

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTES

TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN
ARQUITECTURA Y SOSTENIBILIDAD

“EFECTO DE LA MORFOLOGÍA URBANA SOBRE EL FENÓMENO
ISLA DE CALOR EN EL ESPACIO PÚBLICO, CASO DE ESTUDIO
CENTRO DE MANZANA DEL BARRIO SOLANDA EN EL SUR DE LA
CIUDAD DE QUITO”

Volumen I

FABIÁN MARCELO MALDONADO GONZÁLEZ

DIRECTOR: MST. ARQ. KENNY ESPINOZA CARVAJAL

QUITO-ECUADOR

2019

Presentación:

El Trabajo de Titulación: “EFECTO DE LA MORFOLOGÍA URBANA SOBRE EL FENÓMENO ISLA DE CALOR EN EL ESPACIO PÚBLICO, CASO DE ESTUDIO CENTRO DE MANZANA DEL BARRIO SOLANDA EN EL SUR DE LA CIUDAD DE QUITO”, se entrega en un CD que contiene:

El Volumen I: investigación que da sustento al proyecto de tesis y a la presentación para la defensa pública, todo en formato PDF

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi esposa Johanna, por su comprensión, por sus palabras de aliento y perseverancia que han sido mi apoyo constante a lo largo de este camino, a mis padres Gabriel y Martha por brindar esa mano incondicional a lo largo de mi vida, a mis hermanos y sobrinos por su preocupación y apoyo en los momentos importantes de mi vida.

Agradecimiento

Agradezco a los profesores de la maestría de Arquitectura y Sostenibilidad, por sus valiosos conocimientos impartidos en las aulas, también agradezco a las personas del barrio Solanda que permitieron llevar a cabo las mediciones in situ en sus viviendas para la presente tesis, y de manera especial agradezco al Mst. Arq. Kenny Espinoza, quien, con su importante guía recibida desde las aulas, ha permitido llevar a cabo con acierto el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	- 1 -
INTRODUCCIÓN GENERAL	- 1 -
1 Resumen	- 1 -
1.1 Introducción	- 2 -
1.2 Problemática	- 3 -
1.3 Pertinencia de la investigación.....	- 4 -
1.4 Hipótesis	- 6 -
1.5 Objetivo General.....	- 6 -
1.6 Objetivos Específicos	- 6 -
1.7 Productos Esperados	- 7 -
CAPÍTULO 2	- 8 -
ESTADO DEL ARTE	- 8 -
2 Autores Referentes	- 8 -
2.1 Caracterización de la Isla de Calor a nivel internacional.....	- 10 -
2.2 Caracterización de la isla de calor a nivel local.....	- 12 -
CAPÍTULO 3	- 15 -
MARCO CONCEPTUAL	- 15 -
3 El clima urbano y su noción	- 15 -
3.1 La isla de calor urbana	- 17 -
3.2 Categorización de la isla de calor urbana (ICU).....	- 21 -
3.3 Balance energético en la Isla de Calor Urbana	- 25 -
3.4 Calor Antropogénico y su noción	- 27 -
3.5 Materiales de acabado en la Isla de Calor Urbana.....	- 28 -
3.6 Vegetación urbana y su influencia en la ICU	- 30 -
3.7 Configuración del cañón urbano.....	- 31 -
3.8 Rugosidad urbana y contexto de la ICU	- 34 -
CAPÍTULO 4	- 37 -
APROXIMACIÓN AL CASO DE ESTUDIO.....	- 37 -
4 Historia del crecimiento urbano de Quito	- 37 -

4.1	Historia del plan de vivienda Solanda	- 40 -
4.1.1	Composición urbana del plan de vivienda Solanda.....	- 43 -
4.1.2	Vivienda original	- 44 -
4.1.3	Vivienda actual.....	- 46 -
4.2	El espacio público.....	- 47 -
4.2.1	Uso de los espacios exteriores.....	- 48 -
4.3	Generalidades climáticas del Ecuador	- 49 -
4.4	El clima en la ciudad de Quito.....	- 50 -
CAPÍTULO 5		- 52 -
METODOLOGÍA Y CASO DE ESTUDIO.....		- 52 -
5	Metodología.....	- 52 -
5.1	Selección del caso de estudio.....	- 52 -
5.2	Mediciones in situ.....	- 59 -
5.2.1	Instrumentos de medición.....	- 60 -
5.3	Simulaciones y análisis de casos de estudio	- 62 -
5.3.1	Factor de cielo visible (SVF) en el cañón urbano	- 62 -
5.3.2	Radiación en el cañón urbano.....	- 62 -
5.3.3	Características morfológicas.....	- 63 -
5.3.4	La isla de calor urbana en el barrio Solanda.....	- 65 -
5.3.5	Comportamiento térmico en centros de manzana (H/W)	- 70 -
5.3.6	Comportamiento térmico con software ENVI-met 4	- 78 -
5.3.6.1	Materiales de cobertura	- 80 -
5.3.6.2	Modelado y simulación ENVI-met	- 81 -
5.3.6.3	Configuración del perfil geográfico y climatológico	- 83 -
5.3.6.4	Propiedades térmicas, materiales de cobertura y albedo.....	- 84 -
5.3.6.5	Configuración del perfil vegetal.....	- 85 -
5.3.6.6	Análisis de escenarios	- 85 -
CAPÍTULO 6		- 94 -
CONCLUSIONES.....		- 94 -
BIBLIOGRAFÍA		- 97 -
ANEXOS		- 100 -

ÍNDICE DE LUSTRACIONES

Ilustración 1. Comportamiento térmico del DMQ 1905-2005.....	4
Ilustración 2. Plano del Conjunto de la Urbanización Solanda.....	5
Ilustración 3. Representación conceptual de la estructura de la capa límite urbana.....	9
Ilustración 4. Mapa conceptual de la isla de calor urbano (ICU).....	18
Ilustración 5. Ilustración conceptual de la evolución diurna de la ICU durante condiciones de calma y claridad.....	21
Ilustración 6. Variaciones de las temperaturas superficiales y atmosféricas.....	22
Ilustración 7. Imagen térmica que representa una isla de calor superficial.....	23
Ilustración 8. Capas de análisis para la ICU.....	24
Ilustración 9. Representación esquemática de la atmósfera urbana que ilustra la clasificación de las dos capas de modificación urbana.....	25
Ilustración 10. Representación esquemática de los flujos componentes de la radiación y balance energético de un sitio ideal.....	26
Ilustración 11. Representación esquemática de los flujos componentes en el balance energético del volumen de control urbano.....	27
Ilustración 12. Relación entre la intensidad de la ICU y la población de ciudades Estadounidense, Europeas, Australianas y Neo Zelandesas.....	28
Ilustración 13. Materiales y Albedo Urbano.....	29
Ilustración 14. (a) Imagen visible: baldosa no pintada 3, baldosas pintadas de blanco 1 y 4, baldosa pintada de negro 2. (b) Imagen Infraroja: muestra la diferencia de temperatura superficial.....	29
Ilustración 15. Superficies impermeables y evapotranspiración reducida.....	30
Ilustración 16. (a, b, c) Ejemplos de variedad morfológica en la ciudad de Tokio.....	31
Ilustración 17. Variedad morfológica, Sao Paulo (Brasil).....	31
Ilustración 18: Esquema del cañón urbano.....	32
Ilustración 19. Reflexión en el cañón urbano.....	33
Ilustración 20. Flujos aislados de viento.....	34
Ilustración 21. Interferencias de flujos de viento.....	34
Ilustración 22. Flujo independiente de viento.....	35
Ilustración 23. (A) Recorrido del viento entre edificios alineados. (B) Recorrido del viento entre edificios no alineados.....	35

Ilustración 24. (A) Esquema de la reflexión de los rayos solares en el cañón urbano. (B) Esquema de la reflexión de los rayos solares en campo abierto.....	36
Ilustración 25. Esquema de la forma de organización territorial radial concéntrica (1748-1904).....	37
Ilustración 26. Esquema de la forma de organización territorial longitudinal (1904-1960).	38
Ilustración 27. Plan Jones Odriozola 1942.....	39
Ilustración 28. Parroquias urbanas del distrito metropolitano de Quito.....	40
Ilustración 29. Plan de vivienda de interés social Marquesa de Solanda.....	42
Ilustración 30. Plano de la super-manzana en Solanda.....	44
Ilustración 31. Tipos de clima en el DMQ.....	51
Ilustración 32. Precipitación y temperatura por tipos de clima en el DMQ.....	51
Ilustración 33. Solanda por sectores.....	53
Ilustración 34. Casos de estudio. (A) Centro de manzana original, (B) Centro de manzana modificado.....	54
Ilustración 35. Temperatura promedio Quito (2007-2017).....	59
Ilustración 36. Data logger HOBO UX100-003.....	60
Ilustración 37. Cálculo de radiación con programa Heliodon 2.7.....	62
Ilustración 38. Centro de manzana original, características morfológicas.....	63
Ilustración 39. Centro de manzana original, máscara de sombras y SVF.....	63
Ilustración 40. Centro de manzana modificado, características morfológicas.....	64
Ilustración 41. Centro de manzana modificado, máscara de sombras y SVF.....	64
Ilustración 42. Esquema de ubicación, altura y distancia de las estaciones: Iñaquito, Izobamba y Solanda.....	65
Ilustración 43. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 01/12/2018.....	66
Ilustración 44. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 02/12/2018.....	66
Ilustración 45. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 03/12/2018.....	67
Ilustración 46. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 04/12/2018.....	67
Ilustración 47. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 05/12/2018.....	68

Ilustración 48. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 06/12/2018.....	68
Ilustración 49. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 07/12/2018.....	69
Ilustración 50. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 01/12/2018 y ratio H/W.....	70
Ilustración 51. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 02/12/2018 y ratio H/W.....	71
Ilustración 52. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 03/12/2018 y ratio H/W.....	71
Ilustración 53. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 04/12/2018 y ratio H/W.....	72
Ilustración 54. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 05/12/2018 y ratio H/W.....	72
Ilustración 55. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 06/12/2018 y ratio H/W.....	73
Ilustración 56. Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 07/12/2018 y ratio H/W.....	73
Ilustración 57. Radiación incidente en paramentos verticales el 01/12/2018.....	74
Ilustración 58. Horas de asoleamiento en centro de manzana original el 01/12/2018.....	75
Ilustración 59. Horas de asoleamiento en centro de manzana modificado el 01/12/2018....	75
Ilustración 60. Energía recibida en centro de manzana original el 01/12/2018.....	76
Ilustración 61. Energía recibida en centro de manzana modificado el 01/12/2018.....	76
Ilustración 62. Radiación incidente total en cañones urbanos el 01/12/2018.....	77
Ilustración 63. Esquema inicial del espacio de trabajo “Manage Workspace”.....	78
Ilustración 64. Construcción del modelo ENVI-met, Centro de manzana original, definición de escala y grilla.....	81
Ilustración 65. Modelo 3D ENVI-met, Centro de manzana original.....	81
Ilustración 66. Construcción del modelo ENVI-met, Centro de manzana modificado, definición de escala y grilla.....	82
Ilustración 67. Modelo 3D ENVI-met, Centro de manzana modificado.....	82
Ilustración 68. Construcción del modelo ENVI-met, Centro de manzana histórico, definición de escala y grilla.....	83
Ilustración 69. Centro de manzana original 7 a.m. Programa ENVI-met.....	87

Ilustración 70. Centro de manzana original 2 p.m. Programa ENVI-met.....	87
Ilustración 71. Centro de manzana modificado 7 a.m. Programa ENVI-met.....	89
Ilustración 72. Centro de manzana modificado 2 p.m. Programa ENVI-met.....	89
Ilustración 73. Centro de manzana modificado 7 a.m. Programa ENVI-met.....	90
Ilustración 74. Centro de manzana modificado 2 p.m. Programa ENVI-met.....	90
Ilustración 75. Temperatura máxima del aire simulada en los centros de manzana estudiados el 07/09/2018.....	91
Ilustración 76. Temperatura mínima del aire simulada en los centros de manzana estudiados el 07/09/2018.....	92

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Interior de vivienda en Solanda.....	45
Imagen 2. Calle peatonal en Solanda.....	45
Imagen 3. Tipología de vivienda actual.....	46
Imagen 4. Calle José María Alemán-Eje comercial de Solanda.....	47
Imagen 5. Parqueo de vehículos al interior del centro de manzana.....	56
Imagen 6. Altura de edificaciones al interior del centro de manzana.....	56
Imagen 7. Superficie de hormigón al interior del centro de manzana.....	56
Imagen 8. Acceso vehicular al centro de manzana.....	56
Imagen 9. Centro de manzana original.....	57
Imagen 10. Vegetación en el centro de manzana.....	57
Imagen 11. Superficie cubierta de césped en el espacio público.....	57
Imagen 12. Caminerías y mobiliario urbano en el espacio público al interior del centro de manzana original.....	57
Imagen 13. Protección de sensor a la intemperie.....	61
Imagen 14. HOBO al interior de la protección.....	61
Imagen 15. HOBO en centro de manzana original.....	61
Imagen 16. HOBO en centro de manzana modificado.....	61
Imagen 17. Centro de manzana original, características morfológicas.....	63

Imagen 18. Centro de manzana modificado, características morfológicas.....64
Imágenes 19,20,21. materiales identificados en los casos de estudio.....80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estudios de ciudades de la ICU a nivel continental.....18
Tabla 2. Caracterización de los casos de estudio.....55
Tabla 3. Materiales y albedo en casos de estudio, ENVI-met V4.4.....84
Tabla 4: Materiales de suelo en casos de estudio, ENVI-met V4.4.....84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Temperatura media mensual (°C), Estación Iñaquito (2007-2017).....100
Anexo 2. Temperatura media mensual (°C), Estación Izobamba (2007-2017).....100
Anexo 3. Humedad relativa mensual (%), Estación Iñaquito (2007-2017).....101
Anexo 4. Humedad relativa mensual (%), Estación Izobamba (2007-2017).....101
Anexo 5. Intensidad máxima de ICU en casos de estudio. 05/12/2018.....102

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

1 Resumen

La presente investigación concentra su análisis en el centro de manzana del barrio obrero de Solanda localizado al sur de la ciudad de Quito; Solanda fue diseñada y planificada para brindar un entorno ambiental y espacialmente saludable a sus habitantes. Su implantación se basa en el concepto de integración barrio-ciudad que plantea una articulación de espacios abiertos que se unen espacial y visualmente y se replican en todo el barrio. Esta continuidad del planteamiento urbano se origina a partir de un espacio público generador al interior del módulo urbano más pequeño del barrio que es el objeto de nuestro estudio.

A pesar de que el barrio ha tenido transformaciones notables en su morfología urbana, aún se mantiene legible su trazado urbano original. El presente trabajo compara dos centros de manzana extremos en su cobertura del espacio público, uno mantiene los espacios verdes diseñados originalmente, otro ha cambiado totalmente la cobertura vegetal inicial por una superficie mineral no permeable de hormigón, generando condiciones y usos distintos del espacio público en la actualidad. Ambos centros de manzana poseen alteraciones morfológicas importantes en su contexto urbano inmediato, tanto en ocupación de retiros: frontales, laterales y posteriores, como en alturas de edificaciones, permitiendo establecer la incidencia de la morfología urbana en el efecto isla de calor urbana (ICU) a nivel barrial.

En los cañones urbanos escogidos se realiza mediciones in situ durante una semana para determinar la temperatura del aire y compararla con las temperaturas de una estación meteorológica rural cercana al sur de la ciudad de Quito (Izobamba). Esta comparación permite identificar la intensidad del fenómeno ICU y su comportamiento tanto en día como en la noche. Se realiza el análisis morfológico de los cañones urbanos, su relación alto/ancho (H/W), factor de cielo visible (SFV) y radiación solar recibida en las superficies horizontales

y verticales. Mediante este análisis, se determina el comportamiento térmico del espacio público analizado con relación a los componentes urbanos verticales y horizontales que lo contienen. Se lleva a cabo simulaciones de los casos de estudio en un día tipo de verano caracterizando la vegetación de los espacios en base al diseño original del plan de vivienda (histórico), modelo que es útil para comparar con los casos actuales estudiados determinando la incidencia de la vegetación sobre el comportamiento de la ICU.

