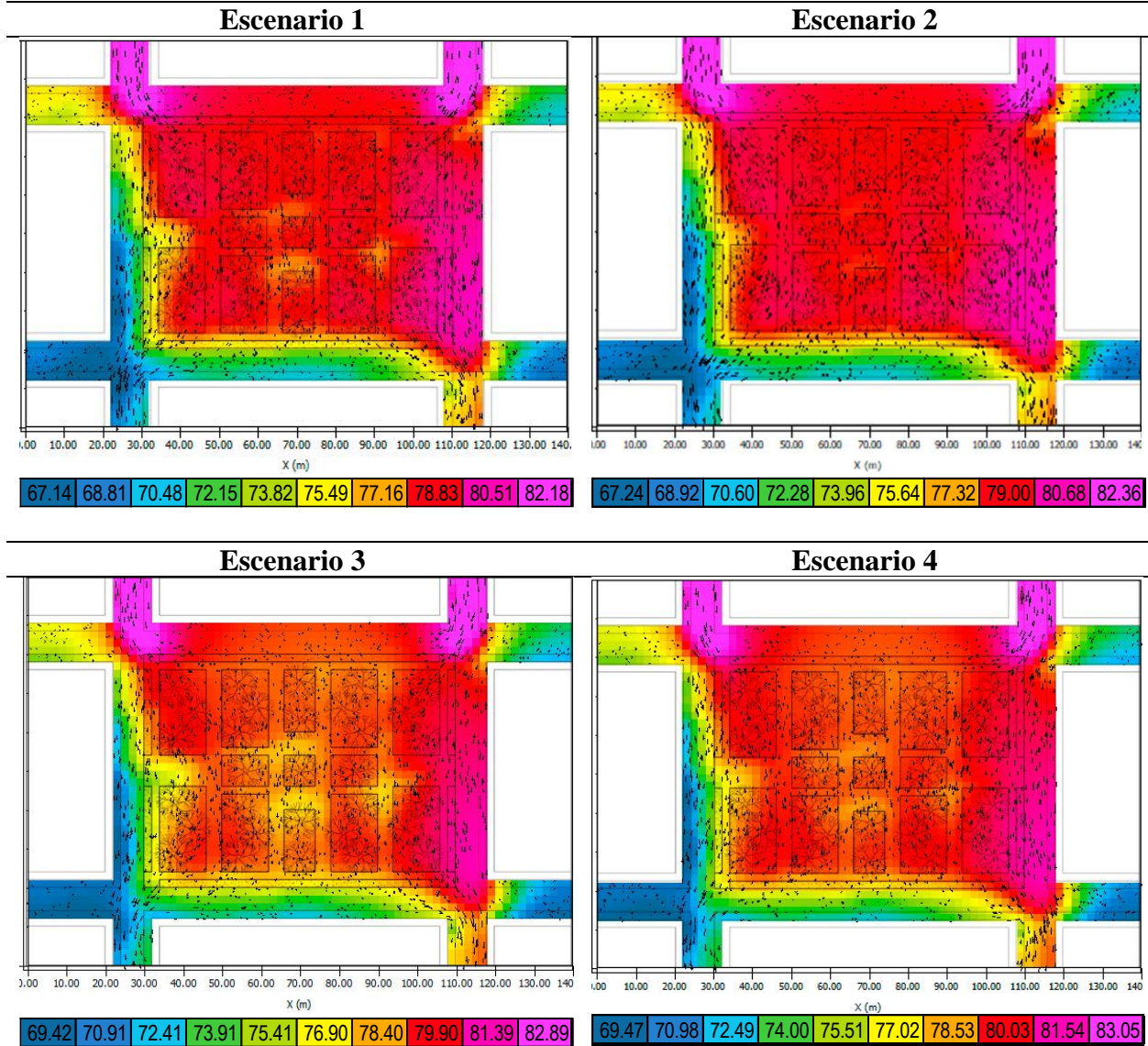




La temperatura radiante a las 3pm evidencia una disminución térmica parcial en las áreas sombreadas del parque, influenciada principalmente por la proyección de sombra de la arborización y de las edificaciones circundantes. Sin embargo, en los Escenarios 1 y 2 se observa un aumento de aproximadamente 3 °C en comparación con los valores registrados al mediodía, alcanzando temperaturas cercanas a 71 °C en las zonas duras expuestas y vías asfaltadas, lo que indica un efecto acumulativo de la radiación solar en materiales de baja reflectancia. En contraste, los Escenarios 3 y 4 mantienen temperaturas más estables, con valores cercanos a 65 °C al interior del parque donde el sombreado es predominante y alrededor de 73 °C en las áreas más expuestas, ubicadas principalmente en el costado sureste, que coincide con el sector que recibe mayor radiación solar en este horario. Este comportamiento reafirma el efecto atenuante de los materiales con alto albedo y emisividad frente a pavimentos convencionales, especialmente durante las horas de máxima carga térmica.

8.2.1.3 Simulación Humedad Relativa.

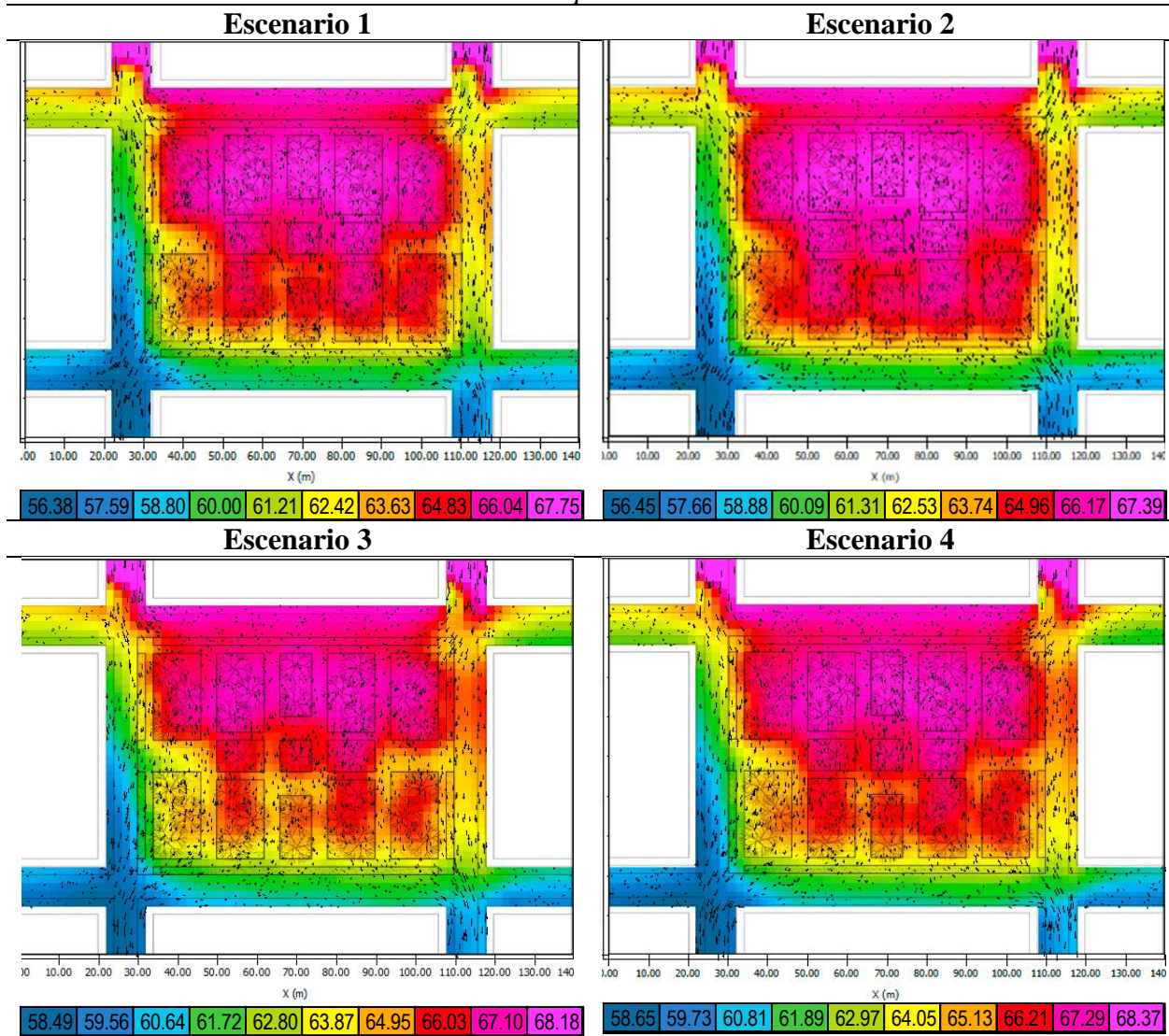
Tabla 16. Simulación Humedad Relativa 9:00am



El comportamiento de la variable de humedad relativa a las 9am presenta una distribución similar en los cuatro escenarios analizados, evidenciando que, en las primeras horas del día, las condiciones microclimáticas aún no muestran contrastes térmicos significativos. Sin embargo, se observa una mayor homogeneidad y niveles ligeramente superiores de humedad relativa en los

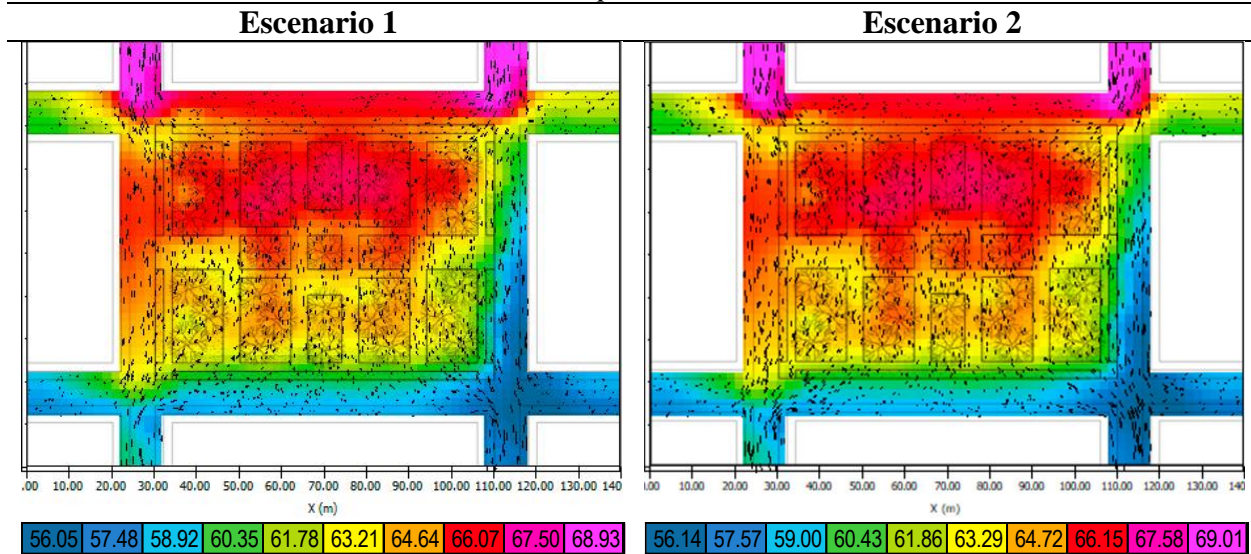
Escenarios 2 y 4, donde las zonas duras están compuestas por piedra natural, material que retiene menor cantidad de calor y permite una evaporación más uniforme. En contraste, en los Escenarios 1 y 3, que utilizan concreto, se identifican zonas puntuales con descensos de humedad de hasta un 4 %, lo cual está asociado al mayor calentamiento superficial temprano de este material y a su menor capacidad de regulación hídrica

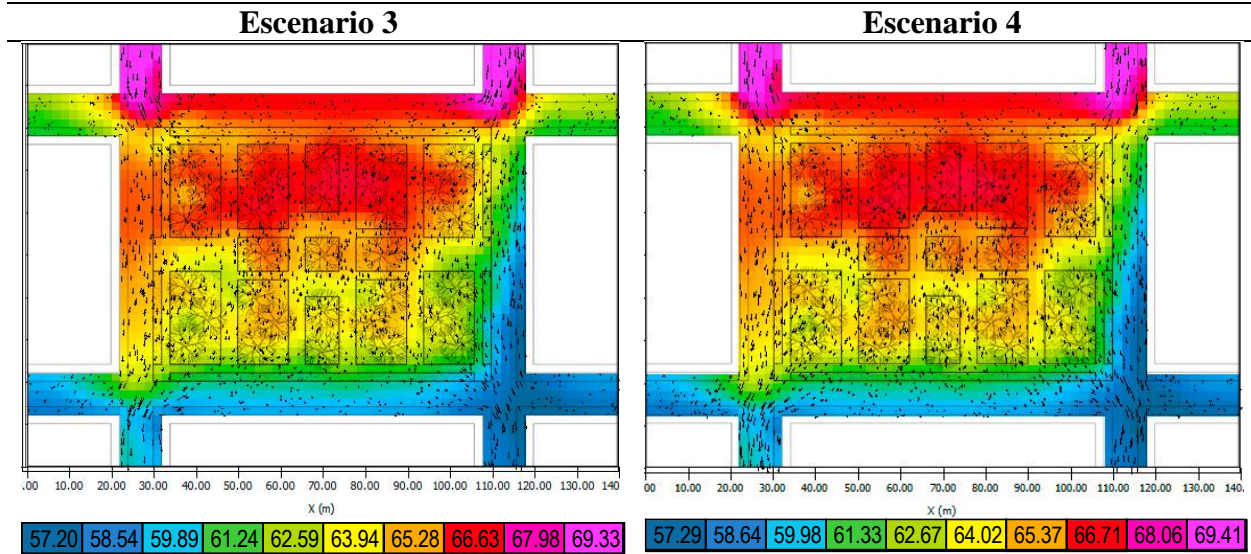
Tabla 17. Simulación Humedad Relativa 12:00pm.



La humedad relativa a las 12pm acentúa la distribución diferenciada observada en las primeras horas del día, evidenciando con mayor claridad el efecto de los materiales sobre la retención y liberación de humedad en el entorno. Los Escenarios 2 y 4, en los que predominan las zonas duras en piedra natural, continúan presentando mayores niveles y una distribución más homogénea de humedad, con diferencias puntuales de apenas un 2 % entre sectores del parque. Por el contrario, en los Escenarios 1 y 3, donde se utiliza concreto, se observa una reducción significativa en las zonas con mayor humedad relativa, lo que genera un gradiente más marcado de hasta un 3 % entre las áreas húmedas y secas.