1.1 Introducción

La superficie de la tierra que corresponde a un porcentaje menor al 2% es ocupada por las ciudades, siendo estas las que contribuyen principalmente al cambio climático con una producción de dióxido de carbono que corresponde a más del 60% del total y producen una cantidad importante de emisiones de los gases de efecto invernadero; con un consumo energético mundial del 78% (...). (UN-Habitat, 2012)

Durante los últimos cincuenta años las ciudades se han multiplicado por seis, este fenómeno posiciona a América Latina y el Caribe como la región más urbanizada del mundo; pero en relación a su territorio, es una de las menos pobladas. Sus ciudades son habitadas con casi el 80% de su población, estos datos son incluso mayores a los de los países más desarrollados. (Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos / Oficina Regional para América Latina y el Caribe: ONU-Habitat, 2012). Las perspectivas no son alentadoras, se prevé que para el año 2030, de los 725 millones de habitantes proyectados 600 millones vivirán en zonas urbanas. (BID, 2009)

En el medio urbano se genera un balance energético presente entre el suelo y el aire, influenciado por elementos como calles, aceras y edificaciones, disminuyendo la evaporación y la velocidad del viento, aumentando turbulencias y escorrentía superficial urbana. Todas estas interacciones generan un clima urbano específico y un aire altamente contaminado caracterizado por un incremento de la temperatura con respecto al área suburbana. Uno de los efectos más significativos sobre el entorno natural y su transformación lo constituye la

ciudad, esta produce impactos tanto en el perfil del suelo natural como en las condiciones climáticas y medioambientales. (Fernández García & Martilli, 2012)

1.2 Problemática

Dentro de las investigaciones climáticas realizadas por Oke (1978) se destaca que existe un comportamiento térmico diferenciado entre el contexto urbano y el ambiente rural consecuencia de un cambio radiactivo, aerodinámico y al resultado del aire contaminado, estas condiciones modifican significativamente el clima local y crean nuevos contextos medioambientales definidos como microclima urbano. Podemos afirmar entonces que la diferencia de la temperatura en el contexto urbano en relación al medio rural es el resultado de la interacción producida por el trazado urbano y sus componentes: aceras, calles (pavimento, hormigón) y edificaciones. (Tumini, 2012)

(NiKolopoulou, Baker, y Steemers, 2001; NiKolopoulou, 2004; NiKolopoulou y Lykoudis, 2006; Smith y Levermore, 2008) afirman que:

Actualmente la mayoría de la población vive en las ciudades, por lo tanto, son afectadas por el aire nocivo del ambiente; el incremento de temperatura también puede afectar principalmente a la salud de las personas que residen en ella y que aumenta las probabilidades de muerte principalmente para las personas que poseen mayor riesgo. También las condiciones climáticas inadecuadas condicionan negativamente el uso y la frecuencia del espacio público por parte de los habitantes. Citado en (Tumini, 2012, p. 2)

El espacio público de fundamental importancia para las relaciones e intercambio de flujos de información y servicios al interior de la ciudad, se convierte en la base física de soporte de las actividades sociales de los habitantes. Consecuentemente, los condicionantes

urbanos incidentes en la calidad ambiental de este espacio son la motivación de la presente investigación.

1.3 Pertinencia de la investigación

La información al año 2015 que correspondió al porcentaje de la población mundial que reside en las ciudades fue del 53%, porcentaje que asciende al 77% en los países desarrollados. Lo que muestra que un total de 3.87 billones de personas están desarrollando sus actividades cotidianas en ambientes no adecuados, se presenta entonces, una afectación a la salud, economía y medio ambiente urbano. Por lo tanto, se vuelve necesario el estudio de la ICU, entender su comportamiento para poder generar y proyectar estrategias de mitigación que se apliquen a la planificación urbanística. (Romero, 2016)

Se estima que entre 1891 y 1999, la temperatura media en la parte urbana del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) aumentó entre 1,2°C y 1,4°C. (Secretaría de Ambiente, 2016)

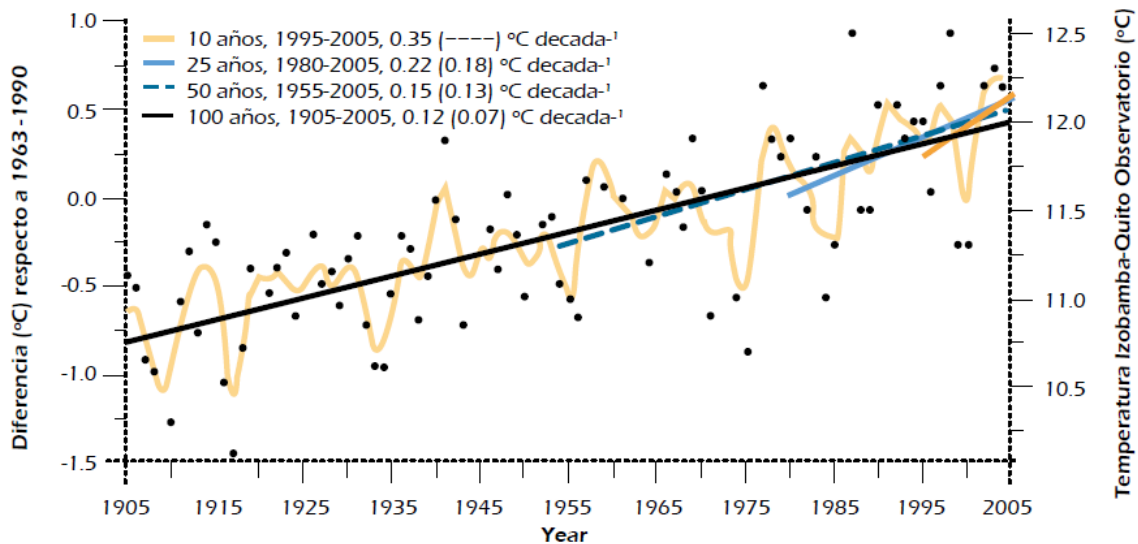


Ilustración 1: Comportamiento térmico del DMQ 1905-2005. Extraído de: Atlas Ambiental 2016 Quito Sostenible. (Ambiente, 2016.)

El DMQ tenía una población de 2'239.191 habitantes al año 2010 según el censo de población y vivienda, el 72% de esta población residen en la zona urbana y el 28% en las áreas rurales y los valles. (Secretaría de Ambiente, 2016) El barrio Solanda localizado al sur de la ciudad de Quito ha sufrido un incremento en su población, pasando de una proyección inicial de 32562 habitantes a 120000 habitantes aproximadamente en la actualidad.

De acuerdo a la investigación “Climate Comparison in the urban áreas of the Oyambaro and Quito Valleys” publicada en FICUP 2016 First International Conference on Urban Physics (Quito-Galápagos 2016) se caracteriza a Quito como una ciudad de varios microclimas y en base a este análisis, se concluye que es muy necesario tanto para urbanistas como para arquitectos desarrollar los proyectos con datos climáticos desarrollados localmente. (Jiménez & Van Sluys, 2016).

Se indica entonces que en la actualidad no se cuenta con muchos estudios e investigaciones conducentes al análisis del microclima y su relación con la morfología urbana a nivel local o barrial, por lo tanto, se justifica la pertinencia de la presente investigación al aportar al entendimiento del comportamiento micro climático del espacio público en el barrio Solanda por sus peculiares características urbanas antes descritas.

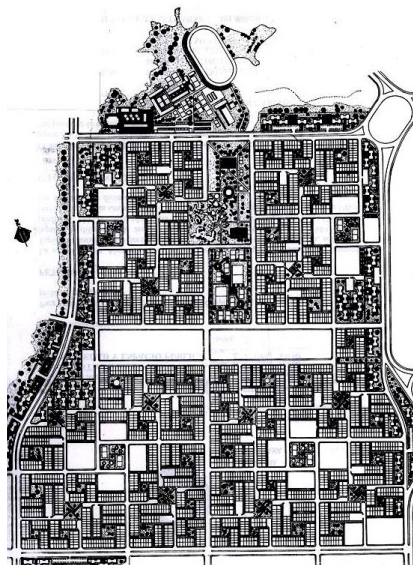


Ilustración 2: Plano del Conjunto de la Urbanización Solanda. Extraído de: Trama, revista de Arquitectura. (Trama, 1981)

1.4 Hipótesis

Es posible comprobar los efectos que el medio urbano construido produce en el comportamiento térmico al interior del centro de manzana objeto de estudio y como aportan a la generación del efecto isla de calor en el espacio público.

1.5 Objetivo General

Contribuir a entender los efectos de la morfología urbana sobre el comportamiento térmico diario en el espacio público con el fin de aportar consideraciones teóricas que ayuden al entendimiento de las interacciones de los cañones urbanos sobre los microclimas urbanos a escala barrial.

1.6 Objetivos Específicos

- Determinar la existencia del fenómeno isla de calor urbana al interior del centro de manzana.
- Analizar el comportamiento térmico del espacio público (centros de manzana) a partir de la modelación y simulación informática que permita analizar la geometría urbana escogida y el microclima.
- Establecer una relación entre el comportamiento térmico al interior de la manzana, la morfología urbana y superficies que conforman el cañón urbano escogido.
- Analizar la incidencia e importancia de las áreas verdes dentro del espacio público analizado mediante el uso de herramientas informáticas de simulación.

1.7 Productos Esperados

- Aportar al entendimiento de los efectos térmicos generados en los centros de manzana del barrio Solanda por la transformación urbana realizada en el barrio desde sus inicios y generar aportes teóricos desarrollados en la investigación que guíen estrategias de mitigación replicables de la ICU.
- Campaña de mediciones in situ para determinar el comportamiento térmico durante una semana tipo y determinar la intensidad de la isla de calor urbano en el centro de manzana.
- Metodología de análisis para determinar la variación térmica en el microclima de los espacios públicos a nivel barrial, considerando las características morfológicas del cañón urbano tales como: relación H/W, radiación recibida y temperatura del aire.
- Simulación de escenarios de los centros de manzana escogidos como casos de estudio, con herramientas informáticas considerando la implantación inicial del barrio como modelo teórico de mejora para el barrio y la ciudad.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2 Autores Referentes

La isla de calor urbana es un fenómeno presente en las ciudades a nivel mundial, principalmente radica en la diferencia de temperatura al interior de la ciudad con respecto a las temperaturas del medio urbano rural circundante, este fenómeno influye en la salud de las personas, así como en las condiciones del espacio público. Algunos autores han estudiado este fenómeno por la importante relación que tiene en la creciente y continua urbanización de las ciudades y el deterioro de la calidad ambiental para el ser humano.

Timothy Richard Oke, PhD, Profesor Emérito de la Universidad de British Columbia es uno de los primeros autores en el estudio de las variables morfológicas urbanas y el microclima, quién desarrolló estudios de climatología urbana aproximadamente durante 30 años. En el año de 1976 contribuyó con la clasificación de las capas atmosféricas urbanas, referente conceptual que se utiliza en investigaciones hasta la actualidad:

- *Capa Baja Urbana (UCL)*: Contiene el espacio entre el suelo y el techo de las edificaciones, en esta capa se han realizado la mayoría de investigaciones. Posee una elevada heterogeneidad espacial y temporal. (Romero, 2016)

- *Capa Límite Urbana (UBL)*: Contiene el espacio entre el techo de las edificaciones hasta 1.5 Km aproximadamente. Se subdivide a su vez en la *Subcapa Rugosa*, una zona de transición con una alta heterogeneidad vertical y horizontal, la *Subcapa Superficial*, donde los flujos verticales ya sí son horizontalmente homogéneos y la *Subcapa Mixta*, donde los flujos verticales son horizontalmente homogéneos y verticalmente uniformes (...). (Romero, 2016.) Ver ilustración 3.

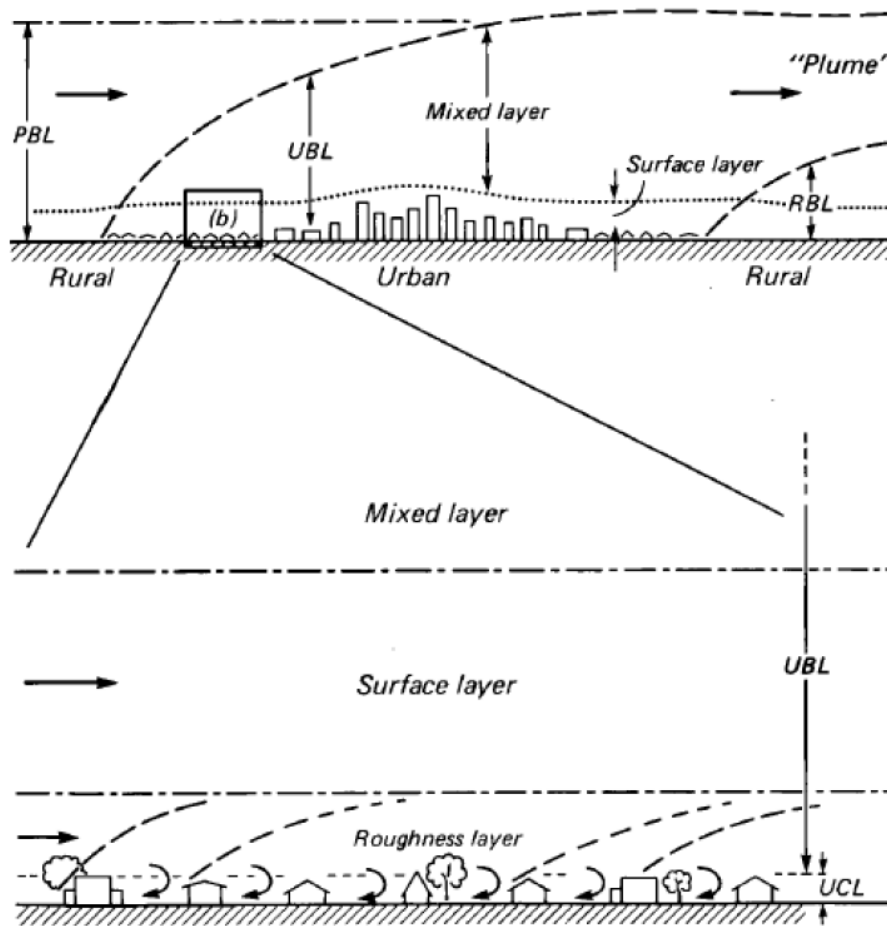


Ilustración 3: Representación conceptual de la estructura de la capa límite urbana. Extraído de: Estudio cuantitativo de los intercambios de calor y humedad en superficies geográficas basado en datos meteorológicos. (Romero, 2016)

Otro autor referente es el Professor Mattheos Santamouris catedrático de la Facultad de Ambiente Construido y Diseño de la Universidad de Nueva Gales del Sur (Sydney-Australia), quién es autor de 15 libros y 290 artículos científicos sobre temas relacionados con la isla de calor, la energía solar y la conservación de la energía en edificios. (Santamouris, 2018)

Una de sus libros considerados en esta investigación es el que lleva como título: Energy and Climate in the Urban Built Environment en el cual desarrolla contenidos relacionados a

los elementos que conforman el entorno urbano y su influencia sobre el medio ambiente, tales como: el balance térmico en el entorno urbano, el efecto isla de calor, el cañón urbano, la radiación sobre el área urbana, el rol de los espacios verdes y el rol de los materiales en el entorno urbano. (Santamouris, 2011)

2.1 Caracterización de la Isla de Calor a nivel internacional

Estas investigaciones iniciales han abierto el camino para nuevos estudios contemporáneos en Europa, como por ejemplo en España:

La tesis doctoral titulada: “El microclima urbano en los espacios abiertos” escrita por Irina Tumini en 2012, se desarrolla partir de que, las relaciones sociales de los habitantes y encuentro ciudadano al interior de la ciudad se realizan en el espacio público. Por lo tanto, su importancia es vital y está condicionada por la sensación térmica del ambiente, de tal manera que el microclima potencia o debilita el uso del espacio público urbano. (Tumini, 2012)

Realiza un análisis aplicado a tres casos localizados en la zona suburbana de Madrid, dentro de la metodología estudia las condiciones climáticas y de confort térmico aplicando diversos escenarios, para ello utiliza dos softwares: ENVI-met 3.1 y ECOTECT Analisis 2010, herramientas útiles de visualización de resultados y permiten relacionar los parámetros ambientales con los morfológicos, teniendo en cuenta la velocidad del viento, humedad relativa, radiación, etc. Afirmando que no se aplica una solución única a los casos estudiados, si no que cada escenario necesita un análisis individual. (Tumini, 2012)

Otra significativa investigación desarrollada también en España, se titula: “Efectos de la Morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona” desarrollada por Elisabetta Cabras en 2014. El trazado vial como espacio abierto

público, define la estructura de la ciudad y cubre una parte significativa de la misma, incidiendo significativamente en la modificación del comportamiento térmico en la urbe y por consiguiente en la intensidad de la isla de calor urbana. (Cabras, 2014). Esta investigación examina la ICU en base al comportamiento térmico de dos barrios urbanos ubicados en la ciudad de Barcelona, caracterizado por calles estrechas y alta densidad.

Se seleccionan cuatro calles por cada barrio dos con dirección NE-SO y dos con dirección NO-SE, cada calle posee distintos valores referentes a la altura y al ancho de la vía (H/W), con la duración de 4 días se efectúa mediciones in situ en julio del 2014 cada dos horas de 7 a.m. a 3 a.m., para contrastar con los datos térmicos obtenidos de la estación meteorológica del aeropuerto, Se utiliza la herramienta informática Heliodon para la modelación y simulación de los cañones urbanos escogidos con el fin de generar el factor de cielo visible (SVF) y calcular la radiación expresada como energía incidente en las fachadas y el suelo del cañón urbano.

La importancia de este estudio radica en el análisis de la forma del cañón urbano, H/W y SVF con las temperaturas diarias tomadas in situ y su orientación, concluyendo que:

Los valores obtenidos (H/W) inciden en el comportamiento térmico del aire al interior las vías estudiadas (...). (Cabras, 2014)

Se indica que la cantidad de radiación captada en las calles estudiadas (cañones urbanos) no se ve afectada mayormente por la orientación de las mismas, considerando esta variable con menor incidencia con relación a (H/W). Se concluye también que la temperatura del aire obtenida en las calles con orientación diferente NE-SO y NO-SE se desarrolla de una forma similar. (Cabras, 2014)

En latinoamérica se han realizado también investigaciones referidas a la ICU, dentro de algunas realizadas en Argentina nombramos la siguiente: “Isla de calor urbano. Monitoreo y Análisis del impacto de la configuración de los espacios sobre la temperatura del aire en la ciudad de Mendoza” desarrollado por: Correa, Érica; De Rosa, Carlos y Lesino, Graciela. Para la toma de datos necesarios para este estudio se utilizó el método de transectos y estaciones fijas localizadas al interior de la ciudad de Mendoza.

Yamashita et al (1994); Unger et al, (2001) afirman que “Uno de los métodos que más se ha utilizado durante más de una década, es el método de transectos urbanos, conocido a nivel internacional como el método móvil de registro más usual para evaluar el comportamiento de la isla de calor urbana”. Citado en (Correa, De Rosa, & Lesino, 2005)

Este método de transectos es utilizado también por el estudio realizado en Valparaíso-Chile: “Factor de cielo visible y el efecto isla de calor en Valparaíso” desarrollado por: Claudio Carrasco, Massimo Palme y Miguel Ángel Gálvez, quienes realizan la toma de datos de temperatura del aire en tres recorridos de un largo aproximado de 5km durante el mes de agosto de 2007 (Invierno) en tres horarios: 10:30 a.m. 14:00 p.m. y 20:00 p.m.

Se concluye que las particularidades morfológicas definen el esquema microclimático de los espacios urbanos como las calles analizadas, también se indica que se verifica una relación entre el comportamiento climático del espacio público y la geometría del cañón estudiado en la ciudad de Valparaíso. (Angel, Palme, & Gálvez, 2016)

2.2 Caracterización de la isla de calor a nivel local

En nuestro país se han desarrollado algunos estudios relacionados a la ICU, podemos citar los siguientes:

“Caracterización de la isla de calor urbana por efectos de la morfología en la ciudad andina de Cuenca, Ecuador” desarrollado por Andrés Bustamante, en este trabajo se escoge 6 cañones urbanos ubicados en el centro histórico de Cuenca y se contrasta su comportamiento térmico, se realiza una campaña de mediciones in situ durante una semana tipo correspondiente a clima cálido durante el mes de noviembre de 2016 y se compara con los datos obtenidos en la estación meteorológica rural Llacao, además se utiliza herramientas informáticas como ECOTECH Analysis 2011 para calcular la relación H/W, SVF, índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI), radiación recibida en los paramentos y superficies horizontales del cañón urbano durante el periodo de 6:00 a.m. a 18:00 p.m. y realiza un análisis de las particularidades morfológicas urbanas y la relación con el comportamiento térmico al interior de los casos de estudio.

Dentro de las conclusiones se indica que: para el caso de Cuenca la orientación de las calles incide significativamente el comportamiento térmico de los casos de estudio. Las calles orientadas de norte a sur se calientan más que las orientadas de este a oeste y pierden calor con mayor facilidad. También se muestra que las calles de este a oeste se comportan de una forma más estable durante el día y la noche. (Bustamante, 2017)

Otro estudio realizado en nuestro país se denomina: “Estimación del efecto isla de calor urbano en la ciudad de Guayaquil”, desarrollado por Massimo Palme, Geovanna Villacreses, Andrea Lobato, Martín Cordovez, José Macias y Guillermo Soriano; utilizan el simulador atmosférico Urban Weather Generator (UWG) desarrollado en el MIT, esta herramienta de computo toma en cuenta: parámetros de morfología urbana, referencias del sitio escogido y construcción.

En Guayaquil se caracterizan 8 sectores y en coordinación con los laboratorios de la ESPOL-Guayaquil, se estudia los materiales predominantes en las cubiertas de los casos estudiados consiguiendo los datos de reflectividad, que luego son incorporados en el software UWG. Se concluye que entre 3 y 4 grados Celsius varían los valores obtenidos en el

fenómeno de la isla de calor urbana existente en Guayaquil durante las tardes y noches, también la investigación sugiere que para una mejor comprensión del fenómeno ICU, se debe obtener datos de temperatura directamente en el sitio de estudio. (Palme, y otros, 2016)

Un referente importante para el presente estudio es el denominado: “Solanda, Porosa y Progresiva” investigación realizada por (Espinoza, Kenny; Espinoza, Santiago; Peñaloza, Diana; Molina, Andy; Cuito, Johana; SantaMaría, Melissa; Villacrés, 2016.) en el Taller: “Aportes para la Densificación”; expuesta en el evento académico HABITAT III-PUCE 2016, en la que se realiza un estudio a la transformación tipológica y al uso de suelo efectuado en las viviendas unifamiliares diseñadas en el Barrio Solanda. “Se ha incrementado el índice de ocupación del 40% en planta baja con un promedio de dos plantas, hasta ocupar actualmente todo el lote de manera excesiva, llegando a un 100% en planta baja con edificabilidad de 300% en tres plantas ó 500% en cinco plantas.” (Espinoza et al., 2016)

En el análisis tipológico, se muestra también que existe una cierta lógica en la manera de construir las viviendas entre vecinos a manera de acuerdos, que se enmarca dentro del modelo de progresividad de los espacios habitables, pasando en algunos casos de vivienda unifamiliar a multifamiliar. (Espinoza et al., 2016). Lo que demuestra la transformación morfológica extrema en algunos casos efectuada en las viviendas del barrio Solanda, su morfología y su efecto en las condiciones de uso en su espacio público (centro de manzana).

De acuerdo a lo expuesto en el estado del arte; un problema creciente en las ciudades es su incremento de temperatura, y que de acuerdo a la predicción del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático IPCC indica que para el fin de siglo habrá un incremento de hasta 6 grados Celsius presente en la región amazónica. Lo que genera un alto interés a nivel global y a diferentes escalas, el comprender las interacciones que tiene la morfología urbana en el balance energético con el medio ambiente y su relación con el microclima en espacios públicos abiertos, como es el motivo del presente estudio.

CAPÍTULO 3

MARCO CONCEPTUAL

3 El clima urbano y su noción

De acuerdo a (Olgyay, 1998) todas las especies vivas deben adaptar su fisiología a través de la selección natural o la mutación, o encontrar defensas apropiadas para enfrentarse a los impactos ambientales.

El refugio fue la defensa más elaborada contra climas hostiles, condiciones que le permitieron a la raza humana poder radicarse y ampliar el espacio de equilibrio biológico asegurando un medio de productividad favorable en un sitio establecido. Circunstancias que permitieron la configuración inicial de los primeros asentamientos que luego conoceríamos como ciudades.

Se ha evidenciado un cambio continuo en las actividades urbanas que antes de 700 años se mantenían de una forma constante en las ciudades, es en estos 200 años precedentes que estos cambios urbanos se presentan rápida y radicalmente. (Cabras, 2014)

De acuerdo a la perspectiva histórica del inicio de las ciudades se puede diferenciar con claridad que existen dos tendencias: la ciudad orgánica y la ciudad geométrica. La primera se asienta por lo general en las partes altas de las montañas y su trazado es sinuoso adyacente y concordante con las curvas de nivel del terreno natural, su tendencia formal es de tipo circular u ovalada. La ciudad geométrica por el contrario tiene un trazado ortogonal de carácter impositivo con la naturaleza del terreno en la cual se asienta alejado del orden natural, su tendencia formal es de tipo lineal y geométrico. (Higueras, 2006)

Los procesos de las configuraciones urbanas a lo largo de la historia y el tiempo se han dado continuamente en función de la unión y superposición de sus trazados urbanos antiguos y modernos, lo que ha generado tejidos espaciales urbanos poco homogéneos y discontinuos.

Las diferencias físicas y morfológicas de los componentes que integran una ciudad tendencialmente producen cambios en el clima de la región a la que pertenecen, lo que conocemos como microclima urbano. Los primeros asentamientos humanos estudiaban el clima como condicionante para escoger el sitio dónde establecerse, mientras que, en la actualidad el clima está fuertemente influenciado por las actividades que el hombre realiza en la ciudad. (Higuera, 2006)

En el año de 1661 en la ciudad de Londres se presenta una obra llamada “Fumifugium” escrita por el autor John Evelyn, la cual desarrolla un escenario en el que los rayos solares no pueden ingresar a la ciudad debido al azufre producido resultado de la incineración del carbón que en aquella época se quemaba en la ciudad. Esta obra se considera como el primer estudio del clima urbano. Existía también en Londres desde el siglo XIII una prohibición a la quema del carbón, principalmente cuando el Parlamento Británico se reunía. Las primeras nociones sobre microclima urbano se escribieron en la antigüedad, citando la percepción sensorial que una persona considera entre un ambiente citadino y uno rural, es así que Landsberg cita en sus escritos algunos relatos de Seneca, refiriéndose a los malolientes humos de Roma y la mejora en su ánimo al ir fuera de la urbe. (Tumini, 2012)

Se evidencia entonces que la ciudad altera las condiciones climáticas de su sitio de asentamiento, pudiendo existir diferencias de temperatura del aire entre los diferentes sectores componentes de la urbe.

En las ciudades se presenta un intercambio energético de diferentes fuentes (naturales y antrópicas), la dinámica de la urbe, sus actividades y su morfología inciden en él. Esta interacción modifica y compone nuevas condiciones climáticas o microclimas urbanos.

Es necesario entonces, incorporar dentro de la planificación urbana de nuestras ciudades a los espacios públicos, con una visión orientada a mejorar la eficiencia energética de la ciudad; incluyendo el análisis de la temperatura y humedad relativa del aire, vegetación, componentes de agua, dirección y velocidad del viento, materiales de cobertura de superficies horizontales y verticales en la conformación urbana. De tal manera que la planificación aporte y garantice ambientes más saludables para el disfrute del peatón en la ciudad.

3.1 La isla de calor urbana

Se define isla de calor urbana (ICU) a la diferencia de condiciones climáticas registradas por un observador situado en la ciudad frente a otro observador localizado en su entorno rural. (Oke, 1987). De acuerdo con las afirmaciones de Landsberg (1981), Todas las urbes soportan el fenómeno de la ICU, siendo su comportamiento la afirmación más clara de la presencia de la ciudad en relación al clima. (A.L. Gómez,1993). Citado en (Tumini, 2012. p. 35)

Los cuerpos de agua como los ríos inciden de una forma significativa al interior de una ciudad pudiendo establecer islas separadas por su presencia física y definir canales fríos. La ICU usualmente se muestra concéntricamente a partir del centro urbano con una mayor intensidad en las noches. (Martínez, 2014) (Ilustración 4)

En el periodo post-guerra (1939-1945) las ciudades empiezan a crecer: industrial, económica y sobre todo territorialmente, viéndose la necesidad de empezar a estudiar las implicaciones del clima en el desarrollo de las ciudades, es así que en 1970 la Organización Meteorológica Mundial promueve un Symposium internacional sobre climas urbanos y se

empieza a promover el estudio de climas a nivel local o ICU. Europa, Norteamérica y Japón son los continentes que más han estudiado el fenómeno ICU en sus ciudades. (Tabla 1).

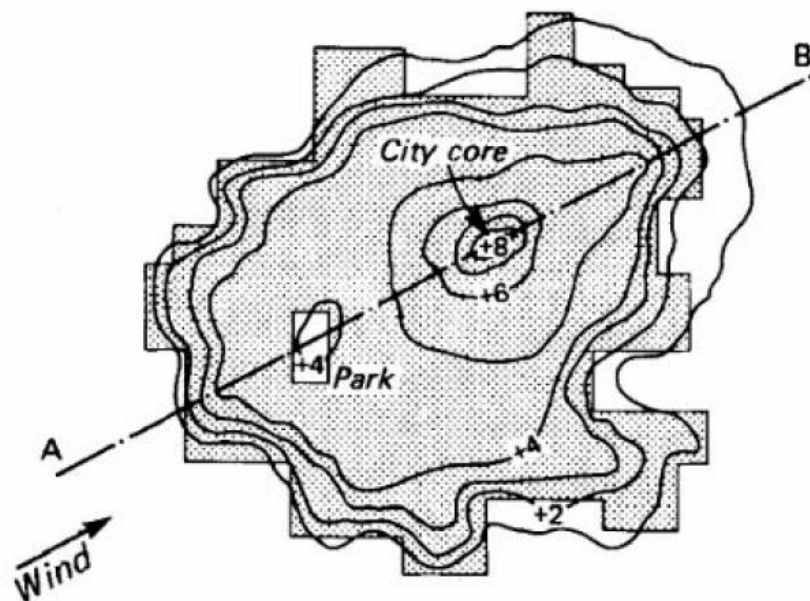


Ilustración 4: Mapa conceptual de la isla de calor urbano (ICU). Extraído de: Boundary layer climates (Oke, 1987)

Tabla 1: Estudios de ciudades de la ICU a nivel continental.

CONTINENTE	CIUDAD	AUTOR	AÑO
EUROPA	París	Dettwiller	1970
	Plymouth	Millward	1976
	Glasgow	Hartley	1977
	Roma	Colacino	1978-1982
	Utrecht	Van Duk	1980
	Cracovia	Morawska y Cebulak	1981
	Viena	Bernhofer	1984
NORTEAMÉRICA	Nueva York	Bornstein	1968-1972
	Montreal	Oke, East y Maxwell	1971 y 1975
	Ciudad de México	Jáuregui	1973
SUDAMÉRICA	Rio de Janeiro	Gallego	1972
	Sao Paulo	Lombardo	1985
ASIA	Hiroshima	Shitara	1957
		Fukuoka y Nobuyuki	1980
	Tokyo	Kayane	1964
		Sasakura	1965
	Delhi	Nishizawa	1979
		Bahl y Padmanabharmurty	1979 y 1982
ÁFRICA	Nairobi	Okoola	1979

Extraído de: Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante. (Martínez, 2014)

De acuerdo a (Martínez, 2014), algunos autores coinciden en citar que los principales factores que generan la ICU son:

1 Las características térmicas y caloríficas de los materiales que cubren las superficies urbanas ayudan a incrementar la temperatura de la ciudad. Estos materiales tienden a calentarse a lo largo del día con la radiación solar de una manera más lenta que las superficies similares desnudas o con cobertura vegetal en el sector rural y por el contrario en la noche las superficies urbanas se enfrían más lentamente que las superficies rurales, por lo que es más evidente la intensidad del fenómeno ICU por la noche.

2 El funcionamiento urbano diario necesita de actividades como: transporte, calefacción, alumbrado público, combustión, etc, lo que genera calor antropogénico incidente en la ICU.

3 El cambio de superficie vegetal por asfalto o pavimento en las superficies urbanas evita la evaporación, los sistemas de drenaje ayudan a una escorrentía rápida y no favorecen al almacenamiento de agua sobre las superficies.

4 Las edificaciones urbanas construidas, al interponerse en la dirección del viento, generan un rozamiento que disminuye la velocidad del mismo, lo que a su vez produce una menor pérdida de calor sensible.

5 La particularidad de las urbes radica en que su forma, favorece la ganancia de absorción solar, la incidencia de la radiación tanto en las calles como en los paramentos verticales ayuda a capturar el calor dentro de su geometría, lo que se denomina como cañón urbano y produce también un albedo relativamente bajo.

6 La geometría urbana de calles y edificios genera una reducción del factor de cielo visible (SVF) incidiendo sobre la pérdida de calor.