Tabla 18. Simulación Humedad Relativa 3:00pm.

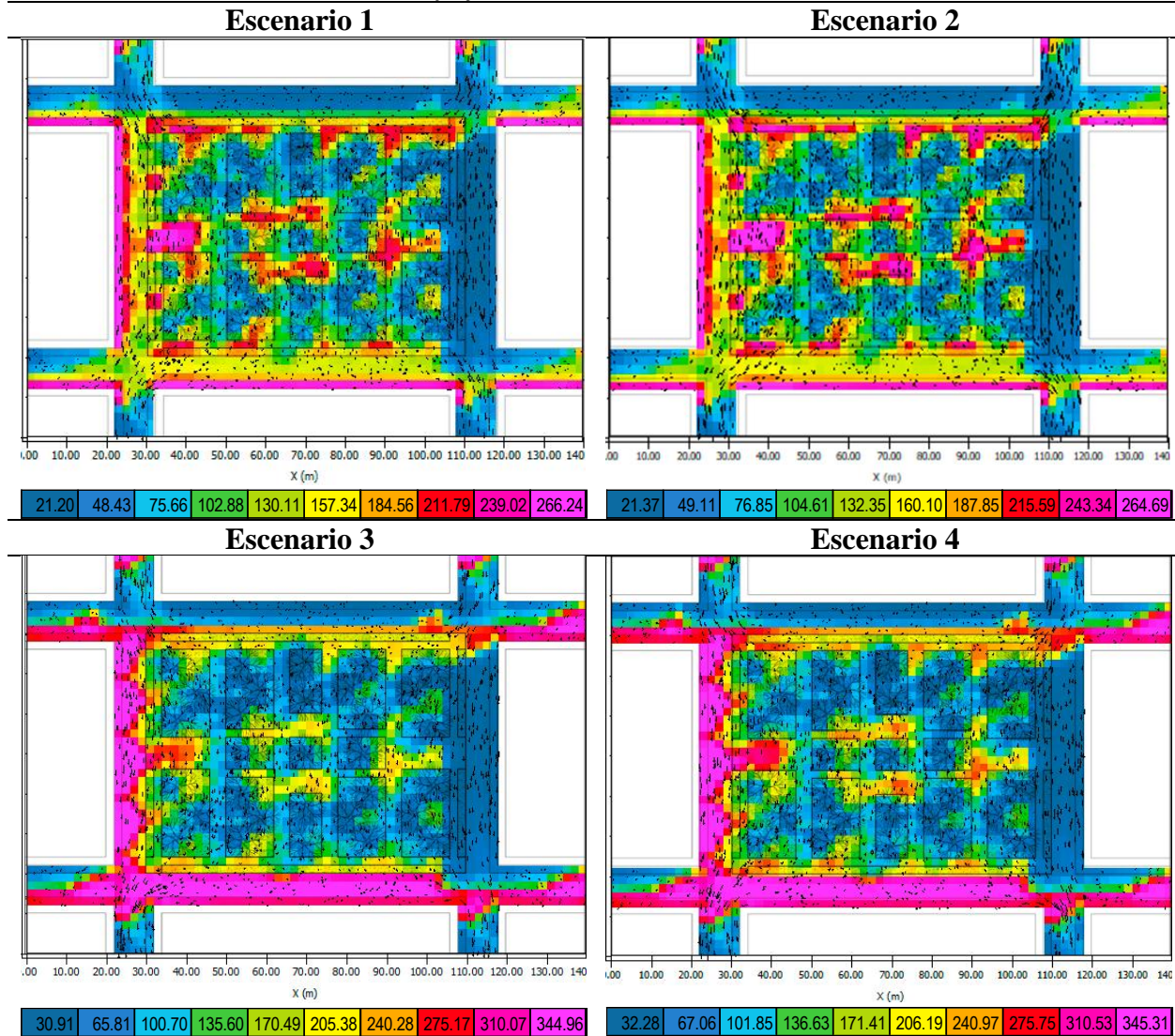




La humedad relativa a las 3pm evidencia un comportamiento homogéneo entre los cuatro escenarios analizados, Las zonas con mayor humedad alcanzan valores cercanos al 66 %, mientras que las áreas más secas registran alrededor del 63 %, generando una diferencia máxima de apenas 3 puntos porcentuales. Este comportamiento sugiere que, a pesar de las diferencias materiales entre los escenarios, la interacción entre la cobertura vegetal, la evapotranspiración y el sombreado logra amortiguar las variaciones microclimáticas. Además, se resalta que los valores de humedad relativa se mantienen constantes respecto a las mediciones del mediodía, lo que indica que la dinámica hídrica del parque tiende a estabilizarse en horas de la tarde.

8.2.1.4 Simulación Radiación Reflejada.

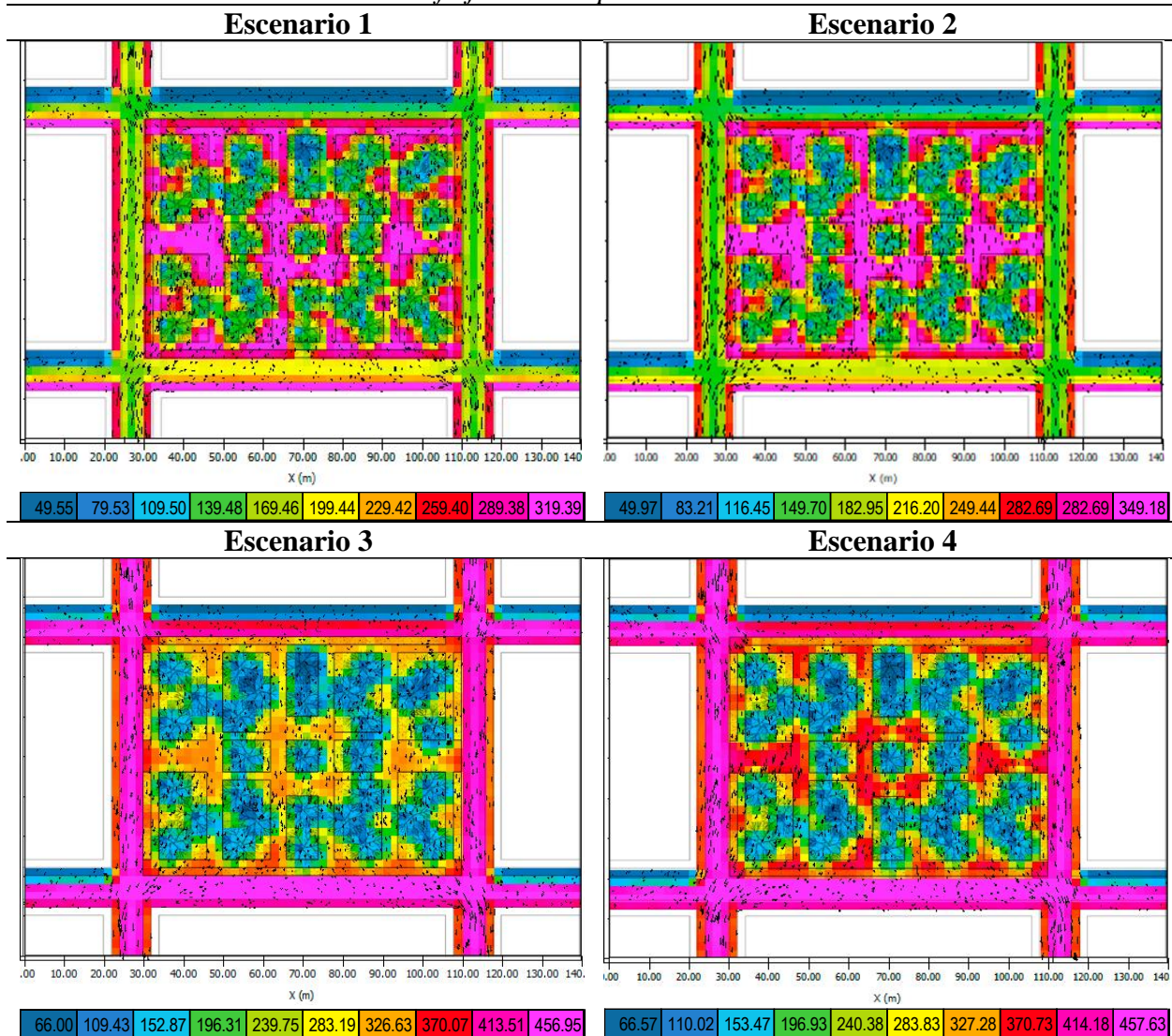
Tabla 19. Simulación Radiación Reflejada 9:00am.



El comportamiento de la variable de radiación reflejada a las 9am evidencia diferencias significativas entre los escenarios analizados. En los escenarios 1 y 2, la radiación reflejada es en promedio 80.62 W/m^2 menor en comparación con los escenarios 3 y 4. En todos los casos, las vías perimetrales constituyen las zonas con mayor concentración de radiación reflejada, alcanzando valores entre 266.24 W/m^2 y 344.96 W/m^2 , lo que evidencia su alta capacidad para reflejar la

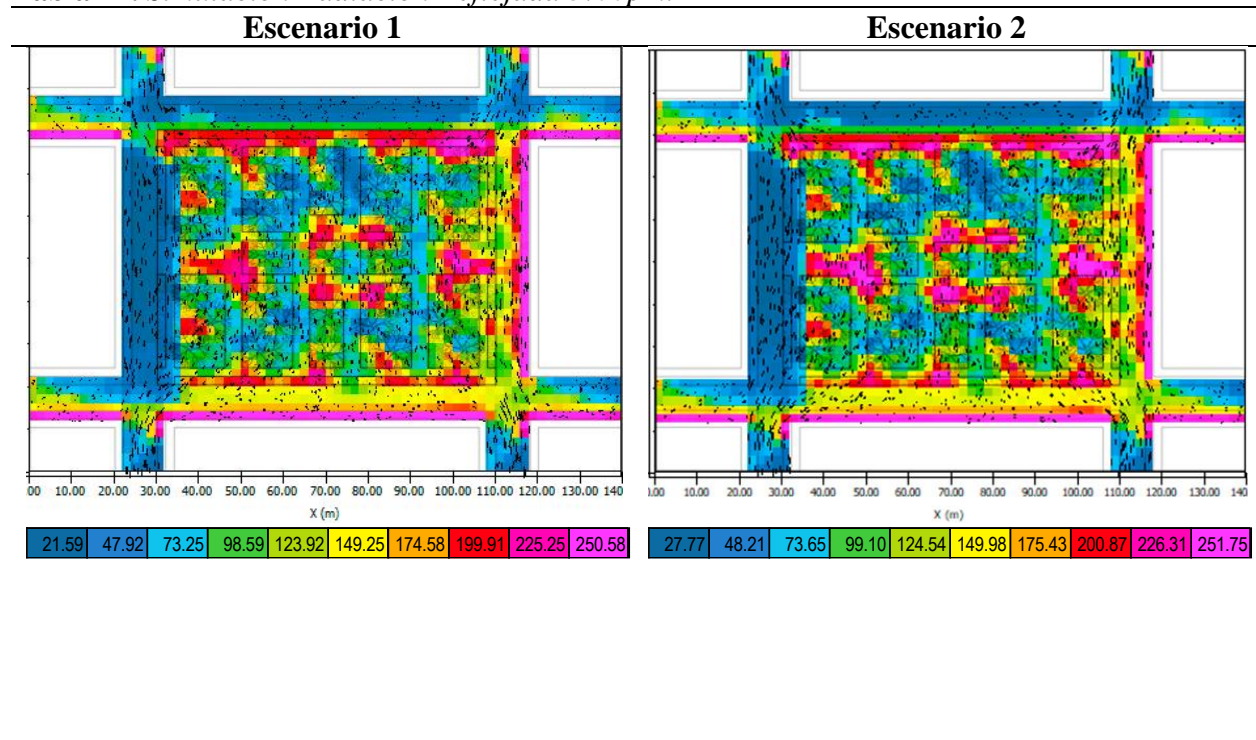
radiación incidente. En el interior del parque, los escenarios 1 y 2 presentan valores superiores a 210 W/m², mientras que en los escenarios 3 y 4 las áreas con menor radiación abarcan una mayor extensión, lo que contribuye a una distribución más homogénea y a valores máximos de radiación reflejada cercanos a 206 W/m². Esto sugiere que los materiales empleados en estos escenarios permiten reducir los puntos críticos de radiación.

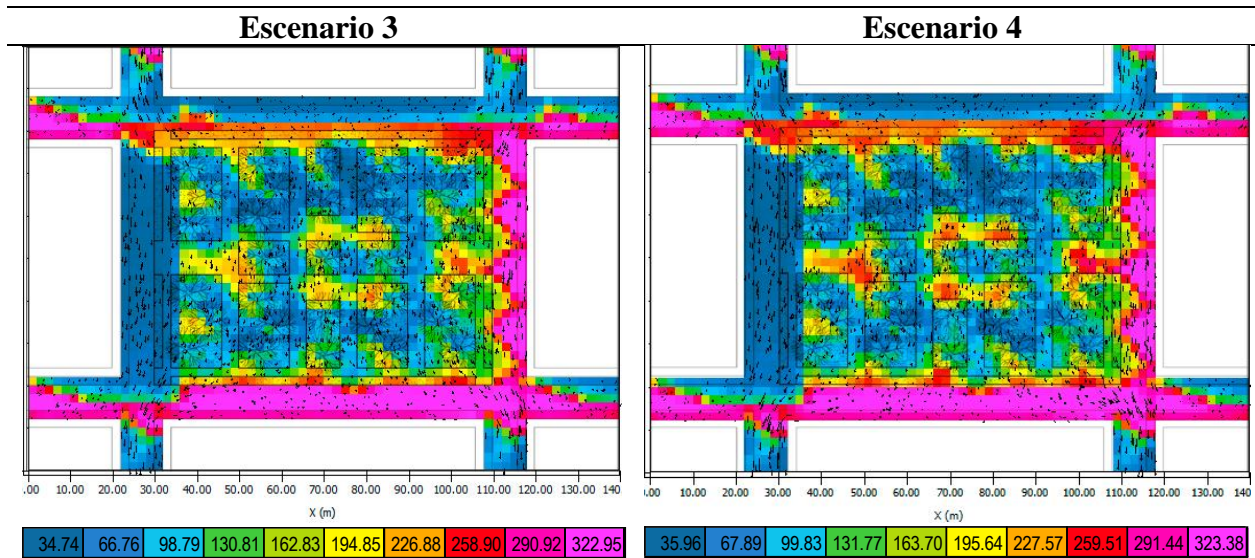
Tabla 20. Simulación Radiación Reflejada 12:00pm.