7 Las partículas contenidas en el aire contaminado crean un ambiente nocivo que favorece a atrapar la radiación de onda larga que se emite desde el suelo hacia el cielo, esto genera que estas ondas regresen al suelo y no se dirijan normalmente hacia el espacio. (Martínez, 2014)

De acuerdo a (Oke, 1987): La ICU se puede presentar con diferencias significativas entre una ciudad y otra, con características y número de habitantes similares. La magnitud puede verse diferenciada también por la variación del clima, el mes escogido para la caracterización de la ICU y la hora del día.

Tomaremos el tamaño de una ciudad con un millón de habitantes, que puede mostrar una temperatura media anual de 1 a 3 °C superior al contexto rural cercano y puede presentar una intensidad máxima ICU de 12 °C durante las horas nocturnas de verano con escasez de viento. Citado en (Cabras, 2014, p. 11)

Según Kannamma, Meenatchi Sundaram A. (2014) afirman que:

El interés en estudiar el fenómeno ICU se mantiene vigente por su implicación en la calidad ambiental de las ciudades, de tal manera que algunas investigaciones llevadas a cabo en Europa y en ciudades de Norte América como New York y Montreal en Canadá entre otras, demuestran que la ICU se presenta con intensidad, mostrando valores entre 4 °C a 7 °C mayores a su contexto rural inmediato relacionando también su intensidad con el número de habitantes residentes en la ciudad analizada.

Se ha obtenido datos que permiten afirmar que la intensidad de la ICU principalmente presente en las noches ha aumentado entre 1,5°C y 5 °C principalmente en ciudades grandes. Citado en (Cabras, 2014, p. 12) (Ilustración 5)

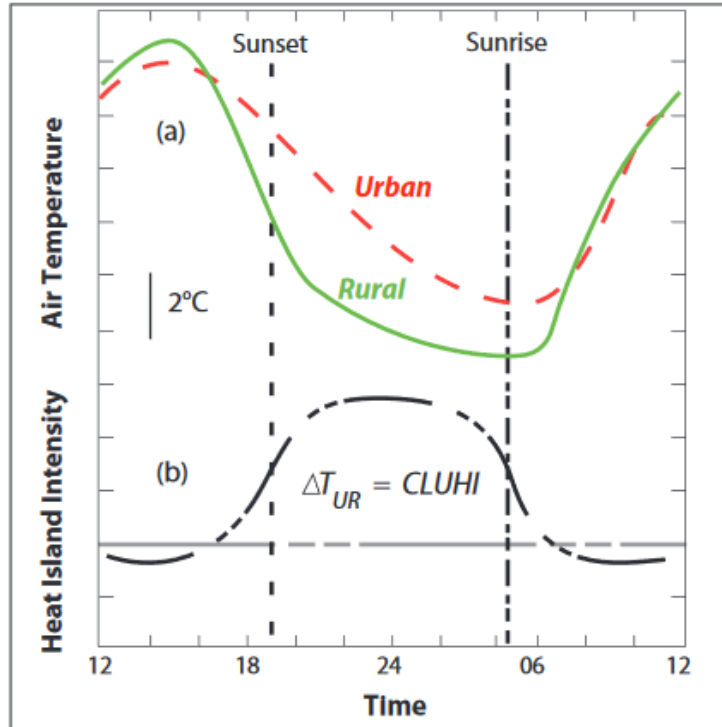


Ilustración 5: Ilustración conceptual de la evolución diurna de la ICU durante condiciones de calma y claridad. Extraído de: Reducing urban heat islands: Compendium of strategies Urban heat island basics. (U.S. Environmental Protection Agency, 2008)

3.2 Categorización de la isla de calor urbana (ICU)

Podemos indicar que la ICU se clasifica bajo dos tipologías, la isla de calor superficial y la isla de calor atmosférica. La isla de calor superficial se genera por la exposición a la radiación solar por parte de las superficies urbanas como cubiertas y calles asfaltadas o pavimentadas expuestas y secas en un día caluroso y soleado, bajo estas condiciones climáticas las superficies se pueden calentar de 27°C a 50°C más que la temperatura del aire, mientras que la temperatura superficial rural generalmente a la sombra bajo la cobertura arbórea y vegetal húmeda, tiende a estar cercana a la temperatura del aire. (Ilustración 6).

La temperatura superficial urbana se presenta tanto en el día como en la noche, teniendo una incidencia mayor en el día por la presencia de la radiación solar. Se indica que en promedio la temperatura superficial urbana en el día difiere de la rural de 10°C a 15°C; al

contrario, en la noche la temperatura superficial disminuye su intensidad presentándose típicamente más baja entre 5°C a 10°C.

La magnitud de la isla de calor superficial depende de las estaciones del año, el clima y las propiedades térmicas y físicas de las superficies urbanas expuestas, presentándose con una magnitud mayor típicamente en verano. Para identificar la ICU algunos investigadores utilizan métodos directos e indirectos, modelos numéricos y estimaciones basadas en modelos empíricos. Los científicos a menudo utilizan sensores remotos, datos para producir imágenes térmicas como la que se muestra en la ilustración 7.

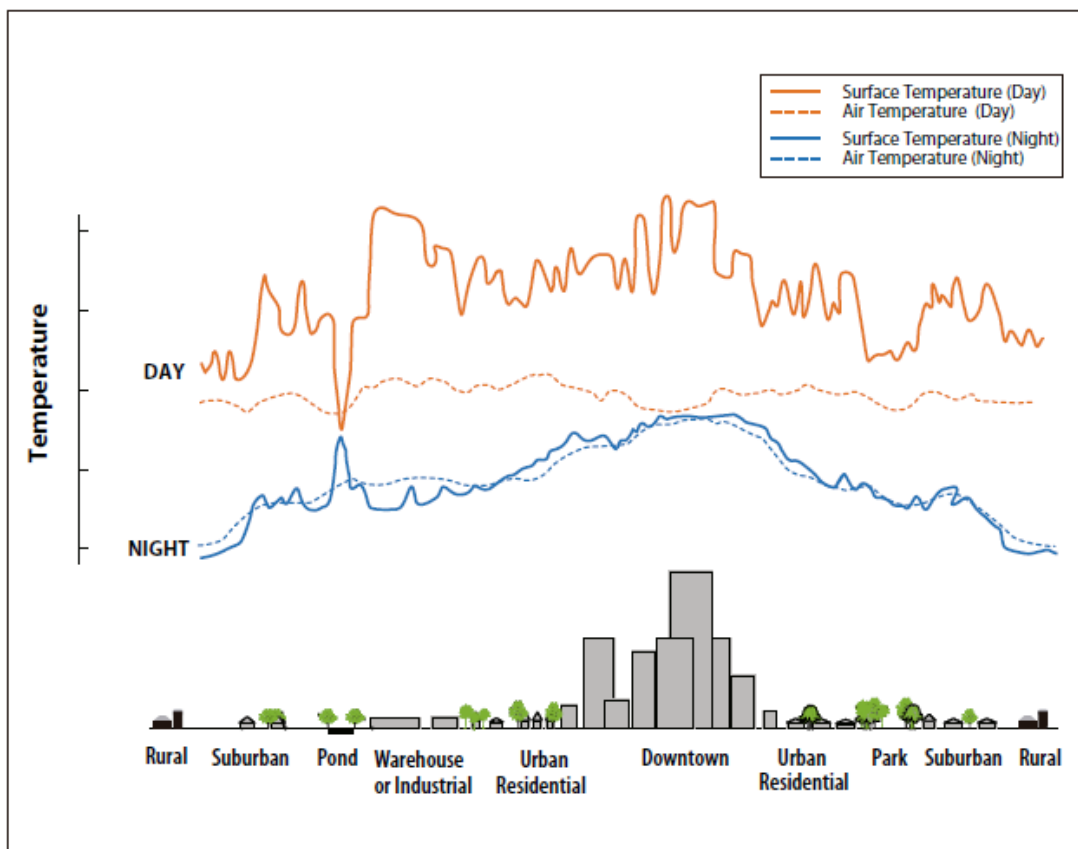


Ilustración 6: Variaciones de las temperaturas superficiales y atmosféricas. Extraído de: Reducing urban heat islands: Compendium of strategies Urban heat island basics. (U.S. Environmental Protection Agency, 2008)

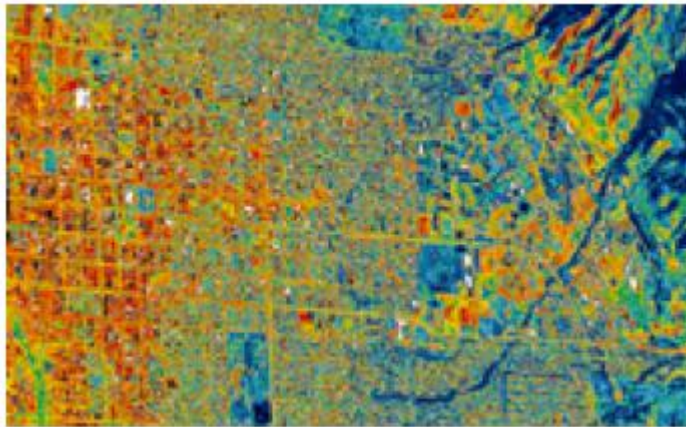


Ilustración 7: Imagen térmica que representa una isla de calor superficial. Extraído de: Reducing urban heat islands: Compendium of strategies Urban heat island basics. (U.S. Environmental Protection Agency, 2008)

La isla de calor atmosférica se define por la diferencia del aire más cálido en las áreas urbanas en comparación con el aire más frío prevaeciente en las zonas rurales cercanas. A su vez los expertos se refieren a una escala de clasificación adicional dentro de la isla de calor atmosférica:

La capa de dosel urbano (urban canopy layer, UCL), la cual se localiza entre el nivel del suelo y los niveles de cubiertas de las construcciones y copas de los árboles; y la capa del domo urbano (urban boundary layer, UBL) la cual se localiza de la media de las cubiertas de las edificaciones hacia arriba, generalmente hasta los 1,5Km.

Relacionando las escalas de la isla de calor atmosférica con el nivel vertical del aire tenemos que la UCL pertenece al nivel de microescala y la capa de UBL se asocia con el nivel de mesoescala que es la capa vertical que se extiende hasta dónde las condiciones climáticas son influenciadas por la ciudad.

De acuerdo a (Acero, 2012; T.R. Oke 1988; Steemers & Steane, 2004; Voogt, 2007; E. Wong, 2005) se afirma que El UCL tiene una altura de 0,1 a 0,3 Km, el UBL va de 0,1-0,3 Km a los 0,6-1.5 Km según los casos. Citado en (Tumini, 2012, p. 38) (Ilustración 9)

Según Voogt (2007), Para obtener datos in situ respecto a las dos escalas de la ICU se siguen dos procedimientos diferentes. La capa atmosférica UBL utiliza instrumentos de medición fijados en techos de los edificios, también utiliza sensores de altura fijados a globos, información aérea, sistemas SODAR, RASS, LIDAR, radiosondas, etc. La capa UCL utiliza instrumentos de medición típicamente colocados al interior de la calle o paramento de vivienda a una altura entre 1,3 a 2m de altura, estos instrumentos necesitan ser protegidos oportunamente de la radiación directa y poseer buena ventilación. Citado en (Tumini, 2012, p.38)

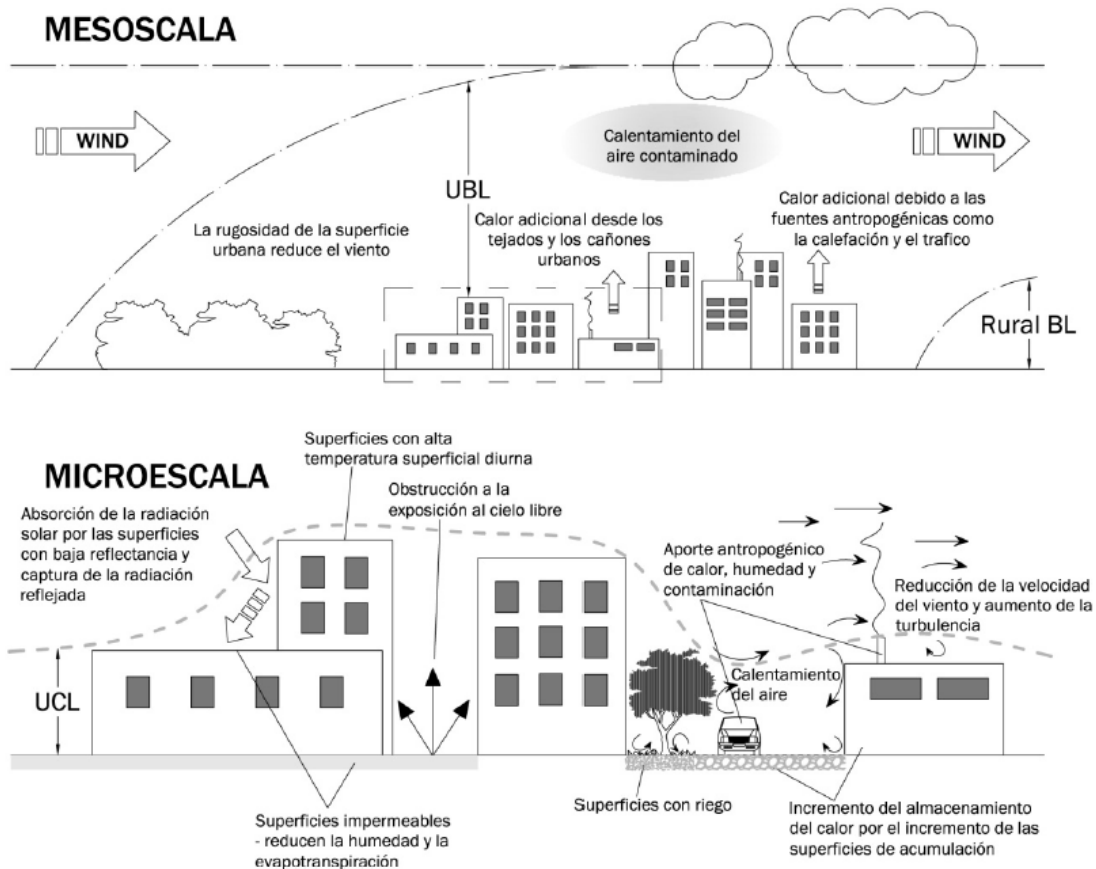


Ilustración 8: Capas de análisis para la ICU. Extraído de tesis doctoral: El microclima urbano en los espacios abiertos: estudio de casos en Madrid, adaptado de Voogt J. How researches meseasure heat island (2006). (Tumini, 2012)

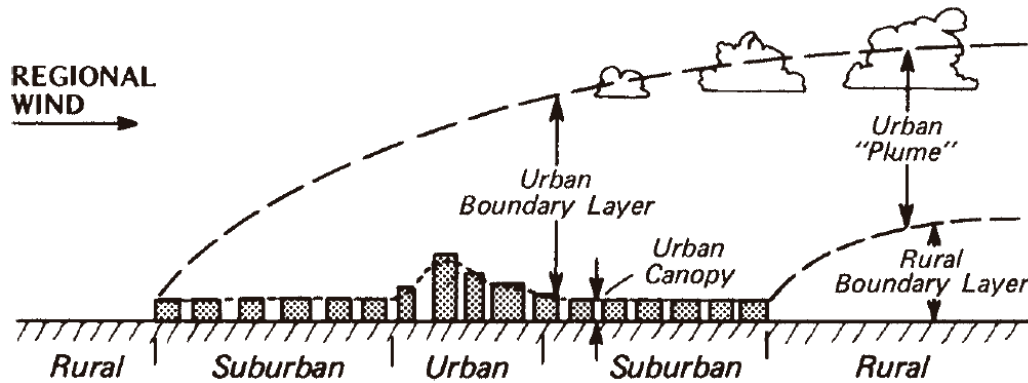


Ilustración 9: Representación esquemática de la atmósfera urbana que ilustra la clasificación de las dos capas de modificación urbana. Extraído de: Boundary layer climates. (Oke, 1987)

Según Cabras (2014), afirma que la morfología y el tejido urbano particular de cada ciudad afecta el comportamiento típico de la ICU, presentando variaciones climáticas a nivel de UCL (microescala) en distintos sectores de la ciudad. Por lo tanto, esta capa atmosférica presenta las condiciones ideales para analizar la temperatura y humedad del aire, rasgos de vientos, turbulencias que se producen y cambian de acuerdo a la disposición y rozamiento de las edificaciones dentro de un mismo barrio.

3.3 Balance energético en la Isla de Calor Urbana

Bajo el antecedente de la primera ley de la termodinámica que señala: “la energía no se crea, ni se destruye, sino que se conserva”. Oke en su libro Boundary layer climates expresa la ecuación de balance térmico de una superficie:

$$Q^* = QH + QE + QG$$

Dónde Q^* representa la radiación solar neta (el valor del balance neto de los flujos radiantes recibidos y reflejados), QH representa el calor sensible (la energía que se requiere para calentar el aire), QE representa el calor latente (realiza un cambio de fase en una

sustancia: evaporación y condensación) y Q_G representa el calor producido por conducción a través de las superficies. (Ilustración 10).