El comportamiento de la radiación reflejada a las 12pm evidencia una diferencia significativa entre los escenarios con distintos tipos de asfalto. En los escenarios 1 y 2, que cuentan con asfalto oscuro, los valores de radiación reflejada se sitúan entre 169.46 W/m² y 182.95 W/m², respectivamente. En contraste, en los escenarios 3 y 4, que incorporan asfaltos fríos con mayor albedo, la radiación reflejada alcanza valores cercanos a 457 W/m², lo que representa una diferencia aproximada de 275 W/m². En el interior del parque, el comportamiento es distinto, ya que la brecha entre escenarios se reduce considerablemente. Los escenarios 1 y 2 presentan valores de radiación reflejada entre 319.39 W/m² y 349.18 W/m², mientras que los escenarios 3 y 4 registran valores entre 326.63 W/m² y 370.73 W/m², con una diferencia promedio de 21.55 W/m². Este patrón sugiere que, aunque el tipo de asfalto influye de forma determinante en las vías y superficies duras expuestas, al interior del parque la vegetación y el sombreado contribuyen a estabilizar la radiación reflejada, reduciendo las diferencias entre escenarios.

Tabla 21. Simulación Radiación Reflejada 3:00pm.



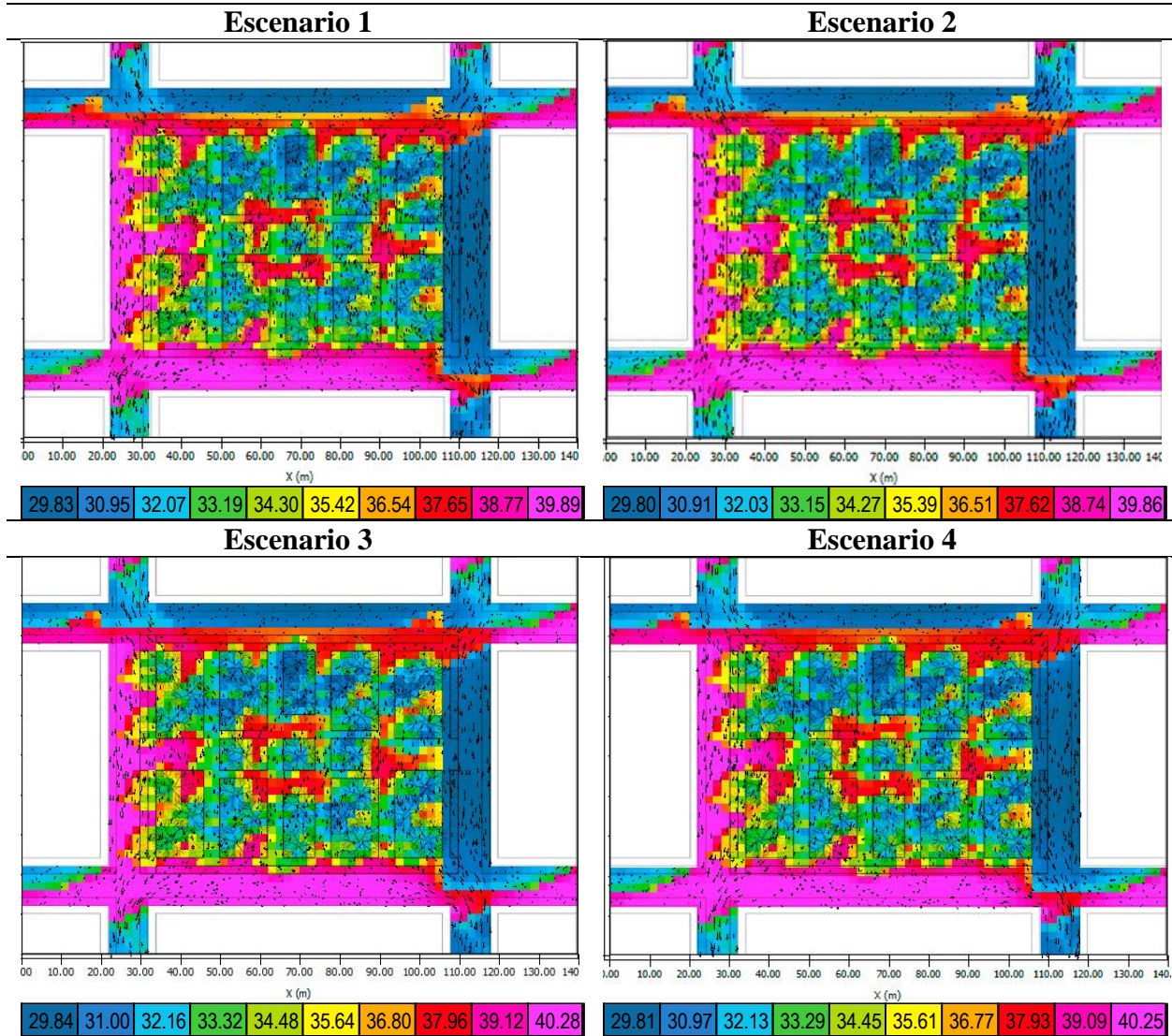


La radiación reflejada a las 3pm evidencia un comportamiento similar al observado en las horas de la mañana, en el que los escenarios 1 y 2 presentan, en promedio, 75.63 W/m² menos radiación reflejada en comparación con los escenarios 3 y 4. A esta hora, las vías de los escenarios 3 y 4 mantienen valores elevados de radiación, superiores a 229 W/m², mientras que en los escenarios 1 y 2 la radiación reflejada se encuentra alrededor de 149 W/m². Al igual que en las horas anteriores, esta brecha se reduce al interior del parque, donde el sombreado generado por la vegetación atenúa la radiación. Es así como, los escenarios 1 y 2 alcanzan valores máximos de 226 W/m², mientras que los escenarios 3 y 4 registran valores de hasta 259 W/m², lo que representa una diferencia de aproximadamente 33 W/m². Este patrón confirma que, aunque el tipo de superficie influye en las zonas expuestas, la presencia de vegetación y cobertura arbórea modula la radiación reflejada, generando condiciones térmicas más estables en el interior del parque.

8.2.2 Cálculo de evaluación del confort térmico

8.2.2.1 Simulación Índice UTCI.

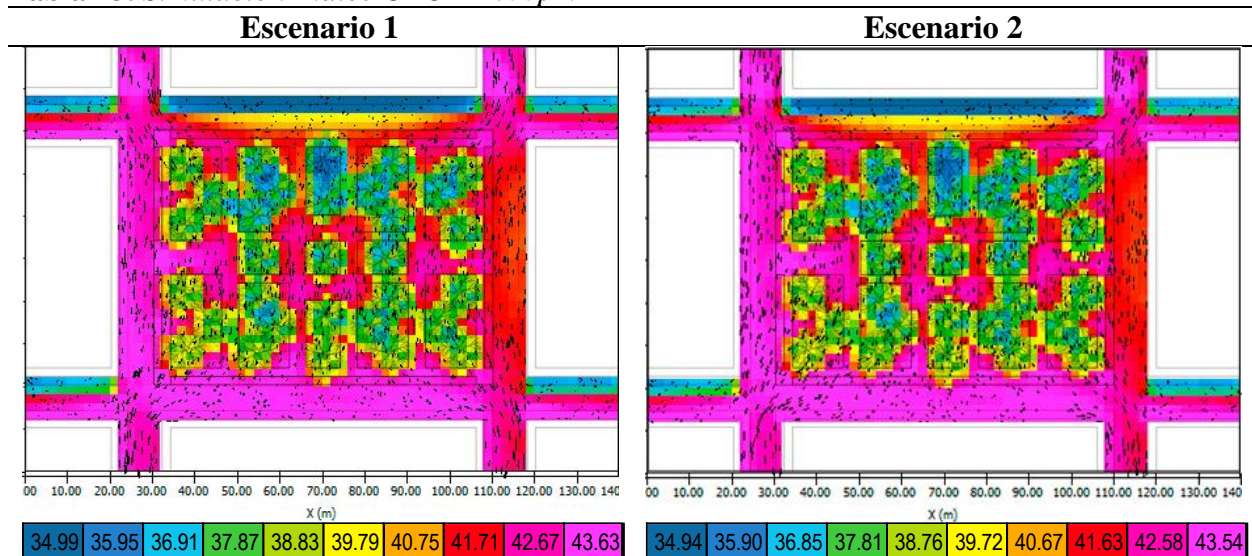
Tabla 22. Simulación Índice UTCI 9:00am

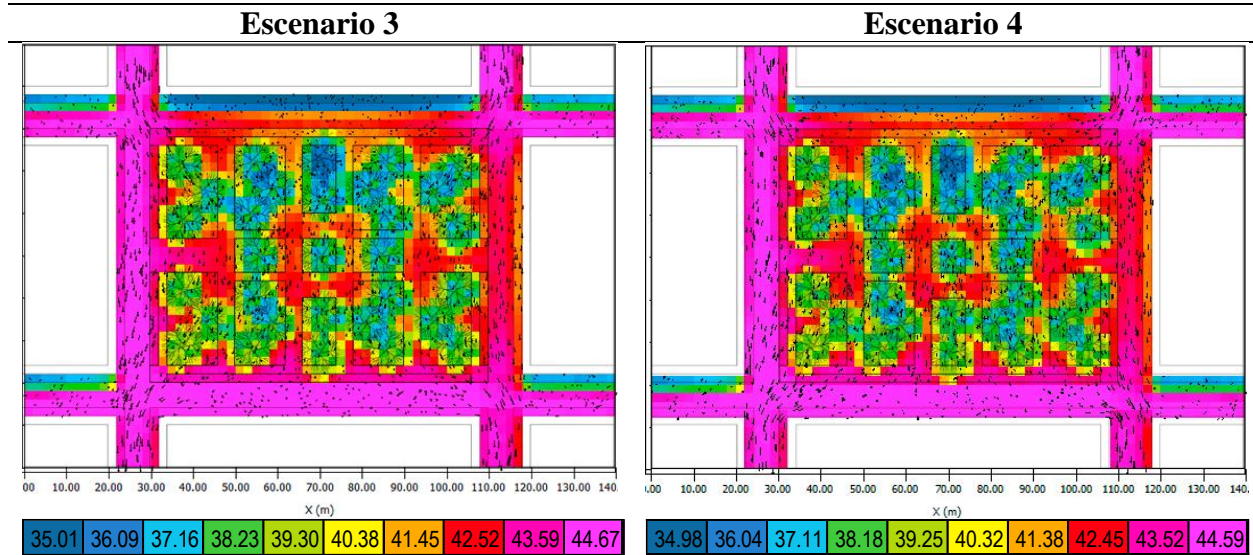


Por último, se presentan los resultados obtenidos para el Índice Universal de Confort Térmico (UTCI) a las 9:00 a. m., donde se evidencia un comportamiento similar en los cuatro escenarios en cuanto a los valores máximos alcanzados, que oscilan entre 39 °C y 40 °C. Los

mayores valores se registran en los escenarios 3 y 4. De acuerdo con la escala de clasificación del UTCI, estos valores corresponden a la categoría de “*calor muy fuerte*” y se localizan principalmente en las vías del costado suroeste del parque, las cuales reciben una mayor incidencia solar temprana. En contraste, las vías orientadas hacia el noreste presentan temperaturas cercanas a 29 °C, ubicándose dentro del rango de “*calor moderado*”; esta misma condición térmica se observa en las zonas internas del parque que se encuentran protegidas por la sombra de los árboles. Finalmente, en el interior del parque, el confort térmico mantiene temperaturas relativamente homogéneas, entre 34 °C y 37 °C, correspondientes a la categoría de “*calor fuerte*”, lo que evidencia el efecto atenuante de la cobertura vegetal frente a la radiación solar directa.

Tabla 23. Simulación Índice UTCI 12:00pm

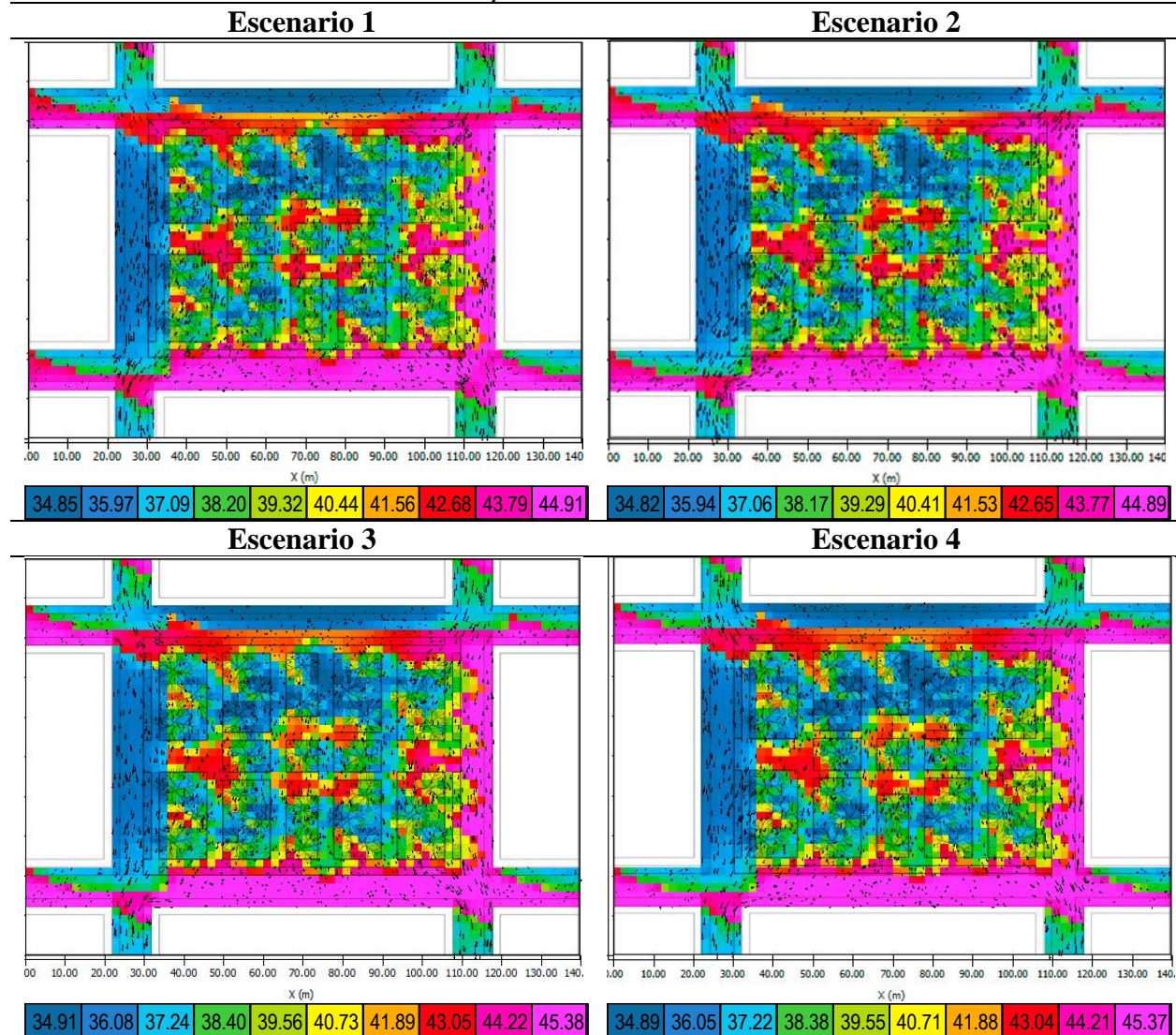




Para del resultado de UTCI a las 12pm se evidencia un comportamiento similar al observado en las horas de la mañana en los cuatro escenarios, con valores máximos que oscilan entre 43 °C y 44 °C, siendo más elevados en los escenarios 3 y 4. Considerando el ángulo solar característico de este momento del día, las vías perimetrales del parque presentan las temperaturas más altas, lo que se asocia a la mayor exposición a la radiación solar directa.

En contraste, el comportamiento térmico al interior del parque muestra diferencias moderadas entre escenarios: en los escenarios 1 y 2, los valores se encuentran entre 41.73 °C y 43.63 °C, mientras que en los escenarios 3 y 4 el rango se sitúa alrededor de 42.5 °C. Con base en estos resultados, se establece que la escala de confort térmico del parque para esta hora corresponde a la categoría de “*calor muy fuerte*”, lo que evidencia la intensificación térmica al mediodía y la limitada capacidad de mitigación frente a la radiación incidente.

Tabla 24. Simulación Índice UTCI 3:00pm



Por último, en los resultados de UTCI a las 3:00 p. m. se evidencia un comportamiento inverso al observado en las horas de la mañana, destacando que los valores máximos se registran en las vías orientadas hacia el costado sureste del parque. En esta zona, los cuatro escenarios presentan valores que oscilan entre 43 °C y 45 °C, lo que corresponde a la escala de confort “*calor muy fuerte*”. En contraste, las vías ubicadas en el costado noroeste alcanzan valores mínimos entre 34 °C y 36 °C, clasificados dentro de la escala de “*calor moderado*”. Este mismo rango térmico

también se evidencia al interior del parque, especialmente en las zonas protegidas por la sombra de los árboles, lo que confirma la relevancia del arbolado en la mitigación térmica. Finalmente, las áreas duras del parque presentan un comportamiento térmico similar al observado al mediodía, con temperaturas entre 42 °C y 43 °C en los cuatro escenarios, lo que reafirma su mayor susceptibilidad a la radiación solar directa en comparación con las zonas verdes.

8.3 Análisis comparativo de resultados

El presente análisis comparativo se realiza a partir de los valores promedio obtenidos en el análisis térmico de los parques del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), establecidos como Base de Análisis, y los resultados de los cuatro escenarios propuestos en el modelo esquemático. Esta comparación tiene como objetivo evaluar las variaciones térmicas generadas por la incorporación de diferentes materiales, coberturas vegetales y configuraciones espaciales, con el fin de identificar su incidencia en el confort térmico y en la mitigación del efecto de isla de calor urbana (ICU). A partir de este ejercicio se busca obtener conclusiones integrales sobre el desempeño térmico de las alternativas aplicadas frente a las condiciones actuales observadas en los parques analizados.

Figura 139. *Resumen Datos Simulación Temperatura del Aire.*

TEMPERATURA AIRE 9:00AM	BASE ANALISIS	26.91	27.23	27.53	27.85	28.17	28.48	28.80	29.12	29.43	29.75
	ESCENARIO 1	26.66	26.97	27.28	27.59	27.90	28.21	28.51	28.82	29.13	29.44
	ESCENARIO 2	26.63	26.64	27.25	27.56	27.87	28.18	28.49	28.81	29.12	29.43
	ESCENARIO 3	26.52	26.78	27.04	27.30	27.56	27.81	28.07	28.33	28.59	28.85
	ESCENARIO 4	26.49	26.75	27.01	27.26	27.52	27.78	28.04	28.30	28.56	28.82
TEMPERATURA AIRE 12:00PM	BASE ANALISIS	31.76	32.08	32.40	32.71	33.03	33.35	33.66	33.98	34.30	34.61
	ESCENARIO 1	31.18	31.46	31.75	32.03	32.32	32.61	32.89	33.18	33.47	33.75
	ESCENARIO 2	31.07	31.37	31.66	31.95	32.24	32.53	32.83	33.12	33.41	33.70
	ESCENARIO 3	30.95	31.20	31.44	31.68	31.92	32.17	32.41	32.65	32.90	33.14
	ESCENARIO 4	30.87	31.12	31.36	31.61	31.85	32.10	32.34	32.59	32.83	33.08
TEMPERATURA AIRE 15:00PM	BASE ANALISIS	31.96	32.29	32.62	32.94	33.27	33.59	33.92	34.25	34.58	34.90
	ESCENARIO 1	31.35	31.65	31.94	32.24	32.53	32.83	33.12	33.42	33.71	34.01
	ESCENARIO 2	31.31	31.60	31.90	32.19	32.49	32.78	33.08	33.37	33.67	33.96
	ESCENARIO 3	31.25	31.51	31.78	32.04	32.30	32.57	32.83	33.09	33.36	33.62
	ESCENARIO 4	31.21	31.47	31.73	32.00	32.23	32.52	32.79	33.05	33.31	33.57

Los resultados comparativos permiten establecer indicadores de mejora microclimática derivados de los escenarios simulados. En la temperatura del aire en la *Figura 139* la Base de Análisis registra los valores más elevados en todos los horarios evaluados. Durante la mañana, la

diferencia entre la Base y el escenario con menor temperatura (Escenario 4) es de 0.93 °C; al mediodía, esta brecha se amplía a 1.53 °C, reflejando una mayor acumulación de calor en las condiciones actuales; finalmente, en la tarde, la diferencia se reduce ligeramente a 1.33 °C, manteniendo la Base temperaturas superiores a las alternativas simuladas.

Figura 140. *Resumen Datos Temperatura Radiante*

TEMPERATURA RADIANTE 9:00AM	BASE ANALISIS	30.71	34.89	39.06	43.23	47.40	51.58	55.75	59.92	64.09	68.27
	ESCENARIO 1	28.96	32.93	36.90	40.87	44.85	48.82	52.79	56.76	60.74	64.71
	ESCENARIO 2	28.92	32.90	36.87	40.85	44.82	48.80	53.77	56.74	60.72	64.69
	ESCENARIO 3	29.26	33.52	37.79	42.06	46.32	50.59	54.86	59.12	63.39	67.66
	ESCENARIO 4	29.24	33.51	37.78	42.05	46.31	50.58	54.85	59.11	63.38	67.65
TEMPERATURA RADIANTE 12:00PM	BASE ANALISIS	42.14	45.28	48.43	51.56	54.71	57.85	60.99	64.13	67.27	70.33
	ESCENARIO 1	36.57	40.00	43.44	46.87	50.30	53.73	57.17	60.60	64.03	67.46
	ESCENARIO 2	36.57	40.00	43.43	46.85	50.28	53.71	57.14	60.57	63.99	67.42
	ESCENARIO 3	37.55	41.49	45.43	49.37	53.31	57.25	61.19	65.12	69.06	73.00
	ESCENARIO 4	37.60	41.53	45.47	49.40	53.33	57.27	61.20	65.13	69.06	73.00
TEMPERATURA RADIANTE 15:00PM	BASE ANALISIS	39.18	43.11	47.03	50.95	54.88	58.80	62.72	66.65	70.57	74.50
	ESCENARIO 1	35.67	39.60	43.53	47.45	51.38	55.31	59.24	63.17	67.10	71.03
	ESCENARIO 2	35.66	39.59	43.52	47.45	51.38	55.31	59.24	63.17	67.10	71.03
	ESCENARIO 3	36.13	40.31	44.48	48.66	52.84	57.01	61.19	65.36	69.36	73.72
	ESCENARIO 4	36.14	40.31	44.49	48.66	52.83	57.01	61.18	65.35	69.53	73.70

El la *Figura 140* se presentan los resultados comparativos de temperatura radiante, evidenciándose un comportamiento similar al observado en la temperatura del aire. Los valores correspondientes a la Base registran las temperaturas más elevadas en las horas de la mañana y la tarde. Durante la mañana, la diferencia entre la Base y el escenario con menor temperatura radiante (Escenario 2) es de 3.58 °C. Al mediodía, los valores más altos se registran en los Escenarios 3 y 4, donde la alternativa de material para las vías corresponde a asfalto frío, lo que genera un incremento en la radiación reflejada y, en consecuencia, una mayor temperatura radiante. En este horario, la Base presenta los valores más bajos, con una brecha térmica de 2.67 °C respecto a los

escenarios más cálidos. Finalmente, en la tarde, la temperatura radiante de la Base vuelve a ser superior a la de los demás escenarios, aunque la diferencia se reduce ligeramente a 0.8 °C.

Figura 141. *Resumen Datos Simulación Humedad Relativa*

HUMEDAD RELATIVA 9:00AM	BASE ANALISIS	67.03	34.89	39.06	43.23	47.40	51.58	55.75	59.92	64.09	68.27
	ESCENARIO 1	67.14	68.81	70.48	72.15	73.82	75.49	77.16	78.83	80.51	82.18
	ESCENARIO 2	67.24	68.92	70.60	72.28	73.96	75.64	77.32	79.00	80.68	82.36
	ESCENARIO 3	69.42	70.91	72.41	73.91	75.41	76.90	78.40	79.90	81.39	82.89
	ESCENARIO 4	69.47	70.98	72.49	74.00	75.51	77.02	78.53	80.03	81.54	83.05
HUMEDAD RELATIVA 12:00PM	BASE ANALISIS	55.44	45.28	48.43	51.56	54.71	57.85	60.99	64.13	67.27	70.33
	ESCENARIO 1	56.38	57.59	58.80	60.00	61.21	62.42	63.63	64.83	66.04	67.75
	ESCENARIO 2	56.45	57.66	58.88	60.09	61.31	62.53	63.74	64.96	66.17	67.39
	ESCENARIO 3	58.49	59.56	60.64	61.72	62.80	63.87	64.95	66.03	67.10	68.18
	ESCENARIO 4	58.65	59.73	60.81	61.89	62.97	64.05	65.13	66.21	67.29	68.37
HUMEDAD RELATIVA 15:00PM	BASE ANALISIS	55.44	43.11	47.03	50.95	54.88	58.80	62.72	66.65	70.57	74.50
	ESCENARIO 1	56.05	57.48	58.92	60.35	61.78	63.21	64.64	66.07	67.50	68.93
	ESCENARIO 2	56.14	57.57	59.00	60.43	61.86	63.29	64.72	66.15	67.58	69.01
	ESCENARIO 3	57.20	58.54	59.89	61.24	62.59	63.94	65.28	66.63	67.98	69.33
	ESCENARIO 4	57.29	58.64	59.98	61.33	62.67	64.02	65.37	66.71	68.06	69.41

La *Figura 141* se analiza el comportamiento de la humedad relativa, donde se observa que los escenarios propuestos presentan valores significativamente más altos durante las horas de la mañana. La diferencia más notable se registra entre el Escenario 4 y la Base de análisis, con una brecha de 14.78 puntos porcentuales. Por otro lado, al mediodía y en las horas de la tarde, el comportamiento de la humedad relativa es relativamente similar tanto para la Base como para los escenarios propuestos; sin embargo, los mejores resultados de humedad se mantienen en los Escenarios 3 y 4, lo que evidencia un mejor desempeño microclimático de estas configuraciones.

Figura 142. *Resumen Datos Simulación Radiación Reflejada*

RADIACION REFLEJADA 9:00AM	BASE ANALISIS	32.86	63.85	94.86	125.86	156.87	187.87	218.87	249.87	280.87	311.88
	ESCENARIO 1	21.20	48.43	75.66	102.88	130.11	157.34	184.56	211.79	239.02	266.24
	ESCENARIO 2	21.37	49.11	76.85	104.61	132.35	160.10	187.85	215.59	243.34	264.69
	ESCENARIO 3	30.91	65.81	100.70	135.60	170.49	205.38	240.28	275.17	310.07	344.96
	ESCENARIO 4	32.28	67.06	101.85	136.63	171.41	206.19	240.97	275.75	310.53	345.31
RADIACION REFLEJADA 12:00PM	BASE ANALISIS	88.64	119.85	151.06	182.28	213.48	244.70	275.91	307.12	338.33	369.54
	ESCENARIO 1	49.55	79.53	109.50	139.48	169.46	199.44	229.42	259.40	289.38	319.39
	ESCENARIO 2	49.97	83.21	116.45	149.70	182.95	216.20	249.44	282.69	282.69	349.18
	ESCENARIO 3	66.00	109.43	152.87	196.31	239.75	283.19	326.63	370.07	413.51	456.95
	ESCENARIO 4	66.57	110.02	153.47	196.93	240.38	283.83	327.28	370.73	414.18	457.63
RADIACION REFLEJADA 15:00PM	BASE ANALISIS	30.83	60.76	90.70	120.63	150.56	180.49	210.42	240.35	270.28	300.22
	ESCENARIO 1	21.59	47.92	73.25	98.59	123.92	149.25	174.58	199.91	225.25	250.58
	ESCENARIO 2	27.77	48.21	73.65	99.10	124.54	149.98	175.43	200.87	226.31	251.75
	ESCENARIO 3	34.74	66.76	98.79	130.81	162.83	194.85	226.88	258.90	290.92	322.95
	ESCENARIO 4	35.96	67.89	99.83	131.77	163.70	195.64	227.57	259.51	291.44	323.38

La *Figura 142* se analiza el comportamiento de la radiación reflejada, donde se observa que los Escenarios 3 y 4 presentan los valores más elevados a lo largo del día, esta diferencia se explica por las propiedades de los pavimentos frío, los cuales presentan un mayor albedo que incrementa la reflexión de la radiación incidente, reduciendo la absorción térmica, pero elevando los valores de radiación reflejada en superficie. En las horas de la mañana, la diferencia entre la radiación máxima y la Base de análisis es de 33.43 W/m². Al mediodía, esta brecha aumenta significativamente, alcanzando 88.09 W/m², mientras que, en la tarde, aunque la radiación disminuye en todos los casos, la diferencia se mantiene en 23.16 W/m².