Estos elementos integrantes del balance térmico de una superficie se comportan de una forma en el día y de otra forma diferente durante la noche, su comportamiento también depende del mes del año escogido, de los escenarios atmosféricos diarios, del nivel de humedad de las superficies y del tipo del suelo.

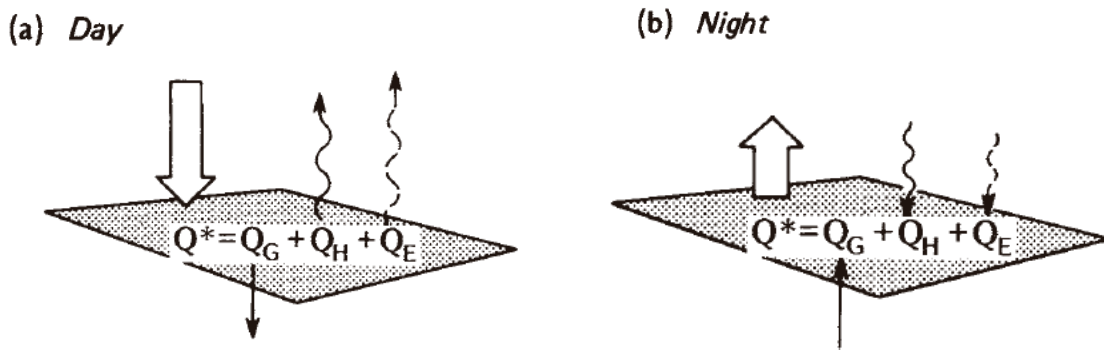


Ilustración 10: Representación esquemática de los flujos componentes de la radiación y balance energético de un sitio ideal. Extraído de: Boundary layer climates. (Oke, 1987)

El cálculo del balance térmico de una superficie urbana es mucho más complejo debido al comportamiento térmico diferenciado de los materiales que cubren la superficie urbana. Para el análisis de la ICU más amplia, se la conceptualiza a partir de un volumen de control en el que intervienen algunas variables adicionales que se expresan en la fórmula: (Oke, 1987)

$$Q^* + QF = QH + QE + \Delta QS + \Delta QA$$

Dónde QF representa el calor antropogénico, ΔQS representa la energía de almacenamiento dentro del volumen de control y ΔQA representa el calor de advección dentro de la cara lateral del volumen de control. (Ilustración 11).

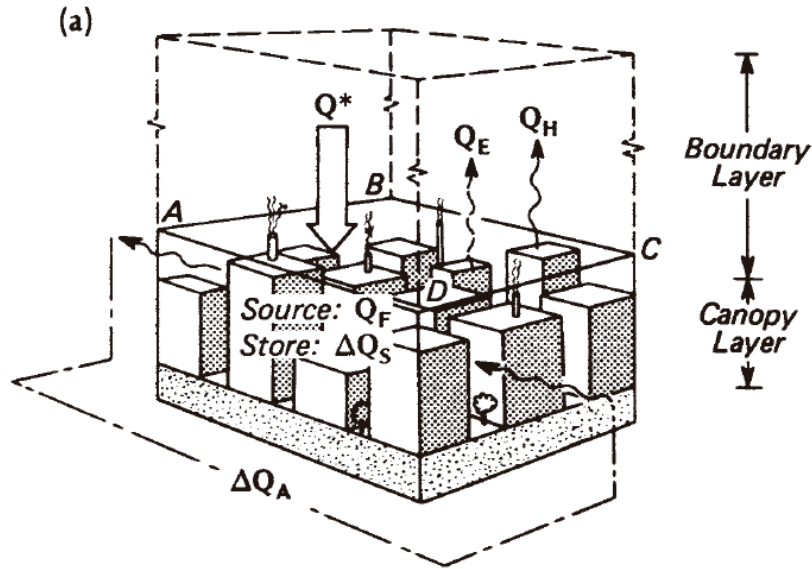


Ilustración 11: Representación esquemática de los flujos componentes en el balance energético del volumen de control urbano. Extraído de: Boundary layer climates. (Oke, 1987)

3.4 Calor Antropogénico y su noción

La variable dentro de la ecuación del balance energético Q_F , corresponde al calor antropogénico. Es el calor generado por las actividades que los seres humanos realizan al interior de la ciudad, estas pueden ser de tipo estacionario como son las industrias y los edificios (Q_{FH}), las generadas por los medios de transporte (Q_{FV}) y las producidas por el metabolismo humano y animal (Q_{FM}). (Cabras, 2014)

$$Q_F = Q_{FV} + Q_{FH} + Q_{FM}$$

El valor del Q_{FM} es poco significativo dentro de la ecuación comparado con los otros dos elementos, por lo que se puede prescindir. Las actividades urbanas antrópicas como las edificaciones, la calefacción, el sector industrial y el transporte afectan a la intensidad de la ICU. Oke advierte una relación de tendencia positiva lineal entre la ICU y el aumento de la población. (Cabras, 2014) (Ilustración 12)

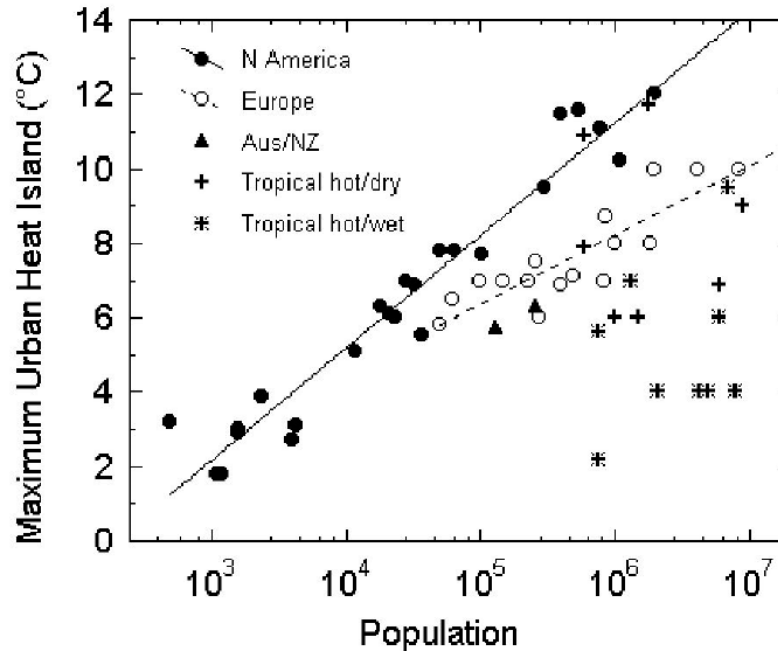


Ilustración 12: Relación entre la intensidad de la ICU y la población de ciudades Estadounidense, Europeas, Australianas y Neo Zelandesas. Extraído de: Boundary layer climates. (Oke, 1987)

3.5 Materiales de acabado en la Isla de Calor Urbana

Según Mirzaei & Haghightat (2010); T.R. Oke (1988); Santamouris, Asimakopoulos et al. (2001). Las propiedades físicas y térmicas de los materiales de cobertura horizontal y vertical (fachadas y techos) definen su desempeño calorífico: inercia térmica, albedo, emisividad, etc. Su uso en mayor o menor medida condiciona la cantidad de radiación de onda corta recibida la cual es captada, almacenada y dependiendo de la sección del material es devuelta luego al medio ambiente lentamente mediante onda larga o calor sensible. Citado en (Tumini, 2012, p. 49) (Ilustración 13)

El albedo de una superficie se define como la porción de radiación solar reflejada mediante longitud de onda, los valores están entre 0 y 1. Esta definición se aplica para las superficies simples como para las heterogéneas y complejas. Los materiales que poseen la capacidad de absorber una gran cantidad de radiación poseen el valor de 0, al contrario, los materiales que reflejan la mayor cantidad de radiación recibida tienen el valor de 1. Típicamente los albedos urbanos están en el rango de 0,10 a 0,20. (Taha, 1997) (Ilustración 14)

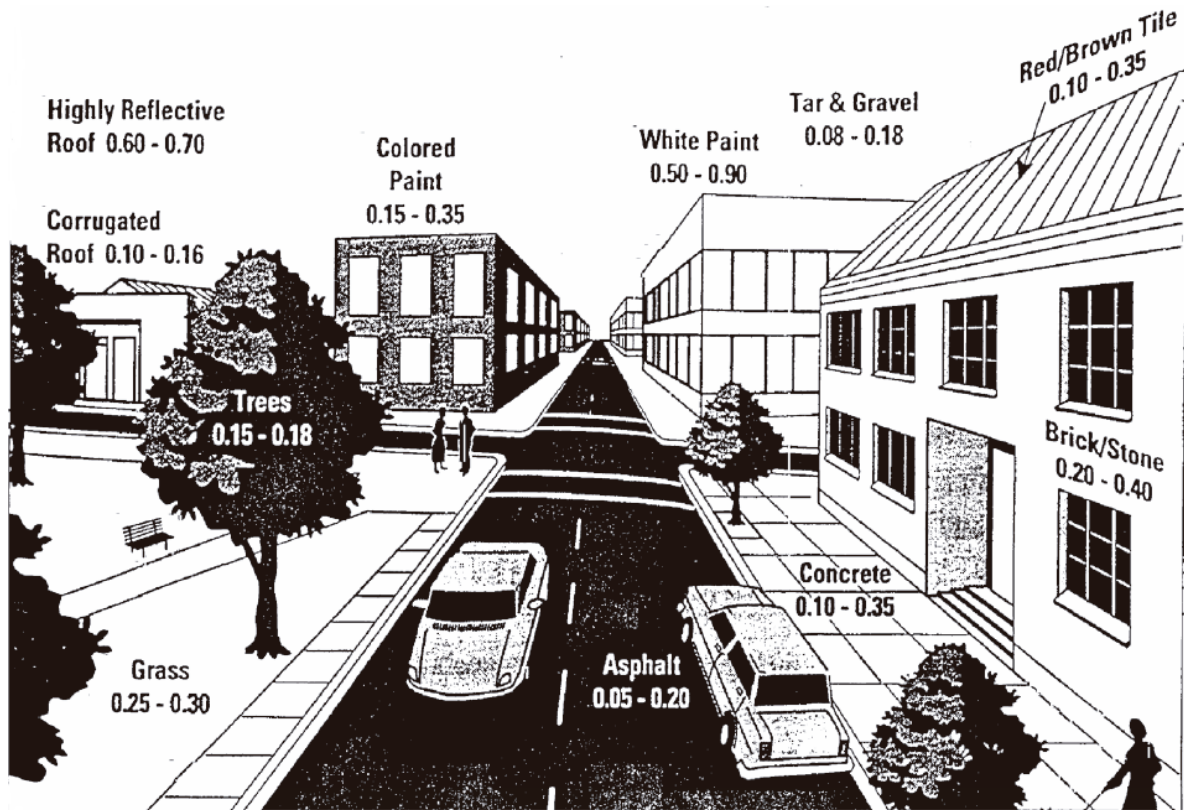


Ilustración 13: Materiales y Albedo Urbano. Extraído de: Both urban heat island effect and rooftop albedo geoengineering negligible. (Schuttenhelm, 2011)

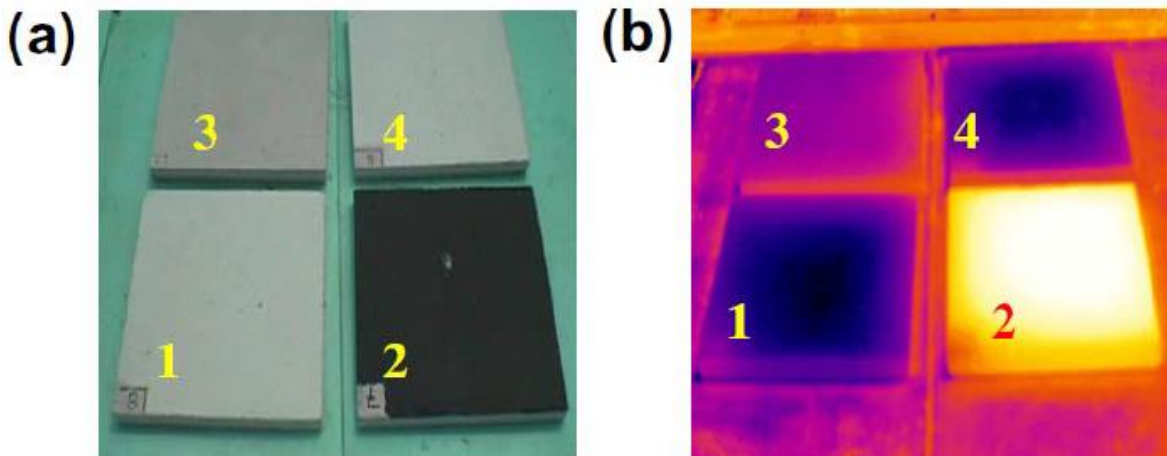


Ilustración 14: (a) Imagen visible: baldosa no pintada 3, baldosas pintadas de blanco 1 y 4, baldosa pintada de negro 2. (b) Imagen Infraroja: muestra la diferencia de temperatura superficial. Extraído de: Energy and climate in the urban built environment. (Santamouris, 2011)

3.6 Vegetación urbana y su influencia en la ICU

La vegetación urbana cumple un papel fundamental en el comportamiento térmico de la ICU, razón por la cual su estudio y análisis se hace cada vez más evidente y necesario para incorporarlo dentro de la planificación urbana y de espacios abiertos públicos. Uno de los enfoques más estudiados sobre la vegetación urbana ha sido el control de la radiación solar sobre las superficies urbanas y su impacto en las condiciones del microclima urbano.

Del 100% de la energía solar incidente, las plantas captan para el proceso de la fotosíntesis aproximadamente el 5 al 20%, reflejan del 5 al 20%, disipan por evapotranspiración del 20 al 40%, emiten del 10 al 15% y transmiten del 5 al 30%. (Ochoa De La Torre, 1999). Durante el día los árboles mediante sus ramas y hojas proporcionan sombra a la superficie que cubren, captan la radiación solar y disminuyen la temperatura ambiental. De acuerdo a Migliorini (1992); Ochoa De La Torre, J. M (1999); Wan, Hien, Ping, & Aloysius (2009); Yu & Hien (2006) la contribución más importante que la vegetación realiza al microclima urbano es el proceso de evapotranspiración, en el cual; árboles y plantas absorben el agua que se encuentra presente en la tierra y la humedece, la transforman y la remiten de vuelta al aire como vapor de agua. Este mecanismo natural es utilizado para refrigerar evaporativamente el contexto ambiental urbano. Citado en (Tumini, 2012, p. 50)

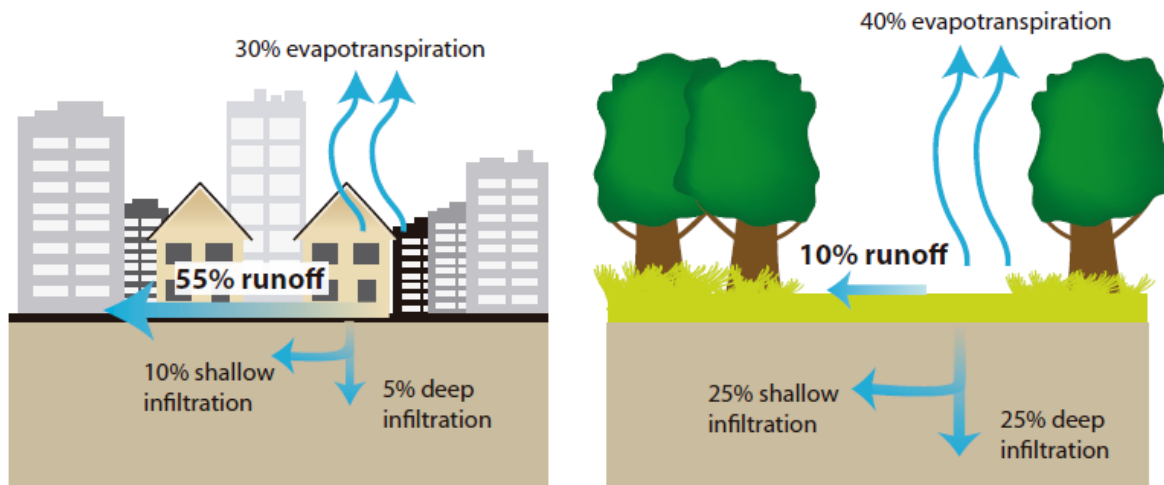


Ilustración 15: Superficies impermeables y evapotranspiración reducida. Extraído de: Reducing urban heat islands: Compendium of strategies Urban heat island basics. (U.S. Environmental Protection Agency, 2008)

3.7 Configuración del cañón urbano

Según Oke (1979); Arnfield (1984); Doll (1985); Paterson y Apelt (1989); Grimmond (1996); Kjellgren y Montague (1998) afirman que, el cañón urbano está conformado por diferentes elementos que forman la ciudad, tales como: edificaciones de diferente altura y materialidad, espacios abiertos públicos cubiertos con superficies impermeables en su totalidad (calles), espacios verdes cubiertos de vegetación: jardines y césped, etc. Todo este conjunto de elementos, presenta una variedad en el porcentaje de absorción de energía solar y de humedad en el ambiente. Resultando diversas interacciones energéticas y porcentajes de humedad al interior del espacio urbano. Citado (Carrasco, 2008)



Ilustración 16: (a, b, c) Ejemplos de variedad morfológica en la ciudad de Tokio: a, Izquierda, Imagen general de la ciudad desde el aire; b, Centro, Imagen de una zona de alta densidad de la ciudad; c, Derecha, Perfil del centro urbano. Extraído de: <http://www.nda.ac.jp/cc/users/hiros/frmSky.html>. Citado en: Morfología y clima urbano. Análisis de la forma espacial y materiales como modeladores de microclima de tejidos urbanos mediterráneos costeros. El caso de la ciudad de Valparaiso. (Carrasco, 2008)



Ilustración 17: Variedad morfológica, Sao Paulo (Brasil). El alto valor del precio de suelo en los centros urbanos, genera construcciones de mayor altura y menor dimensiones en las calles, creando rugosidades urbanas importantes. A medida que nos alejamos del centro de la ciudad podemos observar características urbanas más homogéneas en altura. Extraído de: <http://www.diserio.com/saopaoloskyline.html>.