Cabe destacar que, aunque la comparación se realiza frente a la Base de análisis, los valores mínimos de radiación reflejada no corresponden a esta, sino que se registran en los Escenarios 1 y 2, lo que evidencia un mejor desempeño de estos materiales frente a la radiación solar al incorporar mayores áreas de sombreadamiento.

Figura 143. Datos Simulación Índice UTCI

INDICE UTCI 9:00AM	BASE ANALISIS	30.42	31.60	32.78	33.96	35.14	36.32	37.50	38.68	39.84	41.00
	ESCENARIO 1	29.83	30.95	32.07	33.19	34.30	35.42	36.54	37.65	38.77	39.89
	ESCENARIO 2	29.80	30.91	32.03	33.15	34.27	35.39	36.51	37.62	38.74	39.86
	ESCENARIO 3	29.84	31.00	32.16	33.32	34.48	35.64	36.80	37.96	39.12	40.28
	ESCENARIO 4	29.81	30.97	32.13	33.29	34.45	35.61	36.77	37.93	39.09	40.25
INDICE UTCI 12:00PM	BASE ANALISIS	36.96	37.89	38.80	39.73	40.65	41.57	42.49	43.41	44.34	45.26
	ESCENARIO 1	34.99	35.95	36.91	37.87	38.83	39.79	40.75	41.71	42.67	43.63
	ESCENARIO 2	34.94	35.90	36.85	37.81	38.76	39.72	40.67	41.63	42.58	43.54
	ESCENARIO 3	35.01	36.09	37.16	38.23	39.30	40.38	41.45	42.52	43.59	44.67
	ESCENARIO 4	34.98	36.04	37.11	38.18	39.25	40.32	41.38	42.45	43.52	44.59
INDICE UTCI 15:00PM	BASE ANALISIS	36.57	37.69	38.82	39.95	41.07	42.20	43.33	44.46	45.59	46.71
	ESCENARIO 1	34.85	35.97	37.09	38.20	39.32	40.44	41.56	42.68	43.79	44.91
	ESCENARIO 2	34.82	35.94	37.06	38.17	39.29	40.41	41.53	42.65	43.77	44.89
	ESCENARIO 3	34.91	36.08	37.24	38.40	39.56	40.73	41.89	43.05	44.22	45.38
	ESCENARIO 4	34.89	36.05	37.22	38.38	39.55	40.71	41.88	43.04	44.21	45.37

Para finalizar, en la *Figura 143* se analiza el comportamiento del Índice Universal de Confort Térmico (UTCI), donde se evidencia que, a lo largo del día, los valores más altos corresponden a la Base de análisis, lo que indica un mayor nivel de desconfort térmico en comparación con los escenarios propuestos. En las horas de la mañana, la diferencia entre el valor máximo de UTCI (Base) y el mínimo (Escenario 2) es de 1.14 °C. Al mediodía, esta brecha térmica se amplía, alcanzando 2.01 °C, lo que coincide con el momento de mayor incidencia solar. Finalmente, en las horas de la tarde, la diferencia disminuye ligeramente a 1.8 °C.

Es importante resaltar que es precisamente en este último periodo del día cuando la Base de análisis alcanza el valor máximo registrado del índice, ubicándose dentro de la categoría de “*estrés por calor extremo*”. Este resultado evidencia cómo las configuraciones materiales tradicionales contribuyen a elevar significativamente el estrés térmico, mientras que las alternativas propuestas logran atenuar este efecto, aunque sin eliminarlo completamente.

Tabla 25. *Síntesis cuantitativa de promedio desempeño térmico*

Promedio desempeño térmico			
Indicador	Base de Análisis	Mejor Escenario	Reducción / Mejora Promedio
Temperatura del aire (°C)	31.65	30.67	↓ 0.98
Temperatura radiante (°C)	54.2	50.75	↓ 3.45 °C
Humedad relativa (%)	56.4	67.71	↑ 11.31 p.p.
Radiación reflejada (W/m ²)	188.99	154.89	↓ 34.11 W/m ²
Índice UTCI (°C)	39.49	37.97	↓ 1.52 °C

Los resultados obtenidos permiten establecer directrices alineadas con instrumentos normativos clave, como el Manual de Diseño Bioclimático Urbano (Instituto Politécnico de Bragança / Universidad Politécnica de Madrid, 2013) y el Manual de Espacio Público (Bogotá) (Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá, 2023) los cuales promueven un urbanismo más resiliente frente al cambio climático. En ese marco, se destaca la necesidad de incrementar la proporción de superficies permeables con un mínimo sugerido del 40 % así como de cobertura vegetal arbórea superior al 25 % del área total de los espacios libres urbanos.

Desde un enfoque ecosistémico, la infraestructura verde-azul debe entenderse como un sistema multifuncional que aporta servicios ambientales esenciales, como la captura de CO₂, el control de escorrentías pluviales, la mejora de la biodiversidad urbana y la regulación térmica mediante procesos de evapotranspiración y sombreado. La incorporación de especies nativas y adaptadas al clima cálido-húmedo de Bucaramanga contribuye a mejorar la resiliencia ecológica y reducir los requerimientos de mantenimiento.

Con base en los resultados del modelado, se propone una matriz de estrategias replicables para otros parques del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), que integra criterios de

vegetación, materialidad y morfología urbana, orientados al confort térmico y la sostenibilidad ambiental.

Tabla 26. *Matriz de estrategias aplicables*

Estrategia	Criterio de aplicación	Indicador de desempeño	Beneficio ambiental y térmico
<i>Orientación y morfología urbana</i>	Configurar espacios abiertos como corredores con proporciones $H/W \leq 1$ y orientación norte-sur.	Mejora de ventilación natural y reducción de temperatura media radiante.	Optimización del flujo de viento y distribución del calor solar.
<i>Cobertura vegetal arbórea</i>	Mantener mínimo 25–30 % del área total del parque con especies nativas y de gran copa.	Reducción térmica: 1–3 °C; Aumento de humedad relativa: +10–15 %.	Regulación microclimática, captura de CO ₂ , mejora del confort térmico y reducción del estrés por calor.
<i>Estructura vegetal estratificada</i>	Integrar árboles altos, arbustos y cobertura baja en diseño continuo.	Disminución de UTCI: 1.8–2.0 °C.	Evapotranspiración sostenida, sombra efectiva y ventilación natural.
<i>Pavimentos fríos y permeables</i>	Emplear materiales con albedo ≥ 0.35 y alta emisividad; incluir pavimentos absorbentes de agua.	Reducción de temperatura superficial: hasta 8 °C; disminución de radiación reflejada: –80 W/m ² .	Reducción de islas de calor, control hídrico y confort al tacto.
<i>Reducción de superficies impermeables</i>	Limitar al 40 % máximo de área dura; priorizar materiales reciclados o naturales.	Reducción térmica promedio: 1–1.5 °C.	Disminución del almacenamiento térmico y mejora del drenaje urbano.
<i>Infraestructura verde-azul integrada</i>	Implementar jardines de lluvia, alcorques y canales vegetados.	Incremento de infiltración: +30 %; control de escorrentías.	Mejora del ciclo hídrico urbano y resiliencia climática.
<i>Corredores bioclimáticos verdes-azules</i>	Conectar parques mediante ejes de vegetación y drenaje sostenible (SUDS).	Incremento de confort horario: +20 %.	Mejora de ventilación cruzada, control de escorrentías y fortalecimiento de biodiversidad urbana.

En conclusión, el análisis comparativo y los lineamientos propuestos evidencian que la configuración morfológica, la cobertura vegetal y el uso de materiales permeables son factores determinantes para mejorar el confort térmico en espacios públicos urbanos. La articulación entre

infraestructura verde y azul, la orientación y proporción de los espacios, así como la incorporación de estrategias de diseño bioclimático, permite reducir significativamente los impactos de las islas de calor y promover microclimas más estables y habitables. Estas acciones no solo aportan beneficios ambientales, sino que fortalecen la resiliencia urbana frente al cambio climático, ofreciendo un marco de intervención aplicable a los parques y espacios intersticiales del Área Metropolitana de Bucaramanga. De esta manera, se sientan bases técnicas y estratégicas para avanzar hacia una planificación urbana climáticamente sensible, inclusiva y sostenible.

9. Conclusiones

El desarrollo de esta investigación permitió establecer una relación directa y medible entre la configuración morfológica y material del espacio público, las propiedades térmicas de los componentes urbanos y la respuesta microclimática en contextos de clima cálido-húmedo, como el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB). A través de la caracterización físico-ambiental, el análisis climático, las simulaciones microclimáticas y la evaluación comparativa de escenarios de intervención, se definieron estrategias integrales de diseño urbano bioclimático orientadas a mejorar el confort térmico exterior y mitigar el efecto de isla de calor urbana.

1. Integración entre microclima urbano y confort térmico

El estudio confirma que los parques urbanos del AMB cumplen una función esencial como reguladores microclimáticos naturales, aunque su desempeño térmico depende de la composición material, la cobertura vegetal y la configuración espacial. Las simulaciones realizadas con ENVI-met v5.8 evidenciaron que las zonas con mayor cobertura arbórea presentan reducciones promedio de temperatura del aire de hasta 3 °C frente a áreas pavimentadas expuestas, además de una disminución significativa de la radiación reflejada. No obstante, persisten condiciones críticas de

calor fuerte y muy fuerte durante las horas pico, especialmente en superficies de alta inercia térmica y baja evapotranspiración. Estos resultados ratifican la necesidad de reformular los criterios de diseño urbano, integrando estrategias pasivas de mitigación que combinen vegetación densa, materiales fríos y sistemas de sombra estructural y vegetal.

2. Aportes metodológicos y tecnológicos

La aplicación conjunta del Universal Thermal Climate Index (UTCI) y el modelado dinámico en ENVI-met v5.8 permitió cuantificar con precisión las condiciones de confort térmico exterior, demostrando la eficacia de integrar herramientas de simulación ambiental en los procesos de diseño y planificación urbana. Este enfoque, sustentado en la calibración y validación de datos climáticos locales, ofrece una metodología replicable para la evaluación microclimática de espacios públicos en ciudades tropicales intermedias. Asimismo, constituye un avance en la gestión climática urbana basada en evidencia, promoviendo la incorporación de criterios científicos en las decisiones proyectuales y normativas.

De manera complementaria, la metodología desarrollada, que combina observación directa, análisis microclimático y simulación digital se consolida como una herramienta técnica y conceptual para la evaluación del confort térmico urbano, con potencial de aplicación en otros contextos de clima cálido-húmedo. En conjunto, la investigación contribuye al fortalecimiento de las estrategias de sostenibilidad y adaptación climática del espacio público, proporcionando insumos validados para la planificación territorial y el diseño bioclimático. Finalmente, este trabajo constituye un aporte disciplinar significativo al demostrar que la integración de vegetación, materialidad adecuada y morfología sensible al clima puede transformar el espacio público en un componente activo de resiliencia y bienestar urbano.

3. Evaluación comparativa de los casos de estudio

El análisis de los tres parques Santander (Bucaramanga), Principal de Floridablanca y Principal de Girón evidenció comportamientos microclimáticos diferenciados derivados de su morfología y materialidad. El Parque Santander, con mayor densidad y diversidad arbórea, presentó los mejores indicadores de confort y reducción térmica. En Floridablanca, la comparación entre su configuración anterior y actual demostró el impacto positivo de la arborización planificada y el uso de pavimentos fríos y permeables. Por el contrario, en Girón, las temperaturas radiantes y reflejadas alcanzaron valores críticos debido al predominio de superficies duras y reflectantes, lo que subraya la necesidad de incrementar la infraestructura verde. En conjunto, los resultados confirman que la vegetación urbana es un elemento estructural en la mitigación de la isla de calor y en la mejora de la habitabilidad del espacio público.

4. Lineamientos de diseño urbano bioclimático

A partir de los resultados de análisis y de simulación, se estableció un conjunto de lineamientos de diseño urbano bioclimático orientados a optimizar el confort térmico y la eficiencia ambiental del espacio público en contextos de clima cálido-húmedo. Dichos lineamientos integran criterios relacionados con la vegetación, la materialidad, la morfología y la gestión ambiental, proponiendo una estructura urbana capaz de equilibrar las superficies permeables y las zonas arborizadas, priorizar el uso de materiales de bajo impacto térmico y favorecer la ventilación natural. Todo ello con el propósito de reducir el efecto de isla de calor y mejorar la calidad microclimática de los espacios abiertos. Es fundamental que estos principios se incorporen de manera transversal en los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial (POT, PBOT, planes parciales y proyectos de espacio público), garantizando su aplicación desde las etapas tempranas de diseño hasta la gestión, el mantenimiento y el monitoreo del entorno construido.

5. Implicaciones sociales y ambientales

El confort térmico urbano trasciende la dimensión física para convertirse en un determinante de salud pública, bienestar y equidad ambiental. Espacios públicos térmicamente confortables favorecen la movilidad peatonal, la cohesión social y la inclusión, reduciendo el riesgo de estrés térmico y fortaleciendo la resiliencia comunitaria. En consecuencia, la planificación urbana sostenible del AMB debe reconocer el microclima como un componente central de la calidad de vida y de la justicia climática territorial.

6. Proyección de futuro e investigación aplicada

Este estudio sienta las bases para el desarrollo de un modelo integral de evaluación y diseño climático urbano aplicable a ciudades intermedias tropicales. Se recomienda que futuras investigaciones incorporen variables complementarias como el confort acústico, la calidad del aire y la percepción ciudadana, así como el uso de sistemas de monitoreo ambiental en tiempo real (BIM-IoT) y plataformas de certificación climática local para el espacio público. La consolidación de redes académicas y la integración de estas herramientas en políticas urbanas fortalecerán la capacidad adaptativa frente al cambio climático.

En síntesis, la evidencia obtenida demuestra que la planificación urbana con enfoque bioclimático no solo mejora las condiciones térmicas y la resiliencia frente al cambio climático, sino que constituye una base técnica, metodológica y social para transformar el espacio público en un componente activo de adaptación y equidad urbana. La integración de vegetación, materiales adecuados y una morfología sensible al clima permitirá consolidar entornos urbanos más saludables, sostenibles y habitables en el Área Metropolitana de Bucaramanga y en otras ciudades tropicales intermedias.

Referencias

- Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A. L., Rossi, F., Santamouris, M., Synnef, A., Wong, N. H., y Zinzi, M. (2015). Local climate change and urban heat island mitigation techniques – the state of the art. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(1), 1–16. <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1111934>
- Allegrini, J., Dorer, V., Derome, D., & Carmeliet, J. (2015). *Microclimate effects on building energy use: A methodological approach*. En J. Mathur & V. Garg (Eds.), Proceedings of BS2015 – 14th International Building Performance Simulation Association Conference (pp. 993-1000). International Institute of Information Technology. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.123>
- Bernal, O. L., Peña, R. V., y Valencia, A. P. L. (2019). *Diseño urbano bioclimático: Modelado y simulación digital*. Universidad del Valle.
- Borja, J., & Muxí, Z. (2003). *El espacio público: ciudad y ciudadanía*. Sociedad Editorial Electa Espana.
- Bouyer, J., Inard, C., & Musy, M. (2011). *Microclimatic coupling as a solution to improve building energy simulation in an urban context*. *Energy and Buildings*, 43(7), 1549–1559. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.02.010>
- Bröde, P., Fiala, D., Blazejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., & Havenith, G. (2012). *Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)*. *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 481–494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>

- Bruse, M., & Fler, H. (1998). *Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model*. *Environmental Modelling & Software*, 13(3-4), 373-384. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5)
- Coccolo, S., Kämpf, J. H., Scartezzini, J.-L., & Pearlmutter, D. (2016). *Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards*. *Urban Climate*, 18, 33–57. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.08.004>
- De Perozo, N. G. (2013, December 18). *Evaluación del microespacio urbano en clima cálido-húmedo*. <https://polired.upm.es/index.php/ciur/article/view/2394>
- Emmanuel, R. (2016). *Urban Climate Challenges in the Tropics: Rethinking planning and design opportunities*. World Scientific.
<https://researchonline.gcu.ac.uk/en/publications/urban-climate-challenges-in-the-tropics-rethinking-planning-and-d>
- Erell, E., Pearlmutter, D., y Williamson, T. J. (2011). *Urban microclimate: Designing the Spaces Between Buildings*. Routledge.
- Fanger, P. O. (1973). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill.
- Fischereit, J., y Schlünzen, K. H. (2018). Evaluation of thermal indices for their applicability in obstacle-resolving meteorology models. *International Journal of Biometeorology*, 62(10), 1887–1900. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1591-6>
- Frayssinet, L., Merlier, L., Kuznik, F., Hubert, J.-L., Milliez, M., & Roux, J.-J. (2018). *Modeling the heating and cooling energy demand of urban buildings at city scale*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2318–2327. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.040>

- García, B. G., y Giambiagi, D. (2022, December 2). *Guía para ciudades más saludables*.
<https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1971>
- Higueras, E. G. (n.d.). *Estrategias para el control microclimático del espacio entre edificaciones en clima cálido – húmedo* Archivo Digital UPM. <https://oa.upm.es/12266/>
- Howard, L. (1818). *The climate of London: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H. Lee & J. Romero (Eds.)]. IPCC.
<https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Klemm, W., Heusinkveld, B. G., Lenzholzer, S., & van Hove, B. (2015). *Street greenery and its physical and psychological impact on outdoor thermal comfort*. *Landscape and Urban Planning*, 138, 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.009>
- Neila, F. J. G. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Munillalera.
- Nikolopoulou, M., & Steemers, K. (2003). *Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*. *Energy and Buildings*, 35(1), 95–101.
[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00084-1)
- Maas, J., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., de Vries, S., & Spreeuwenberg, P. (2006). *Green space, urbanity, and health: How strong is the relation?* *Journal of Epidemiology & Community Health*, 60(7), 587–592. <https://doi.org/10.1136/jech.2005.043125>
- Potchter, O., Cohen, P., Lin, T. P., & Matzarakis, A. (2018). *Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification*.

- Science of the Total Environment, 631-632, 390–406.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>
- Sailor, D. J. (2008). *A green roof model for building energy simulation programs. Energy and Buildings*, 40(8), 1466–1478. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.001>
- Sánchez-Guevara, C., Román, E., Neila González, F. J., Gómez, G., López, H., de Luxán, M., & Núñez, M. (2020). *Isla de calor, clima urbano y consumo energético de los edificios: Proyecto Modifica*. García Maroto Editores.
- Spagnolo, J., & de Dear, R. (2003). *A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. Building and Environment*, 38(5), 721-738. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00209-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00209-3)
- Tumini, I. (2012). El microclima urbano en los espacios abiertos: Estudio de caso en Madrid [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional.
- Tumini, I., y Higuera, E. G. (2013). Alcances y limitaciones de las herramientas de simulación para el estudio del microclima urbano. *dyna energia y sostenibilidad*, 2(3), [17 p.].
<https://doi.org/10.6036/es6921>
- Tumini, I., y Higuera, E. G. (2014). Uso de las herramientas de simulación energética para el estudio del microclima urbano. *dyna*, 89(3), 16–17. <https://doi.org/10.6036/6972>
- Van den Bosch, M., & Meyer-Lindenberg, A. (2019). *Environmental exposures and depression: Biological mechanisms and epidemiological evidence. Annual Review of Public Health*, 40, 239-259. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040218-044106>
- World Health Organization. (2016). *World health statistics 2016: Monitoring health for the Sustainable Development Goals (SDGs)*. World Health Organization.

<https://www.who.int/docs/default-source/gho-documents/world-health-statistic-reports/world-health-statistics-2016.pdf>

Apéndices

Apéndice A. Datos de temperatura del aire 2020-2024

DATOS TEMPERATURA DEL AIRE MAXIMA °C - ESTACION ACUPULCO 2020-2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	22.87	24.12	25.44	25.80	24.17	23.28	21.94	23.38	23.58	21.68	23.01	21.82	23.42
Hora01	22.60	23.93	25.17	25.21	23.71	22.91	21.81	23.13	23.39	21.33	22.72	21.55	23.12
Hora02	22.24	23.72	24.97	25.94	23.19	22.69	21.61	22.84	23.25	21.08	22.51	21.27	22.94
Hora03	22.02	23.45	25.11	25.46	23.33	22.14	21.33	22.62	22.77	20.85	22.11	21.01	22.68
Hora04	21.70	23.25	24.24	24.83	22.69	21.95	21.08	22.16	22.45	20.59	21.91	20.71	22.30
Hora05	21.39	22.95	23.77	24.44	22.29	21.71	20.93	21.82	22.05	20.42	21.54	20.50	21.98
Hora06	21.34	22.21	24.24	24.36	21.71	21.45	20.75	21.28	21.79	20.42	21.60	20.35	21.79
Hora07	21.42	22.22	24.33	24.43	22.91	22.06	21.28	21.90	23.34	21.41	22.50	20.47	22.35
Hora08	22.93	23.69	26.22	25.84	25.56	25.57	23.65	25.61	25.86	23.16	24.15	22.32	24.55
Hora09	25.84	26.42	26.99	28.43	28.09	28.54	26.08	28.01	28.49	25.01	26.43	24.36	26.89
Hora10	27.86	28.44	28.09	29.62	30.52	30.15	28.13	29.98	30.72	27.01	28.80	26.37	28.81
Hora11	29.66	30.40	30.00	30.50	31.61	31.49	29.49	31.67	32.59	28.96	31.08	28.86	30.53
Hora12	31.41	31.92	31.05	31.10	32.35	32.22	30.18	32.05	33.37	29.85	32.10	30.29	31.49
Hora13	31.40	32.00	31.61	32.09	32.73	31.87	30.07	32.87	33.24	29.91	32.04	30.35	31.68
Hora14	31.27	32.15	31.91	32.02	32.75	32.09	29.55	32.41	33.22	29.74	32.28	30.35	31.65
Hora15	31.07	31.51	31.99	31.85	32.56	31.60	28.76	31.97	32.75	28.89	31.90	29.94	31.23
Hora16	29.70	31.30	31.37	31.05	31.87	30.72	28.06	31.24	31.45	28.04	30.39	28.98	30.35
Hora17	28.28	30.56	29.87	31.22	30.54	29.91	27.11	30.24	30.66	26.41	28.12	27.42	29.20
Hora18	26.43	29.75	28.77	29.98	29.06	27.82	25.71	28.99	28.99	24.67	26.03	25.22	27.62
Hora19	25.12	28.47	27.86	27.26	26.84	25.55	24.13	26.18	26.23	23.59	24.77	23.84	25.82
Hora20	24.12	26.97	27.81	26.99	25.64	24.88	23.35	25.07	25.24	23.05	24.17	23.11	25.03
Hora21	23.84	26.06	26.87	26.34	25.03	24.27	22.95	24.41	24.59	22.67	23.77	22.67	24.46
Hora22	23.45	25.49	26.74	26.17	24.61	23.82	22.67	23.83	24.24	22.40	23.44	22.34	24.10
Hora23	23.30	25.04	26.10	25.60	24.43	23.63	22.30	23.62	23.94	21.97	23.28	22.10	23.78
PROMEDIO	25.47	26.92	27.52	27.77	27.01	26.35	24.70	26.55	27.01	24.30	25.86	24.42	

DATOS TEMPERATURA DEL AIRE MAXIMA °C - ESTACION CLUB CAMPESTRE 2020-2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	24.75	26.00	25.95	25.33	25.53	24.36	24.76	24.66	24.82	24.58	23.94	24.00	24.89
Hora01	24.38	25.20	25.18	24.90	25.33	24.10	24.22	24.14	24.38	24.02	23.44	23.70	24.42
Hora02	24.28	24.73	24.68	24.35	24.97	23.74	23.56	23.72	23.78	23.56	23.10	23.15	23.97
Hora03	23.58	24.53	24.23	24.25	24.57	23.46	23.52	23.20	23.40	23.42	22.80	23.00	23.66
Hora04	23.50	24.35	24.15	23.63	24.27	23.16	23.14	23.32	23.32	23.16	22.58	22.88	23.45
Hora05	23.20	24.13	23.78	23.40	23.90	23.00	23.06	23.06	23.06	22.68	22.32	22.63	23.18
Hora06	22.78	23.70	23.68	23.48	23.83	22.70	22.54	22.88	23.08	22.72	22.64	22.45	23.04
Hora07	22.85	23.33	24.30	24.40	24.47	23.50	23.44	23.38	23.84	24.06	24.30	23.50	23.83
Hora08	24.58	25.45	26.75	26.48	26.40	26.00	26.22	26.26	26.38	25.92	26.12	25.73	26.02
Hora09	27.18	28.25	28.55	28.80	29.27	28.02	28.06	28.52	28.66	28.32	28.56	27.73	28.33
Hora10	29.38	30.23	30.83	30.85	31.20	29.72	30.00	30.32	30.62	30.34	30.12	29.60	30.27
Hora11	31.13	31.90	31.73	31.65	32.70	31.48	31.52	31.64	32.10	31.70	31.30	30.93	31.65
Hora12	32.30	33.18	31.85	31.65	32.17	31.78	31.94	32.18	33.06	31.74	31.00	30.83	31.97
Hora13	31.73	31.85	31.63	31.43	32.00	31.34	32.10	32.06	32.24	31.68	30.60	30.75	31.62
Hora14	31.33	32.03	31.93	31.58	32.17	31.04	31.24	31.28	31.82	31.10	30.68	29.98	31.35
Hora15	30.93	32.15	31.53	31.35	32.07	30.52	30.80	31.02	31.20	31.08	30.42	29.98	31.09
Hora16	30.80	31.55	31.48	30.88	31.50	30.16	31.06	30.86	31.08	30.38	29.22	29.45	30.70
Hora17	29.93	30.83	30.40	29.53	30.23	29.06	30.18	29.92	30.04	28.86	27.60	28.08	29.55
Hora18	28.25	29.63	29.33	28.13	28.80	27.96	28.60	28.24	28.52	27.54	26.44	26.90	28.19
Hora19	27.60	28.80	28.68	27.55	28.10	27.32	27.48	27.46	27.64	26.82	25.74	26.40	27.47
Hora20	27.00	28.30	28.25	27.33	27.77	26.84	26.88	26.80	27.02	26.24	25.42	25.98	26.98
Hora21	26.38	27.93	27.68	26.98	27.40	25.96	26.20	26.22	26.56	25.76	25.00	25.65	26.48
Hora22	25.98	27.30	27.13	26.35	27.13	25.84	25.86	25.70	25.94	25.48	24.52	25.10	26.03
Hora23	25.58	26.65	26.53	25.50	26.27	25.02	25.26	25.22	25.46	24.94	24.28	24.70	25.45
PROMEDIO	27.06	28.02	27.92	27.49	28.00	26.92	27.15	27.17	27.42	26.92	26.34	26.38	