Dos superficies verticales urbanas, por lo general los paramentos de los edificios, unidos en su base por una calle y orientada con relación a un ángulo θ dan forma a lo que conocemos como cañón urbano. Este concepto se utiliza en investigaciones para caracterizar el comportamiento climático. “Se aplica entonces, al espacio público y social de la urbe por definición” (Carrasco, 2008)

La geometría del cañón urbano se expresa por su “relación de aspecto” que relaciona la altura del edificio (H) con el ancho de la calle (W). Se considera cañón urbano uniforme al que presenta una relación de aspecto (ratio) (H/W) alrededor del valor de 1, un cañón poco profundo presenta un valor de ratio inferior a 0,5 y un ratio de valor 2 representa un cañón urbano profundo.(Shishegar, 2013). Otro descriptor del cañón urbano es el factor de cielo visible (SVF), definido por la porción de cielo visible que se puede percibir desde un punto fijo sobre una superficie al interior de la ciudad. (Giridharan, Lau, Ganesan, & Givoni, 2007), (Cabras, 2014)

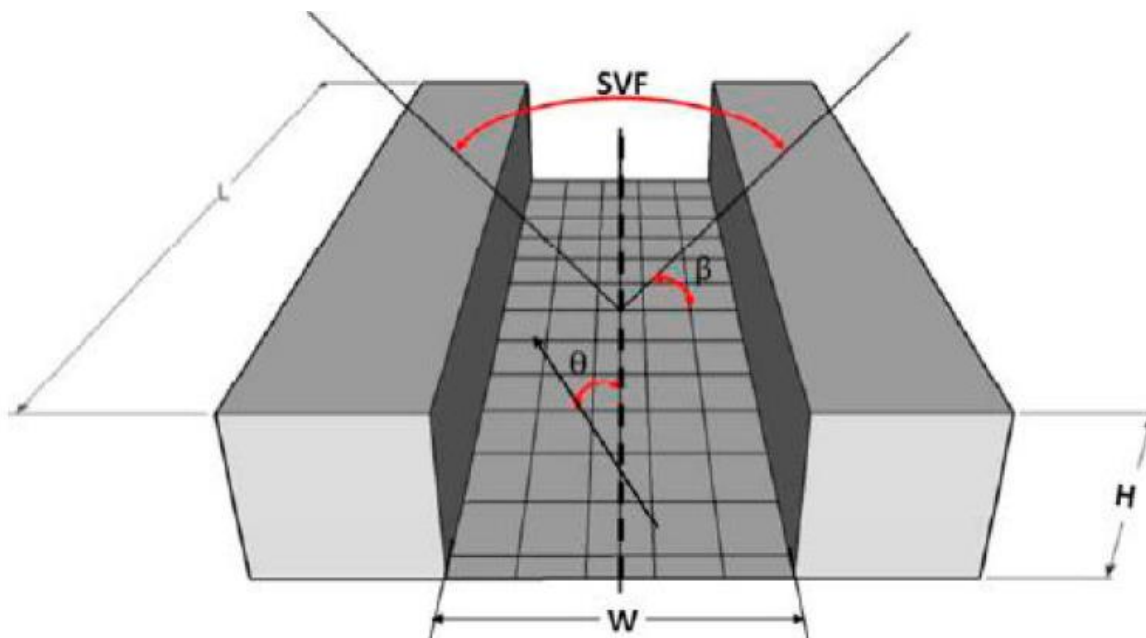


Ilustración 18: Esquema del cañón urbano. Extraído de: (Erell, 2011). Citado en: Efecto de la morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona. (Cabras, 2014)

El incremento térmico en la urbe y el confort peatonal son influenciados por el descriptor SVF, al relacionarse directamente con el porcentaje de ventilación y acumulación térmica al interior de la ciudad. (Angel et al., 2016)

La forma, dimensiones y orientación del cañón urbano determinan las condiciones de intercambio energético y comportamiento térmico al interior de la ciudad, generan limitaciones al acceso de la luz solar, la cantidad de superficie incidida se incrementa en el intercambio energético y se define la turbulencia del viento. La geometría del cañón urbano favorece a la captura de radiación solar, por la cantidad de reflexiones efectuadas sobre las fachadas de los edificios y la superficie horizontal de la calle, este efecto se lo conoce como atrapamiento radiativo, razón por la cual la ICU se presenta también en las horas de la noche; este comportamiento térmico se complementa debido al lento enfriamiento de las superficies por la menor velocidad del aire y por lo tanto menor transferencia de calor por convección.

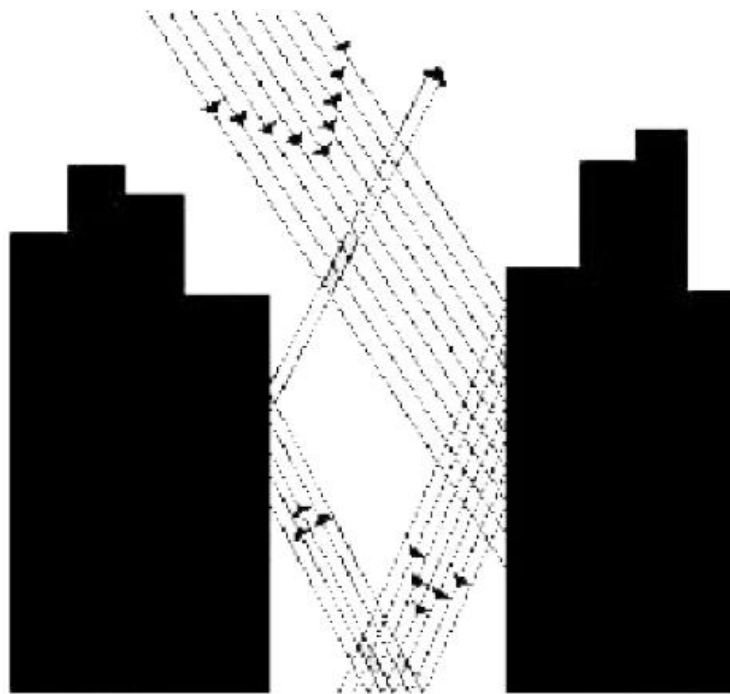


Ilustración 19: Reflexión en el cañón urbano. Extraído de: Efecto de la morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona. (Cabras, 2014)

El intercambio de radiación al interior de un cañón urbano con un valor de SVF bajo, produce superficies cálidas por más tiempo en su interior y un refrescamiento más lento en relación al contexto rural que re-emite la radiación a la atmósfera directamente. (Cabras, 2014)

3.8 Rugosidad urbana y contexto de la ICU

La morfología de las edificaciones en la ciudad traza un perfil urbano que, en mayor o menor magnitud, se convierten en obstáculos aerodinámicos e impiden que el contorno del viento fluya con normalidad, esta característica urbana ayuda a que las superficies se enfríen de una forma más lenta. (Cabras, 2014) En los casos en que dos edificios se encuentren cercanos con una relación $(H/W) < 4$ se generan turbulencias o vórtices aislados. (Oke, 1987)

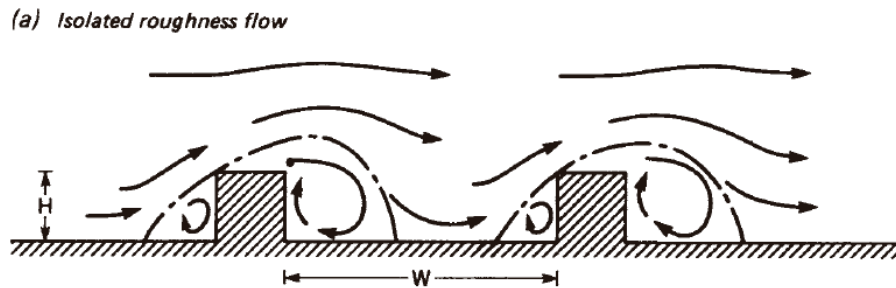


Ilustración 20: Flujos aislados de viento. Extraído de: Boundary layer climates. (Oke, 1987)

Si el valor de la relación (H/W) se presenta hasta 7, se generan vórtices más turbulentos entre los edificios. (Oke, 1987)

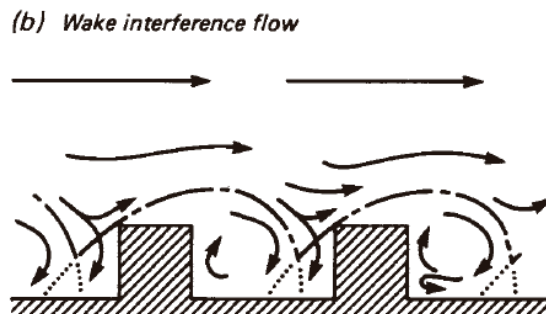


Ilustración 21: Interferencias de flujos de viento. Extraído de: Boundary layer climates. (Oke, 1987)

Si la relación (H/W) es >7 se genera un flujo de aire descendente independiente. En estas condiciones el viento presenta una menor velocidad, lo que genera mejores condiciones a nivel peatonal, sin embargo, se presenta una disminución de ventilación de la isla de calor. (Oke, 1987)

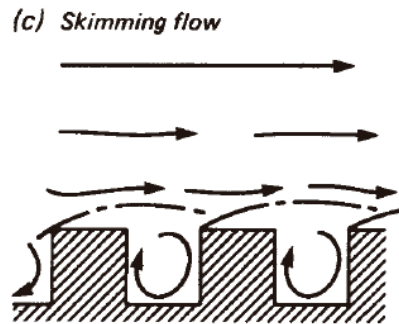


Ilustración 22: Flujo independiente de viento. Extraído de: Boundary layer climates. (Oke, 1987)

El trazado urbano reticular lineal presenta mejores condiciones de ventilación, al permitir de una mejor manera que el flujo de viento recorra las calles sin obstáculos y pueda refrigerar el interior de la vía. Las calles pequeñas y estrechas presentan dificultades en la dirección del viento haciendo más lento y controlado su recorrido, pero disminuye la ventilación en la calle.

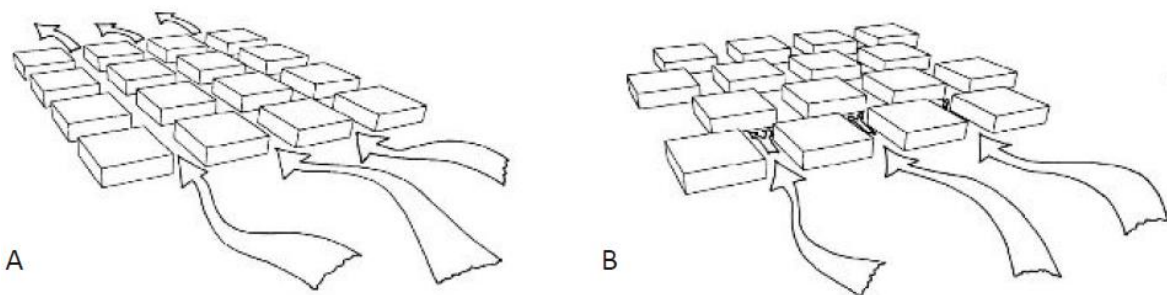


Ilustración 23: (A) Recorrido del viento entre edificios alineados. (B) Recorrido del viento entre edificios no alineados. Extraído de: Efecto de la morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona. (Cabras, 2014)

Las reflexiones de los rayos solares tienen diferentes comportamientos, sobre una superficie incidente en el área rural los rayos reflectantes se dirigen al cielo. Las radiaciones incidentes sobre las superficies del cañón urbano tienden a reflejarse entre las superficies que lo conforman y por lo tanto aumenta la temperatura por la inercia térmica de los materiales de cobertura, determinando la ICU en el día y en la noche.

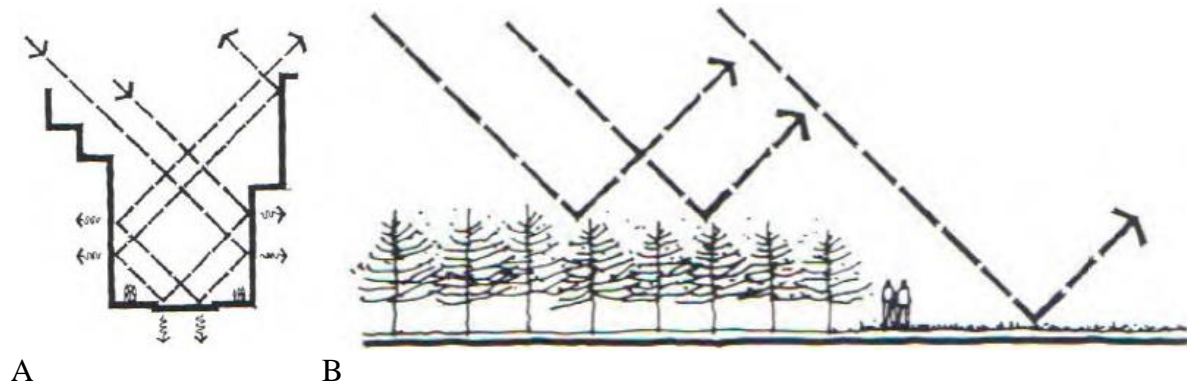


Ilustración 24: (A) Esquema de la reflexión de los rayos solares en el cañón urbano. (B) Esquema de la reflexión de los rayos solares en campo abierto. Extraído de: Morfología y clima urbano Análisis de la forma espacial y materiales como modeladores de microclima de tejidos urbanos mediterráneos costeros. El caso de la ciudad de Valparaíso. (Carrasco, 2008)

CAPÍTULO 4

APROXIMACIÓN AL CASO DE ESTUDIO

4 Historia del crecimiento urbano de Quito

El crecimiento de la ciudad de Quito se lo enmarca en dos momentos: el primero que constituye la consolidación del estado nacional entre los años 1895 y 1910, periodo en el que se empieza a formar una relación en base a la producción de la hacienda serrana que genera productos para abastecer al mercado interno en la ciudad, empieza a generar una relación comercial y formal entre lo rural y lo urbano. Este proceso se da en los principales polos de desarrollo de la época: Quito y Guayaquil; sin embargo, en este periodo principalmente en Quito se generan algunas iniciativas de desarrollo, aunque incipientes al inicio como la industria; se impulsa el sector comercial con los capitales bancarios y empieza un periodo de urbanización de ciertas tierras en la ciudad, etc. Entonces, se observa algunas anomalías urbano-territoriales como resultado del impulso capitalista del periodo. La segregación de la vivienda se muestra como una prueba de la división espacial como un claro elemento dominante. (Carrión & Erazo Espinosa, 2012)