DATOS TEMPERATURA DEL AIRE MAXIMA °C - ESTACION CDMB 2020-2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	24.83	25.49	25.79	24.00	25.42	23.54	24.22	23.66	24.97	24.07	24.00	24.31	24.52
Hora01	24.52	25.13	25.06	23.58	24.87	23.28	23.98	23.19	24.42	23.85	23.61	23.94	24.12
Hora02	24.28	24.57	24.52	23.36	24.86	23.01	23.71	22.89	24.03	23.42	23.31	23.47	23.79
Hora03	23.99	24.33	24.15	22.78	24.60	22.75	23.58	22.61	23.55	23.16	22.92	23.20	23.47
Hora04	23.57	24.11	24.05	22.57	24.08	22.34	23.26	22.43	23.54	23.07	22.69	22.76	23.20
Hora05	23.26	23.87	23.83	22.68	23.70	22.20	23.08	22.31	23.10	22.68	22.36	22.58	22.97
Hora06	23.08	23.69	23.88	22.64	23.66	22.20	22.72	22.34	23.04	22.67	22.72	22.53	22.93
Hora07	23.71	24.06	24.24	22.92	24.57	22.64	23.34	22.88	24.20	24.39	24.03	23.79	23.73
Hora08	25.93	26.07	25.86	24.98	26.45	23.96	25.48	24.69	26.14	25.79	25.85	25.90	25.59
Hora09	27.32	27.64	27.88	26.87	28.21	25.38	27.40	26.25	28.18	27.75	27.15	27.57	27.30
Hora10	29.33	29.32	29.68	27.86	29.85	27.26	29.09	27.91	29.68	29.23	28.90	29.20	28.94
Hora11	30.89	31.05	31.27	28.91	31.43	28.86	30.51	28.97	31.41	30.55	30.15	30.50	30.37
Hora12	31.69	32.05	31.49	29.07	31.93	29.30	30.61	30.07	31.85	31.00	30.49	30.89	30.87
Hora13	31.81	31.79	32.13	29.04	31.81	29.22	31.04	29.56	31.68	30.90	30.49	30.94	30.87
Hora14	31.55	32.18	31.89	28.95	31.41	28.47	30.24	29.45	31.18	30.23	30.09	30.72	30.53
Hora15	31.60	32.30	31.84	28.63	30.75	27.81	29.61	28.89	30.69	30.83	30.06	30.42	30.29
Hora16	30.80	31.21	31.24	28.07	30.19	27.33	28.97	28.30	30.33	29.20	28.91	29.53	29.51
Hora17	29.37	30.17	30.04	26.78	29.04	26.78	28.14	27.12	29.00	27.83	27.07	28.20	28.29
Hora18	27.57	28.50	28.35	25.71	27.66	25.93	26.97	25.76	27.63	26.41	25.90	26.49	26.91
Hora19	26.77	27.52	27.60	25.16	26.93	25.07	26.17	25.22	26.75	25.62	25.35	25.82	26.16
Hora20	26.38	27.09	27.17	24.85	26.65	24.61	25.82	24.79	26.31	25.38	25.29	25.46	25.81
Hora21	25.98	26.81	26.85	24.77	26.48	24.26	25.40	24.50	25.94	25.19	25.00	25.11	25.52
Hora22	25.59	26.50	26.59	24.36	26.08	23.94	25.13	23.96	25.59	24.72	24.61	24.83	25.16
Hora23	25.31	26.39	26.07	24.07	25.93	23.77	24.90	23.77	25.18	24.34	24.40	24.68	24.90
PROMEDIO	27.05	27.57	27.56	25.53	27.36	25.16	26.39	25.48	27.02	26.34	26.05	26.37	

Apéndice B. Datos de humedad relativa 2020-2024

DATOS HUMEDAD RELATIVA % - ESTACION ACUPULCO 2020-2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	94,98	96,13	96,87	95,85	96,46	95,47	89,39	96,43	96,74	90,69	96,38	89,55	94,58
Hora01	94,58	96,33	96,92	96,86	96,76	96,43	90,11	96,55	96,88	88,56	96,80	90,02	94,73
Hora02	95,98	96,82	97,25	96,61	95,88	96,88	90,64	96,84	97,14	87,00	96,95	90,08	94,84
Hora03	96,46	97,14	97,37	96,41	96,54	96,87	91,20	97,25	97,25	87,37	97,03	89,97	95,07
Hora04	96,48	97,10	97,45	96,15	96,65	96,96	91,57	97,30	97,30	87,81	97,26	90,45	95,21
Hora05	97,29	97,31	97,48	96,48	97,04	96,70	91,76	97,32	97,32	88,35	97,39	90,76	95,43
Hora06	97,68	97,72	97,54	96,44	97,06	96,98	92,26	97,35	97,40	88,28	97,44	90,67	95,57
Hora07	98,08	98,07	98,20	98,17	97,49	97,14	91,19	97,37	97,68	83,12	97,34	90,90	95,40
Hora08	97,75	97,75	97,06	97,68	96,89	95,53	83,77	97,08	97,58	77,49	96,26	85,25	93,34
Hora09	95,23	96,41	96,82	96,43	93,99	90,03	74,82	94,62	96,55	70,89	92,91	77,71	89,70
Hora10	89,58	92,00	94,59	96,34	89,77	84,18	66,55	88,60	92,05	63,22	91,16	69,27	84,77
Hora11	80,35	88,67	92,70	96,97	83,14	77,80	60,95	80,87	85,12	55,80	88,29	60,56	79,27
Hora12	76,01	85,15	89,50	95,63	84,10	75,01	58,13	73,11	78,05	55,26	90,94	56,52	76,45
Hora13	84,72	80,90	86,54	91,22	81,46	75,71	58,73	68,36	77,22	56,60	84,20	57,68	75,28
Hora14	86,13	77,73	85,80	88,50	84,84	74,20	60,56	70,83	78,46	57,70	81,55	57,54	75,32
Hora15	80,44	78,91	86,56	88,52	86,02	81,02	63,70	77,35	83,36	60,70	79,91	59,05	77,13
Hora16	83,12	83,52	90,13	86,51	83,55	82,14	67,20	86,18	90,66	63,91	85,95	62,73	80,47
Hora17	88,99	82,83	93,51	91,04	86,56	88,20	70,49	87,43	92,55	68,80	89,42	68,10	83,99
Hora18	90,24	85,13	92,73	93,28	87,99	92,82	75,25	91,72	93,72	76,17	91,50	75,76	87,19
Hora19	90,37	89,23	96,09	94,05	92,80	94,95	81,29	94,19	95,04	80,67	93,47	81,04	90,27
Hora20	91,82	92,26	97,18	94,80	95,13	95,18	84,93	95,87	96,06	82,89	94,64	84,38	92,09
Hora21	91,06	92,74	97,18	95,32	96,45	95,24	87,04	96,01	96,02	84,76	95,08	86,24	92,76
Hora22	93,12	92,82	96,89	95,08	96,28	95,27	88,21	96,07	96,61	88,49	95,34	87,77	93,50
Hora23	94,56	94,57	96,91	96,17	96,62	95,25	89,05	96,37	96,68	89,82	95,95	88,92	94,24
PROMEDIO	91,04	91,14	94,55	94,61	92,06	90,25	79,12	90,46	92,64	76,43	92,63	78,37	

DATOS HUMEDAD RELATIVA % - ESTACION CLUB CAMPESTRE 2020-2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	86,97	85,90	88,48	90,92	91,78	93,96	92,48	92,90	93,60	94,09	96,76	93,59	91,79
Hora01	88,16	88,16	89,77	92,91	93,10	95,17	93,50	93,66	94,22	95,11	97,65	94,74	93,01
Hora02	89,47	89,38	91,34	93,51	94,32	96,72	94,54	94,72	95,54	96,26	98,01	95,49	94,02
Hora03	90,56	90,06	92,86	93,53	93,90	96,45	95,56	95,80	96,17	96,75	98,61	96,20	94,70
Hora04	91,05	91,16	93,49	94,83	95,03	96,82	95,78	95,83	96,61	96,97	98,94	96,94	95,27
Hora05	91,76	91,89	94,02	95,12	95,32	96,83	96,10	95,95	96,64	97,36	98,88	96,86	95,56
Hora06	92,03	92,83	94,40	95,29	96,76	97,06	96,62	96,46	97,16	97,47	97,96	97,31	95,94
Hora07	91,24	91,45	93,13	92,26	93,77	95,09	94,39	94,66	94,67	95,16	94,88	93,43	93,68
Hora08	83,74	86,34	86,08	84,68	85,23	87,61	86,81	87,10	87,03	87,99	87,69	86,19	86,37
Hora09	73,45	77,28	76,87	76,25	76,46	79,27	78,13	78,12	78,08	79,22	78,50	77,60	77,43
Hora10	64,41	68,82	69,24	68,49	69,83	72,21	70,52	70,37	69,88	71,70	71,64	70,38	69,88
Hora11	58,39	63,75	65,98	66,10	64,87	66,54	64,84	64,16	64,32	66,59	69,32	67,02	65,14
Hora12	60,22	63,35	66,33	66,44	65,74	66,32	64,13	63,70	63,99	67,57	71,14	69,72	65,72
Hora13	61,98	64,12	66,40	67,92	67,13	68,30	66,67	66,72	67,34	69,27	71,87	69,87	67,30
Hora14	62,58	63,46	66,31	68,59	67,72	70,86	69,25	69,68	70,04	70,99	73,10	70,96	68,63
Hora15	63,02	63,24	66,08	70,14	68,14	72,76	71,61	71,28	72,33	72,10	74,24	72,17	69,76
Hora16	64,01	63,74	67,46	71,58	70,67	74,65	73,69	73,89	73,90	74,14	77,16	73,85	71,56
Hora17	67,25	66,58	69,81	75,19	74,67	78,03	76,26	76,75	76,92	77,85	81,25	77,77	74,86
Hora18	72,90	71,07	73,96	79,04	78,84	81,74	80,21	80,95	81,50	82,41	85,45	82,50	79,22
Hora19	76,70	74,59	77,04	82,45	82,21	85,36	84,15	84,58	84,86	85,76	88,40	84,85	82,58
Hora20	78,92	76,72	79,12	84,74	85,54	87,92	86,54	87,00	86,94	88,30	90,03	86,17	84,83
Hora21	80,08	78,71	81,37	86,75	86,89	89,37	87,65	88,50	88,44	89,66	91,54	88,20	86,43
Hora22	81,28	80,67	84,06	88,36	88,63	91,08	88,97	89,95	90,28	91,06	93,26	90,04	88,13
Hora23	84,21	84,34	86,25	90,31	90,34	92,61	90,69	91,83	91,77	92,97	95,32	91,43	90,17
PROMEDIO	77,26	77,86	79,99	82,31	82,37	84,66	83,29	83,52	83,84	84,86	86,72	84,30	

DATOS HUMEDAD RELATIVA % - ESTACION CDMB 2020-2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	93,47	95,76	96,41	97,15	98,28	97,33	98,14	97,14	97,55	97,95	98,80	96,75	97,06
Hora01	94,54	97,00	96,89	97,28	97,95	98,24	98,86	98,90	98,90	99,10	98,91	98,33	97,91
Hora02	95,80	97,43	98,80	98,50	98,45	98,48	98,24	98,73	98,75	99,33	98,78	98,18	98,29
Hora03	96,81	97,55	99,18	98,85	98,28	98,26	98,93	99,08	99,08	98,78	99,35	98,40	98,54
Hora04	97,12	98,53	99,38	98,28	98,80	98,50	98,55	98,83	98,85	98,88	99,45	97,87	98,58
Hora05	95,78	97,85	99,45	98,78	98,48	98,03	98,75	98,45	98,45	99,53	99,38	98,11	98,42
Hora06	96,47	97,53	98,93	98,93	98,53	98,65	98,19	98,43	98,43	99,53	99,25	98,38	98,43
Hora07	95,53	96,59	99,18	98,90	97,70	97,66	98,82	98,31	98,31	99,70	99,41	97,53	98,14
Hora08	92,90	95,86	96,13	96,15	93,23	95,31	97,87	96,97	96,97	98,73	98,00	95,91	96,17
Hora09	84,44	91,40	91,28	93,56	89,43	94,02	96,77	91,93	92,56	94,68	94,23	89,47	91,98
Hora10	76,65	89,57	90,15	92,36	83,07	88,56	96,01	88,10	89,81	92,18	88,23	86,77	88,45
Hora11	72,40	85,33	83,96	91,82	82,41	87,28	93,36	82,54	86,44	88,37	86,60	84,65	85,43
Hora12	70,43	84,29	82,33	88,02	83,78	87,43	90,60	82,11	82,11	85,71	87,11	83,38	84,94
Hora13	70,02	80,95	81,73	84,74	87,89	86,05	89,93	82,47	88,66	88,28	91,93	83,95	83,72
Hora14	73,44	78,98	82,33	86,00	92,06	90,79	91,61	87,61	90,79	89,28	88,86	85,85	86,46
Hora15	71,91	77,54	79,76	84,59	91,17	92,46	94,10	88,84	89,16	87,78	87,93	83,20	85,70
Hora16	75,68	82,18	81,68	85,68	93,51	91,37	95,38	89,43	89,96	90,35	92,14	84,34	87,64
Hora17	79,23	84,50	83,17	89,32	91,30	95,56	94,89	88,21	90,40	92,08	92,77	86,75	89,01
Hora18	83,99	86,51	88,18	90,86	91,99	95,23	96,36	92,27	94,46	94,61	94,94	89,48	91,57
Hora19	87,20	90,31	90,55	93,75	95,42	98,29	97,90	92,56	94,30	96,61	96,26	93,75	93,91
Hora20	87,93	90,60	92,16	94,78	97,30	97,30	97,28	95,84	96,22	96,67	96,32	93,46	94,65
Hora21	87,91	93,22	95,16	94,14	98,59	96,90	98,76	97,35	97,83	98,76	98,76	95,97	96,04
Hora22	87,33	95,48	95,53	96,16	96,65	97,52	98,48	96,35	96,70	98,95	99,15	95,51	96,15
Hora23	89,96	95,56	95,32	96,63	99,05	96,66	97,75	97,76	97,88	99,15	98,31	94,06	96,51
PROMEDIO	85,70	90,85	91,57	93,55	93,89	94,83	96,48	93,26	94,27	95,17	95,20	92,08	

Apéndice C. Datos de radiación solar 2020-2024

DATOS RADIACION SOLAR W/m² - ESTACION ACUPULCO 2020-2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	0,01
Hora06	0,00	0,00	6,00	0,14	10,88	3,36	0,52	0,52	0,52	9,15	11,55	0,32	3,58
Hora07	47,20	59,53	95,80	100,96	99,91	101,09	45,07	120,73	150,05	71,18	76,85	29,84	83,18
Hora08	213,09	251,70	299,72	288,68	272,79	318,31	190,50	286,58	304,73	164,64	204,55	129,31	243,72
Hora09	434,35	446,77	519,50	456,43	538,48	545,63	377,37	488,41	548,75	274,23	397,81	235,52	438,60
Hora10	597,37	669,80	676,65	685,48	878,57	839,47	617,16	787,83	843,78	444,79	588,88	349,91	664,97
Hora11	794,47	845,58	913,84	802,98	1062,46	976,27	744,99	972,92	1009,08	750,19	955,40	634,07	871,85
Hora12	942,10	954,40	967,76	906,94	1117,39	979,71	757,72	1064,79	1106,08	801,48	1044,98	780,26	951,97
Hora13	974,11	975,31	991,24	946,63	1157,21	1053,87	760,05	1104,26	1108,09	750,49	976,32	708,57	958,85
Hora14	883,39	955,87	938,22	929,70	1098,95	1023,30	647,14	1052,90	1100,90	706,41	957,89	681,26	914,66
Hora15	781,15	842,82	859,69	799,00	985,97	913,74	507,98	942,42	956,17	510,35	795,25	561,04	787,97
Hora16	467,18	771,02	769,08	629,54	767,31	629,39	354,44	670,11	687,36	312,20	557,09	319,65	577,86
Hora17	237,69	542,38	410,61	424,05	443,67	435,25	219,39	401,71	417,71	141,68	213,31	150,28	336,48
Hora18	89,61	377,59	187,22	202,43	230,56	179,33	80,96	175,31	181,81	23,17	63,86	23,18	151,25
Hora19	0,49	252,61	31,12	31,76	23,78	4,74	2,61	44,16	44,16	0,00	8,50	0,00	36,99
Hora20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROMEDIO	269,26	331,06	319,44	300,20	362,00	333,48	221,08	338,03	352,47	206,67	285,51	191,80	

DATOS RADIACION SOLAR W/m² - ESTACION CLUB CAMPESTRE 2020-2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Hora05	0,00	0,00	0,25	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,80	0,75	0,44
Hora06	0,00	0,00	19,75	29,50	12,00	7,80	2,40	2,20	3,60	4,20	68,20	20,00	14,14
Hora07	59,75	49,75	126,25	158,50	132,67	109,20	104,40	109,80	127,40	82,40	201,60	97,00	113,23
Hora08	206,25	207,00	277,75	315,00	275,33	291,80	308,80	275,00	303,60	206,20	329,40	247,00	270,26
Hora09	364,50	382,50	436,00	477,25	390,00	442,20	451,40	453,80	462,20	347,80	464,80	404,25	423,06
Hora10	518,75	545,50	576,00	602,00	503,00	588,00	585,00	597,40	613,40	460,40	520,80	523,00	552,77
Hora11	638,50	637,00	653,00	676,75	602,67	670,40	694,80	690,20	694,60	546,60	536,80	597,50	636,57
Hora12	683,50	726,00	710,25	734,75	651,33	656,00	650,80	664,40	701,60	585,60	542,20	602,00	659,04
Hora13	676,00	721,25	699,50	657,50	606,67	724,40	750,00	744,20	759,40	564,40	504,80	604,75	667,74
Hora14	619,25	659,25	651,25	607,25	532,67	679,40	675,60	604,80	631,00	518,60	428,40	480,25	590,64
Hora15	514,25	562,00	553,50	470,75	489,33	558,20	561,40	491,00	498,00	426,80	359,00	429,00	492,77
Hora16	385,75	408,75	392,25	336,00	343,33	441,00	430,00	380,20	386,60	311,00	260,00	278,50	362,78
Hora17	198,00	242,00	242,75	148,75	192,00	232,40	250,60	253,20	253,20	162,60	102,20	127,25	200,41
Hora18	42,75	50,50	68,75	28,75	38,00	73,40	80,40	73,00	73,00	25,80	7,80	20,75	48,58
Hora19	0,00	1,00	0,50	0,00	1,67	1,40	2,80	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,85
Hora20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Hora21	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Hora22	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Hora23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROMEDIO	204,47	216,35	225,32	218,47	199,06	228,15	231,18	222,53	229,54	176,77	180,41	184,67	

DATOS RADIACION SOLAR W/m² - ESTACION CDMB 2020-2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01
Hora05	46,09	0,00	154,09	445,17	445,17	469,61	131,65	0,80	1,44	2,91	3,30	1,20	141,79
Hora06	465,63	656,73	397,97	309,97	314,02	279,03	28,68	29,59	51,28	65,30	96,71	39,61	227,88
Hora07	187,17	705,16	204,00	194,35	262,44	136,40	165,35	178,71	265,37	273,98	332,83	190,98	258,06
Hora08	439,96	456,91	463,25	538,81	553,57	380,14	501,80	466,27	510,57	508,89	556,29	430,81	483,94
Hora09	666,70	683,01	725,25	777,82	748,22	559,14	726,26	740,88	766,43	741,03	792,10	662,97	715,82
Hora10	863,10	891,88	917,33	991,14	941,83	699,21	904,49	918,37	923,62	882,67	906,44	806,07	887,18
Hora11	1002,92	1006,00	1016,10	1059,75	1000,29	785,41	980,75	1016,75	1035,13	951,39	953,33	874,92	973,56
Hora12	1064,25	1067,75	1093,38	1071,15	1079,50	820,83	997,45	1011,36	1081,04	1012,50	991,56	947,05	1019,82
Hora13	1082,51	1103,00	1070,79	1058,43	1086,34	734,13	962,13	1060,72	1100,34	998,82	941,51	874,01	1006,06
Hora14	939,09	986,19	983,61	996,30	1019,77	671,70	859,90	949,81	957,06	791,16	819,66	806,26	898,37
Hora15	769,47	780,87	768,50	766,47	652,13	398,39	495,87	748,64	787,17	741,21	669,73	627,14	683,80
Hora16	486,33	527,89	506,93	523,07	462,66	261,27	343,62	511,75	514,00	453,48	421,45	401,22	451,14
Hora17	668,32	486,37	560,90	813,16	804,14	1032,79	198,80	249,77	249,77	188,28	143,68	159,95	462,99
Hora18	203,19	349,72	484,09	157,72	158,98	349,17	259,08	54,94	54,94	26,96	11,92	26,85	178,13
Hora19	0,22	1,83	0,39	0,23	0,25	0,82	1,56	0,49	0,49	0,00	0,00	0,00	0,52
Hora20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hora23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROMEDIO	370,21	404,30	389,44	404,31	397,05	315,75	314,89	330,79	345,78	318,27	318,35	285,38	

Apéndice D. Datos de velocidad de viento 2024

DATOS VELOCIDAD VIENTO km/h - ESTACION ACUPULCO 2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00						0.00	0.00	0.04	0.12	0.42	0.25	0.29	0.16
Hora01						0.01	0.03	0.38	0.16	0.38	0.13	0.23	0.19
Hora02						0.01	0.04	0.34	0.25	0.31	0.16	0.16	0.18
Hora03						0.03	0.00	0.19	0.26	0.20	0.14	0.17	0.14
Hora04						0.00	0.00	0.34	0.24	0.18	0.13	0.21	0.16
Hora05						0.00	0.00	0.24	0.25	0.18	0.15	0.16	0.14
Hora06						0.00	0.00	0.20	0.20	0.09	0.13	0.19	0.12
Hora07						0.00	0.00	0.29	0.21	0.22	0.08	0.20	0.14
Hora08						0.00	0.00	0.34	0.27	0.49	0.11	0.35	0.22
Hora09						0.04	0.01	0.79	0.39	0.55	0.27	0.54	0.37
Hora10						0.03	0.00	1.02	0.46	0.61	0.49	0.65	0.47
Hora11						0.01	0.03	1.07	0.52	0.71	0.66	1.03	0.58
Hora12						0.18	0.20	0.98	0.93	1.19	1.13	1.37	0.85
Hora13						0.48	0.47	1.17	1.52	1.47	1.48	1.66	1.18
Hora14						0.66	0.44	1.88	1.61	1.58	1.52	1.78	1.35
Hora15						0.63	0.56	1.53	1.92	1.60	1.54	1.76	1.36
Hora16						0.50	0.46	1.17	1.69	1.50	1.47	1.82	1.23
Hora17						0.27	0.29	1.07	1.32	1.28	1.24	1.57	1.01
Hora18						0.26	0.23	1.13	1.06	0.98	1.05	1.24	0.85
Hora19						0.09	0.12	1.08	0.69	0.89	0.98	0.98	0.69
Hora20						0.03	0.08	0.43	0.32	0.69	0.94	0.79	0.47
Hora21						0.04	0.06	0.24	0.13	0.35	0.85	0.50	0.31
Hora22						0.03	0.04	0.04	0.05	0.32	0.60	0.43	0.22
Hora23						0.01	0.00	0.00	0.07	0.25	0.38	0.43	0.16
PROMEDIO						0.14	0.13	0.67	0.61	0.68	0.66	0.77	

DATOS VELOCIDAD VIENTO km/h - ESTACION CLUB CAMPESTRE 2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	0.38	0.44	0.40	0.46	0.48	0.35	0.40	0.40	0.42	0.41	0.38		0.41
Hora01	0.35	0.54	0.39	0.41	0.40	0.35	0.35	0.48	0.39	0.44	0.33		0.40
Hora02	0.36	0.37	0.42	0.44	0.44	0.39	0.42	0.42	0.44	0.41	0.39		0.41
Hora03	0.38	0.41	0.45	0.48	0.38	0.39	0.36	0.43	0.42	0.41	0.32		0.40
Hora04	0.36	0.46	0.37	0.44	0.38	0.36	0.32	0.44	0.41	0.40	0.37		0.39
Hora05	0.37	0.44	0.42	0.37	0.30	0.38	0.37	0.39	0.44	0.35	0.33		0.38
Hora06	0.39	0.46	0.36	0.44	0.34	0.38	0.36	0.35	0.40	0.44	0.35		0.39
Hora07	0.36	0.49	0.42	0.46	0.42	0.41	0.35	0.54	0.50	0.39	0.48		0.44
Hora08	0.60	0.53	0.51	0.47	0.52	0.50	0.48	0.58	0.65	0.71	0.54		0.55
Hora09	0.59	0.66	0.68	0.63	0.64	0.66	0.71	0.75	0.73	0.74	0.67		0.68
Hora10	0.71	0.90	0.88	0.84	0.80	0.73	0.70	0.82	0.80	0.96	0.86		0.82
Hora11	1.12	1.20	1.21	1.18	1.08	0.96	0.94	1.02	0.94	1.13	1.30		1.10
Hora12	1.84	1.93	1.69	1.51	1.41	1.38	1.28	1.36	1.40	1.64	1.75		1.56
Hora13	2.08	2.26	1.93	1.86	1.74	1.48	1.61	1.60	1.71	1.77	1.85		1.81
Hora14	2.09	2.15	1.84	1.74	1.84	1.57	1.50	1.55	1.63	1.75	1.91		1.78
Hora15	2.13	2.26	1.77	1.63	1.69	1.56	1.39	1.61	1.72	1.84	1.74		1.76
Hora16	1.95	2.20	1.78	1.33	1.54	1.40	1.40	1.51	1.67	1.54	1.54		1.62
Hora17	1.77	1.81	1.60	1.42	1.48	1.19	1.39	1.20	1.38	1.23	1.45		1.45
Hora18	1.27	1.42	1.14	1.13	1.02	0.88	0.99	1.01	1.06	1.00	1.05		1.09
Hora19	0.90	0.95	0.82	0.88	0.74	0.72	0.71	0.69	0.71	0.90	0.88		0.81
Hora20	0.67	0.90	0.68	0.66	0.68	0.68	0.59	0.50	0.66	0.77	0.67		0.68
Hora21	0.45	0.62	0.66	0.50	0.54	0.50	0.52	0.58	0.57	0.53	0.59		0.55
Hora22	0.42	0.58	0.46	0.38	0.52	0.49	0.47	0.51	0.52	0.52	0.41		0.48
Hora23	0.44	0.52	0.38	0.41	0.38	0.44	0.41	0.45	0.46	0.46	0.41		0.43
PROMEDIO	0.92	1.02	0.89	0.84	0.82	0.76	0.75	0.80	0.83	0.86	0.86		

DATOS VELOCIDAD VIENTO km/h - ESTACION CDMB 2024													
FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Hora00	0.51	0.61	0.66	0.55	0.65	0.55	0.61	0.61	0.57	0.57	0.64	0.55	0.59
Hora01	0.58	0.79	0.73	0.72	0.52	0.60	0.48	0.56	0.49	0.72	0.59	0.76	0.63
Hora02	0.66	0.63	0.67	0.49	0.56	0.64	0.78	0.64	0.75	0.76	0.57	0.70	0.65
Hora03	0.60	0.72	0.65	0.75	0.57	0.55	0.54	0.72	0.75	0.63	0.59	0.70	0.65
Hora04	0.72	0.66	0.49	0.72	0.70	0.57	0.59	0.61	0.65	0.74	0.79	0.69	0.66
Hora05	0.66	0.60	0.68	0.60	0.70	0.54	0.54	0.71	0.70	0.74	0.74	0.67	0.66
Hora06	0.51	0.64	0.70	0.69	0.50	0.69	0.66	0.62	0.63	0.61	0.62	0.57	0.62
Hora07	0.64	0.54	0.69	0.67	0.58	0.55	0.66	0.81	0.74	0.58	0.65	0.71	0.65
Hora08	0.79	0.80	0.74	0.81	0.73	0.83	0.75	0.73	0.70	0.77	0.55	0.89	0.76
Hora09	0.94	0.91	0.87	0.93	1.04	0.93	0.76	0.88	0.81	0.79	0.79	0.80	0.87
Hora10	0.96	1.11	0.93	0.92	0.96	0.77	0.75	0.94	0.99	1.12	0.65	1.10	0.93
Hora11	1.13	1.22	1.12	1.12	1.20	0.87	0.99	1.00	0.75	0.92	1.02	0.97	1.03
Hora12	1.08	1.23	1.13	1.22	1.31	1.07	0.94	1.06	1.21	1.35	1.17	1.11	1.16
Hora13	1.34	1.32	1.22	1.54	1.25	1.30	1.39	1.24	1.28	1.17	1.34	1.51	1.33
Hora14	1.20	1.45	1.53	1.45	1.05	1.01	1.28	1.41	1.35	1.19	1.32	1.17	1.28
Hora15	1.44	1.25	1.36	1.06	1.39	1.31	1.28	1.04	1.37	1.32	0.97	1.34	1.26
Hora16	1.23	1.18	1.17	1.29	0.98	1.24	1.10	1.14	1.23	1.35	1.02	1.39	1.19
Hora17	1.09	1.05	1.14	1.01	1.03	1.23	1.09	0.97	1.31	1.24	1.35	1.33	1.15
Hora18	0.89	0.88	0.86	0.73	1.00	0.87	0.87	0.86	0.78	1.05	0.89	0.91	0.88
Hora19	0.69	0.87	0.72	0.77	0.74	0.74	0.76	0.77	0.91	0.63	0.80	0.82	0.77
Hora20	0.69	0.57	0.59	0.97	0.52	0.66	0.70	0.74	0.74	0.73	0.87	0.67	0.70
Hora21	0.58	0.50	0.68	0.80	0.61	0.66	0.56	0.81	0.79	0.59	0.75	0.89	0.69
Hora22	0.63	0.64	0.65	0.49	0.66	0.66	0.53	0.85	0.74	0.64	0.62	0.52	0.64
Hora23	0.67	0.61	0.56	0.46	0.56	0.60	0.57	0.62	0.65	0.56	0.68	0.64	0.60
PROMEDIO	0.84	0.87	0.86	0.86	0.83	0.81	0.80	0.85	0.87	0.87	0.83	0.89	