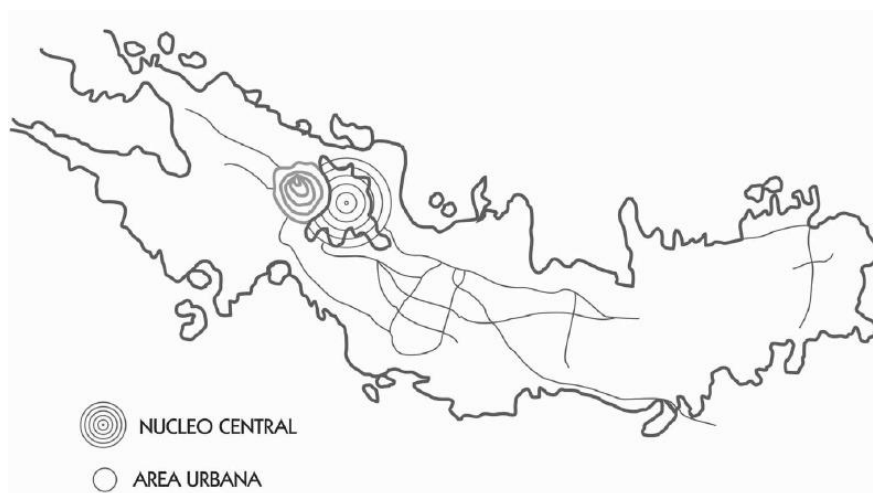


Ilustración 25: Esquema de la forma de organización territorial radial concéntrica (1748-1904). Extraído de: La forma urbana de Quito: una historia de centros y periferias. (Carrión & Erazo Espinosa, 2012)

Entre 1910 y 1950 ocurre un acontecimiento importante en Quito, el ferrocarril llega al sur de la ciudad, se inicia también con la construcción de ciertos equipamientos tales como: centros educativos, de salud y parques urbanos, se agregan los servicios básicos como son: agua potable, alcantarillado y electricidad; esta perspectiva cambia el desarrollo de la ciudad, generando en primera instancia una nueva forma lineal de organización urbano territorial y luego una polinuclear longitudinal. Con una segregación de vivienda determinada de norte a sur; dónde se ubican los sectores de población con mejores ingresos al norte, al centro se localizan los tugurios y al sur la población con escasos ingresos económicos. (Carrión & Erazo Espinosa, 2012)

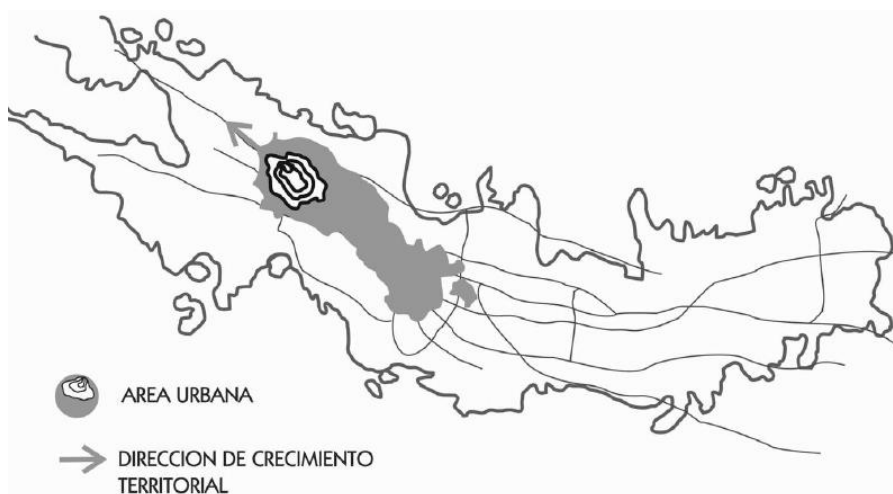


Ilustración 26: Esquema de la forma de organización territorial longitudinal (1904-1960). Extraído de: La forma urbana de Quito: una historia de centros y periferias. (Carrión & Erazo Espinosa, 2012)

En este momento se produce el movimiento de las clases sociales con mayores ingresos hacia la zona de La Mariscal provenientes del sector central de Quito, situación que genera una atomización de las propiedades en el centro histórico y en el sector periférico.

En el año de 1949, se vuelve necesario tomar acciones encaminadas a normar las transacciones del suelo urbano, regularizar las lotizaciones y urbanizaciones y empezar a planificar el desarrollo de la ciudad con una perspectiva a largo plazo. Se desarrolla entonces un segundo momento en el crecimiento urbano, con la formulación del “Plan Regulador de Quito” diseñado por el arquitecto uruguayo Jones Odriozola el cual asignaba usos de suelo y

funciones específicas para cada sector, así se plantea un desarrollo concéntrico de funciones: financiera, cívica, residencial, etc, con esto se crea una definición espacial de usos y actividades: sectores residenciales por capacidad económica, sectores de trabajo para la industria, comercio y oficinas y sectores para el esparcimiento con zonas de descanso, zonas de deportes y paseo, zonas que se distribuyen de sur a norte; reforzadas por el diseño de su sistema vial. (Carrión & Erazo Espinosa, 2012)

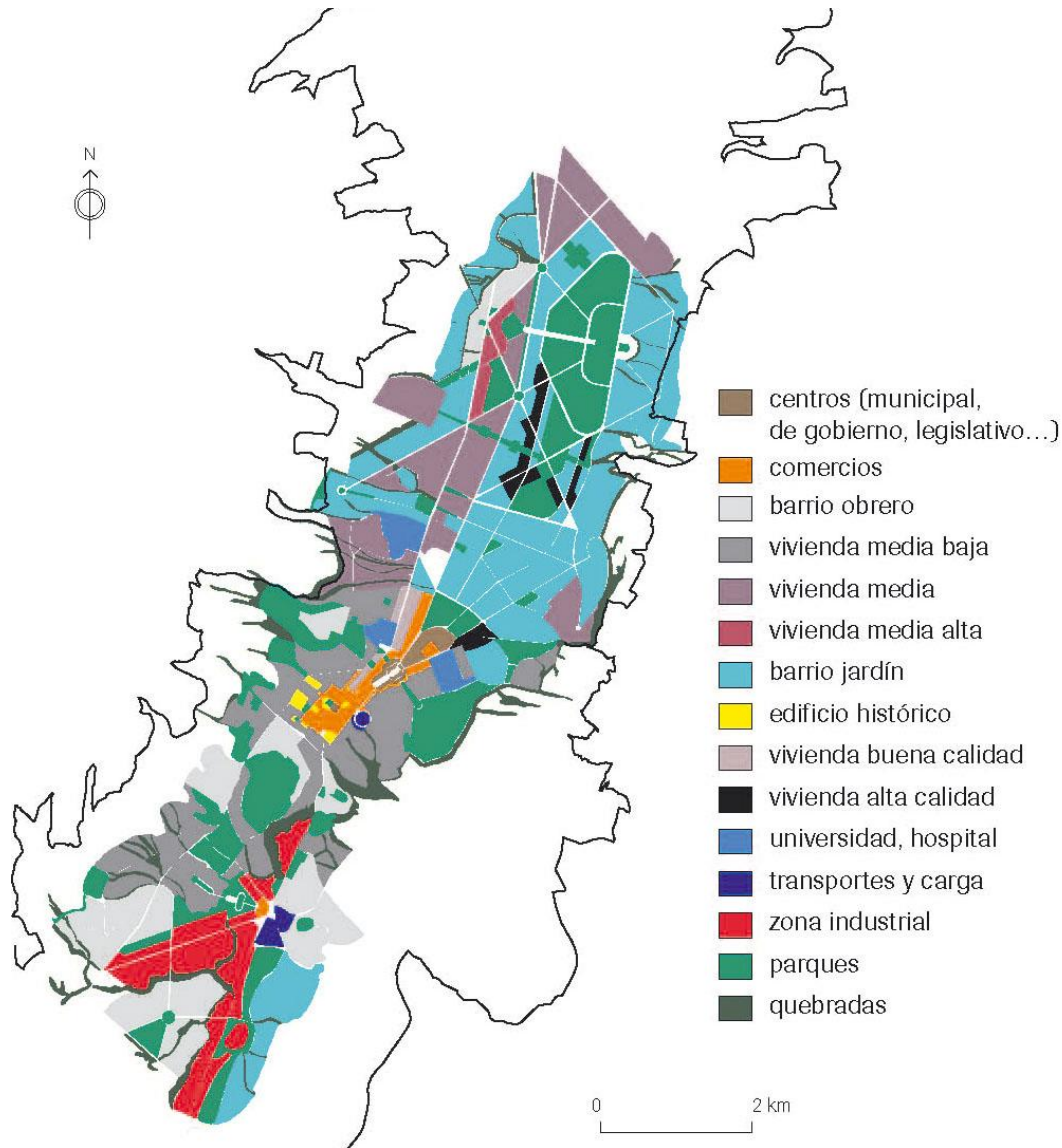


Ilustración 27: Plan Jones Odriozola 1942. Fuente: Dirección metropolitana de planificación territorial. SUIM. Extraído de: https://www.gifex.com/detail-en/2011-10-25-14677/Urban_plan_of_Quito_1942.html

4.1 Historia del plan de vivienda Solanda

Como se indica en la historia del crecimiento urbano de Quito, el “Plan Regulador De Quito”, incentivó la segregación barrial y social a través de la asignación de usos específicos del suelo de acuerdo a las zonas y sectores de la ciudad, determinando un escenario para que el barrio Solanda se inserte en el contexto del crecimiento urbano del sur de Quito como un barrio obrero cerca de la zona industrial.



Ilustración 28: Parroquias urbanas del distrito metropolitano de Quito. Fuente: Dirección metropolitana de planificación territorial. Extraído de: https://www.gifex.com/fullsize-en/2011-10-25-14669/Parishes_of_Quito_2001.html

El Plan de vivienda Solanda se localiza al sur-oeste de la ciudad, delimitado por la quebrada Río Grande por el norte, por el sur con la Av. Marquesa de Solanda, por el este con la Av. Teniente Hugo Ortiz y por el oeste con la Av. Cardenal de la Torre.

Los primeros registros de la urbanización datan del año 1971, cuando se realiza una investigación socioeconómica-física aplicada a 1600 familias de escasos recursos económicos. El primer anteproyecto se aprobó en el año de 1974 y estuvo a cargo del departamento de arquitectura de la “Fundación Mariana de Jesús”, el anteproyecto definitivo de la urbanización “Solanda” con algunas modificaciones, se aprobó en el año de 1980 por parte de la comisión de obras públicas del I. Municipio de Quito. Para llevar a cabo el proyecto de vivienda intervinieron: la Fundación Mariana de Jesús, la Junta Nacional de la Vivienda, el Banco Ecuatoriano de la Vivienda, la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID) y el Municipio de Quito. (Trama, 1981)

El sistema vial externo estuvo planificado de tal manera que el plan de vivienda se inserte dando continuidad a las vías existentes, mismas que comunicaban ya en ese momento a las urbanizaciones Mena I por el norte, Santa Rita por el sur, así también se ubicaba el sector industrial al este de Solanda y el mercado mayorista. El diseño del sistema vial interno, busco la reducción al mínimo de las vías vehiculares y el aumento de las vías peatonales.

La intencionalidad que más influenció el diseño fue la de crear un ambiente saludable para el desarrollo de las actividades de las personas que vivirían en el barrio, para esto se tomó en cuenta el factor socio-económico, paisaje natural, terreno, economía, técnica y clima. (Trama, 1981) (Ilustración 29).

Las viviendas tenían un carácter progresivo, de tal manera que el usuario tendría la libertad de completar su vivienda de acuerdo a su necesidad, teniendo en cuenta algunos patrones arquitectónicos establecidos para el efecto, con el fin de evitar la tugurización.



Ilustración 29: Plan de vivienda de interés social Marquessa de Solanda. Extraído de: Trama revista de arquitectura. (Trama, 1981)

4.1.1 Composición urbana del plan de vivienda Solanda

La configuración urbana de la urbanización Solanda merece ser entendida desde la aproximación al lote mínimo, considerado como la unidad básica urbana del conjunto. El área del lote mínimo se determinó en base al índice de habitabilidad dictado por la ONU para viviendas de interés social (mínimo 10 m² por persona y máximo 20 m²), se consideró como promedio familiar un número de 6 personas, por lo que el rango del lote oscilaba entre 60 m² y 120 m², sin embargo, se asumió una variedad con las siguientes áreas: 60, 80, 90 y 120 m² respectivamente.

La unión de los lotes en hilera se los denominó superlotes, su forma dependía del número de lotes, estos estaban dispuestos e intercalados con espacios verdes. La manzana se origina por la unión de los superlotes dispuestos alrededor de un espacio verde destinado a la socialización, recreación y estancia de los ciudadanos pertenecientes a la manzana. La supermanzana se compone de la unión de 4 manzanas que siguen el mismo principio generador comunal del barrio al estar localizadas alrededor de una plaza destinada al uso y disfrute de la comunidad. (Ilustración 30)

Siguiendo este principio de orden y secuencia formal, el barrio estaba constituido por la unión de 4 supermanzanas dispuestas alrededor también de una plaza principal en la cual estaba localizado el equipamiento a escala barrial. El plan Solanda estuvo diseñado en base a la unión de 4 barrios hoy llamados sectores, (1,2,3 y 4), la visión fue plantear una gran área verde en su interior que albergue espacios de recreación y equipamientos a lo largo de toda la urbanización, procurando convertir este espacio en un aporte que sirviera tanto a nivel barrial como a nivel sectorial, este espacio pretendía promocionar la participación comunitaria de sus habitantes y ser una solución integral del proyecto. En la urbanización se estimó una población de 32562 habitantes y una densidad urbana promedio de 58.10 viviendas/HA. (Trama, 1981)

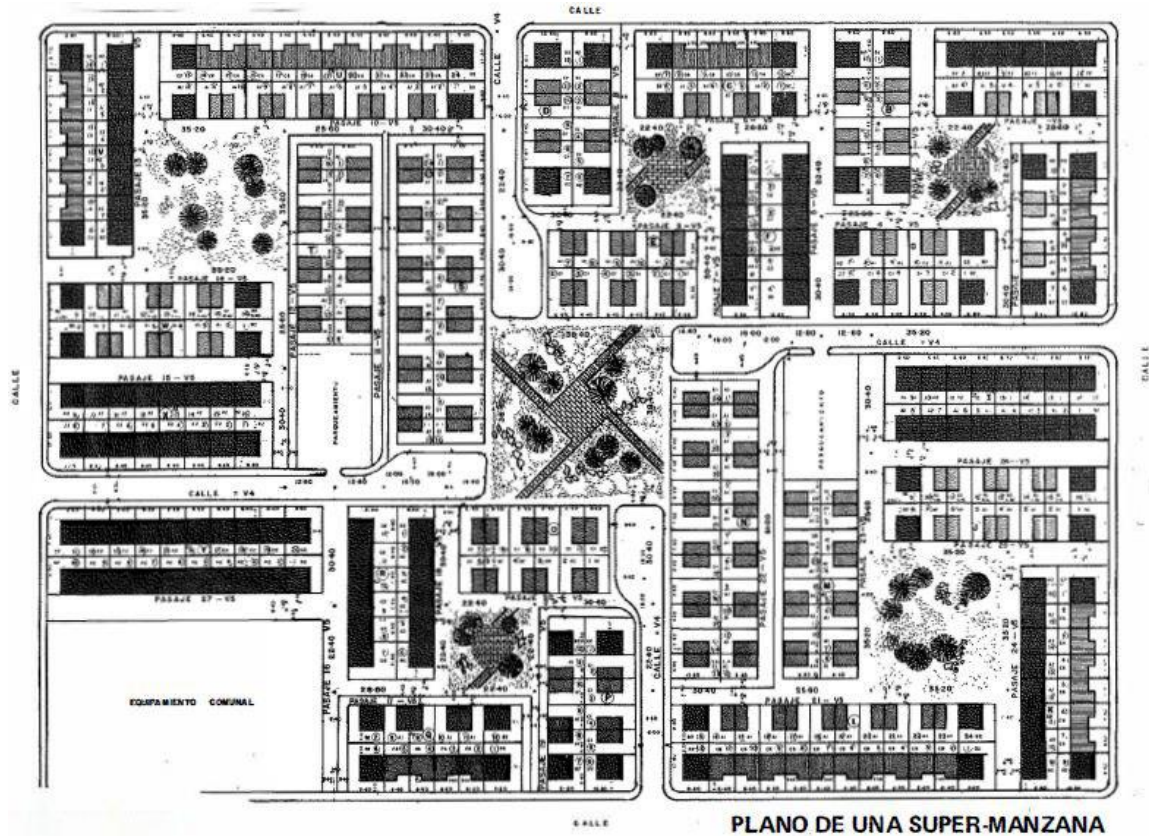


Ilustración 30: Plano de la super-manzana en Solanda. Extraído de: Trama revista de arquitectura. (Trama, 1981)

4.1.2 Vivienda original

El proyecto original contemplaba la construcción de viviendas tipo, de carácter progresivo de uno y dos pisos denominadas “viviendas cascarón”, con retiros frontales a manera de espacios verdes semi-privados, las que se entregaban construidas sólo con las paredes exteriores, paredes del baño y cubierta de la vivienda a dos aguas. (Imagen 1)

Esta tipología obedecía al carácter de la urbanización de bajos ingresos económicos y a la facilidad que el usuario podía continuar y terminar su vivienda de acuerdo a su necesidad. Se puede observar en las imágenes iniciales que el conjunto ofrecía legibilidad espacial y visual entre las viviendas y el conjunto en general. (Imagen 2)



Imagen 1: Interior de vivienda en Solanda. Extraído de: Libro de la primera Bienal de Arquitectura de Quito 1978. <https://issuu.com/colegiodearquitectos/docs/1baq>



Imagen 2: Calle peatonal en Solanda. Extraído de: Libro de la primera Bienal de Arquitectura de Quito 1978. <https://issuu.com/colegiodearquitectos/docs/1baq>

4.1.3 Vivienda actual

Los cambios que ha tenido el Plan de vivienda Solanda se enmarcan dentro de un proceso de crecimiento poblacional, económico, constructivo y social del sector sur de la ciudad, en estos años la vivienda ha tenido un continuo proceso de cambio en su tipología, COS, CUS e implantación, llegando a ocupar el 100% del terreno en algunos casos con nuevas construcciones. Otro de los cambios que han impulsado el crecimiento y modificación del barrio Solanda es el cambio de uso de suelo de vivienda en sus inicios a comercial en la actualidad. Algunos propietarios en su afán de tener mayor área de construcción que permita albergar un mayor número de personas y comercios en su planta baja principalmente en los ejes comerciales del sector, ha generado que los dueños derroquen por completo sus viviendas originales y construyan nuevas edificaciones de hasta 6 plantas en algunos casos.

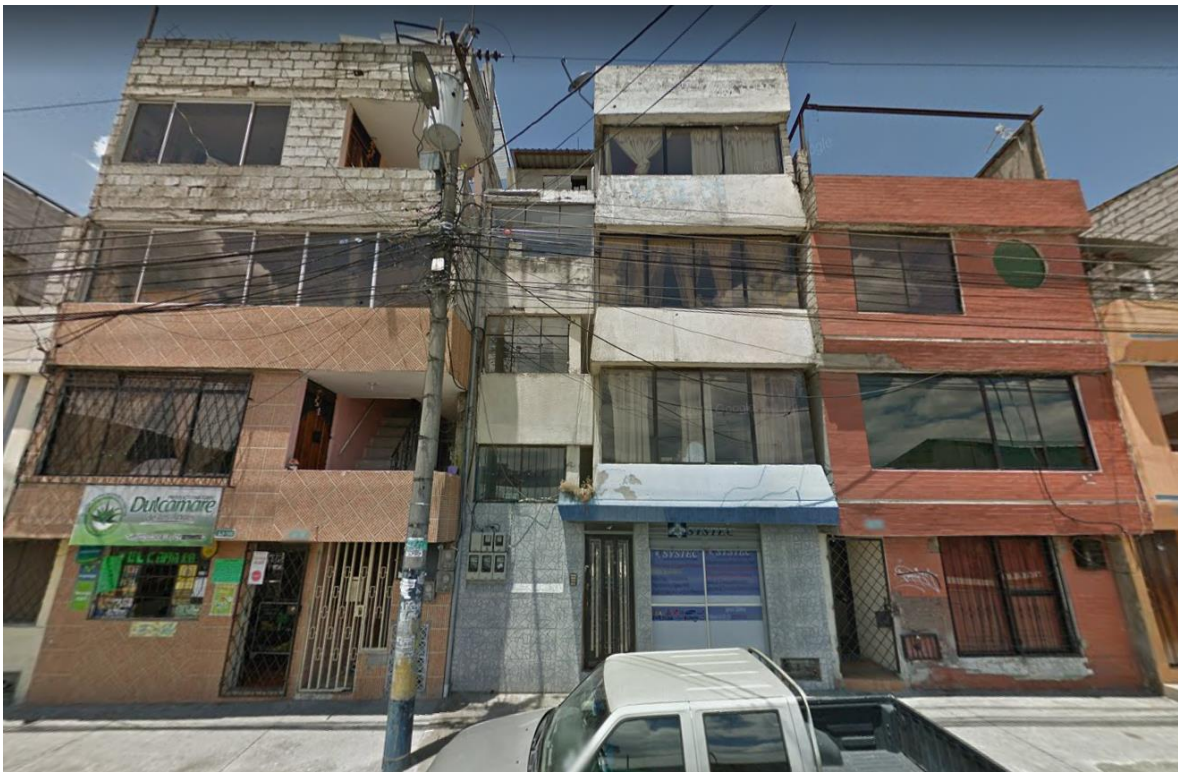


Imagen 3: Tipología de vivienda actual. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 4: Calle José María Alemán-Eje comercial de Solanda. Fuente: Elaboración propia.

4.2 El espacio público

Se entiende el espacio público, como el espacio exterior de una ciudad destinado a soportar las actividades ciudadanas de sus habitantes, Aunque el interés de la tesis no es analizar todo el espectro relacionado al espacio público, es necesario citar algunos conceptos que llevaron a centrar el interés en estudiar las condiciones que aportan o disminuyen la calidad ambiental de estancia, permanencia y confort de los peatones en el espacio público.

Según Borja & Muxi (2000) indican que: El espacio público es el lugar de actuación de los ciudadanos, dónde se ejercen las relaciones sociales y su poder, es la clara expresión visible de una sociedad; por lo tanto, no es un lugar residual entre un grupo de edificaciones,

ni un espacio vacío jurídicamente hablando, ni un lugar de experiencia única como es una galería o un espectáculo. Citado en (Tumini, 2012, p. 25)

De acuerdo a Torres Pérez (2002) El uso del espacio público se presenta por la interacción de diferentes conjuntos y grupos de personas, esta ocupación puede darse por la familia, por afinidad o por la colectividad en general. Este espacio se convierte en la base de los movimientos ciudadanos y puede ser un buen lugar para el ejercicio de la contemplación del paisaje por parte del peatón, de encuentro y ocio. Citado en (Tumini, 2012, p. 26)

Según Gómez de Perozo (2012) afirma que: en la actualidad los problemas urbanos exigen la actuación de soluciones que se planteen ecológicamente posibles, teniendo en cuenta las necesidades sociales y la cultura de los habitantes, no podemos hablar de soluciones sostenibles si seguimos planteándolas en base a la tecnología y al diseño. Un descriptor de la calidad de ciudad es su espacio público. Por lo tanto, la microescala atmosférica al ser el espacio dónde se encuentran, viven e interactúan los ciudadanos, se convierte en el espacio contenedor ideal para actuar y mejorar las condiciones medioambientales que usualmente aquejan a las ciudades. Citado en (Tumini, 2012, p. 26)

4.2.1 Uso de los espacios exteriores

Es importante volver la mirada a la calidad ambiental de los espacios públicos, diseñar espacios exteriores que sean atractivos para su uso y disfrute es una tarea importante para arquitectos y planificadores, disminuir los efectos de la urbanización sobre el clima y generar entornos adecuados de confort al usuario es una tarea que cada vez se acrecenta más en nuestras ciudades.

Las condiciones del espacio provocan, incentivan, limitan u obstaculizan el uso por parte de las personas, la percepción sensorial negativa genera espacios abandonados o poco

frecuentados que en el caso de Solanda también genera inseguridad ciudadana, pérdida de comercios, etc. A diferencia de los espacios que presentan la cantidad adecuada de sombra en verano, poseen áreas verdes, lugares exclusivos para caminar y sentarse, incentiva al uso por parte de las personas y revitalizan el espacio.

De acuerdo a Reiter & De Herde (2003) la mayoría de las personas que residen en la ciudad pasan muchas horas al interior de los edificios con sistemas de climatización encendidos, lo que genera una sensación térmica neutral constante. Consecuentemente se ha podido comprobar que la variación que ofrece la sensación térmica al usar el espacio exterior se convierte en un estímulo para el uso del espacio público, es la forma de volver a sentir con naturalidad los cambios de estación y el pasar de las horas. Citado en (Tumini, 2012, p. 46).

4.3 Generalidades climáticas del Ecuador

El Ecuador se encuentra localizado al Nor-Oeste del continente sudamericano, aproximadamente a unos 1000 km de distancia de las islas Galápagos, extendiéndose desde el océano Pacífico hasta la región amazónica, entre las latitudes 01° 20' N y 05° S. El relieve de la cadena montañosa de los Andes conforma la variada geografía del país, determinando tres grandes regiones naturales: región costa, región andina y región oriental. (Pourrut, 1983)

La latitud, el conjunto relieve-altitud y la presencia del océano Pacífico y de corrientes marinas, son los factores que influyen mayoritariamente sobre el clima de Ecuador. En cuanto a la latitud, el Ecuador genera condiciones particulares de viento que se insertan dentro del sistema integral de circulación atmosférica a nivel planetario, esto debido a su posición sobre el Ecuador geográfico. En cuanto al relieve-altitud, el movimiento de los flujos de aire a escala local y regional son afectados significativamente por la presencia de los Andes. La presencia del océano Pacífico genera también flujos de viento con distintos rasgos de humedad y temperatura. (Pourrut, 1983)

El Ecuador por su posición geográfica recibe más radiación solar, aproximadamente ocho veces más que en los polos, por lo que el aire de la zona ecuatorial se calienta, sube e ingresa dentro de un proceso global de circulación atmosférica; se genera entonces un frente intertropical de vientos que afecta a nuestro país. De abril a junio ingresan masas de aire continental poco caliente y poco húmedo, cuya presencia se intensifica en mayo con bajas de la temperatura y muy escasas lluvias. De julio a septiembre se mantienen las masas de aire continental y las condiciones de tiempo no varían. De octubre a diciembre las masas de aire se dirigen hacia el sur, generando chubascos y a medida que se aleja, ingresan las masas de aire marítimas calientes y húmedas provocando importantes lluvias y alza de la temperatura a partir de la mitad de noviembre. De enero a marzo permanecen las lluvias y las temperaturas son elevadas. (Pourrut, 1983)

La precipitación es un modelador importante del clima, cuya localización e intensidad define con claridad la distribución de la vegetación en el territorio. Por lo tanto, para estudiar y cuantificar el clima predominante de una región, metodológicamente se obtienen datos de los dos modeladores climáticos como son: la temperatura y la precipitación en un promedio anual incluyendo las variaciones de los eventos a lo largo del año. (Cañadas, 1983)

4.4 El clima en la ciudad de Quito

El relieve altitudinal del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se encuentra entre 500 y 4780 msnm, sin embargo, la zona urbana de Quito se encuentra aproximadamente a 2800 msnm correspondiente a la zona ecuatorial templada, con un 75% de humedad relativa y una temperatura promedio de 14,78 °C. Basados en los análisis realizados con relación a la precipitación y temperatura media anuales histórica y proyectada, se han determinado la existencia de 11 climas en el DMQ, determinados en gran medida por la presencia de vientos alisios que producen precipitaciones durante casi todos los doce meses del año, definiéndose entonces una variedad climática en la zona. (Ambiente, 2016) (Ilustración 31 y 32)

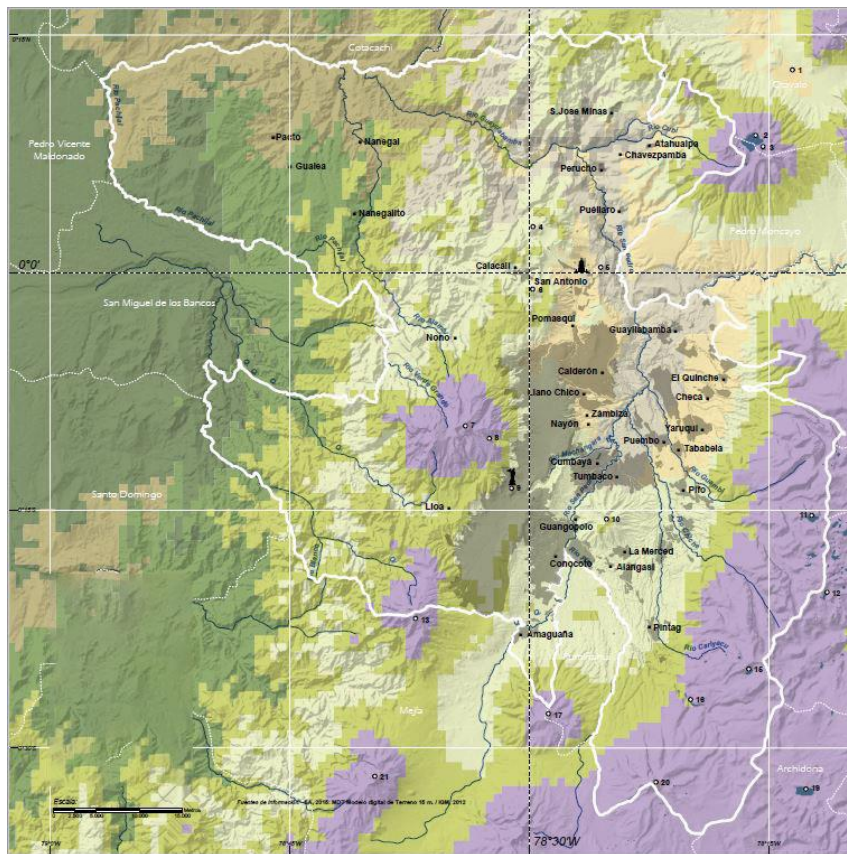


Ilustración 31: Tipos de clima en el DMQ. Extraído de: Atlas ambiental 2016 Quito sostenible. (Ambiente, 2016)

CLIMA	Precipitación (mm agua lluvia)	Temperatura (Centígrados °C)	Geoforma, Pendiente	Rango de altura (msnm)
Montano muy húmedo	entre 2.000 a 3.000 mm	entre 8 y 19 °C	Geoforma: Montano Pendiente: Abrupta	Entre 1.200 a 3.700
Montano húmedo	entre 1.000 a 2.000 mm	entre 8 y 14°C	Geoforma: Montano encañonado Pendiente: Abrupta	Entre 1.800 a 1.200
Montano semihúmedo	entre 1.000 a 2.000 mm	entre 8 y 13 °C	Geoforma: Montano ladera Pendiente: Abrupta a moderada	Entre 1.800 a 1.200
Montano semiseco	entre 1.000 a 2.000 mm	entre 14 y 16 °C	Geoforma: Montano ladera Pendiente: Moderada	Entre 3.600 a 2.700
Montano seco	entre 500 a 1.000 mm	entre 8 y 18 °C	Geoforma: Montano colinado Pendiente: Moderada a suave	Entre 2.700 a 2.200
Montano muy seco	menor a 500 mm	mayor o igual a 13 °C	Geoforma: Valle interandino Pendiente: Suave	Entre 2.800 a 1.600
Páramo muy húmedo	mayor a 2.000 mm	menor o igual a 7 °C	Geoforma: Montano Pendiente: Moderada	Entre 4.400 a 3.600
Páramo semihúmedo	entre 1.000 a 2.000 mm	menor o igual a 7 °C	Geoforma: Montano Pendiente: Moderada	Entre 4.800 a 3.600
Páramo húmedo	menor a 1.000 mm	menor o igual a 7 °C	Geoforma: Montano Pendiente: Moderada	Entre 4.300 a 3.600
Tropical	entre 2.000 a 3.000 mm	mayor o igual a 20 °C	Geoforma: Pie montano encañonado Pendiente: Moderada	Entre 1.400 a 1.000
Tropical muy húmedo	mayor a 3.000 mm	mayor o igual a 18 °C	Geoforma: Pie montano colinado Pendiente: Moderado a suave	Entre 1.000 a 500

Ilustración 32: Precipitación y temperatura por tipos de clima en el DMQ. Extraído de: Atlas ambiental 2016 Quito sostenible. (Ambiente, 2016)

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA Y CASO DE ESTUDIO

5 Metodología

La metodología establecida para llevar a cabo la presente investigación, se detalla a continuación:

- Medición de la ICU en los centros de manzana del barrio Solanda en función de la temperatura del aire.
- Campana de mediciones in situ al interior de los casos de estudio.
- Análisis del SVF y radiación recibida en cada centro de manzana.
- Simulación informática de los centros de manzana en un día tipo de verano y en un escenario histórico inicial del barrio Solanda.

Esta metodología, encaminada a lograr los objetivos de la investigación, permite estudiar la relación entre la morfología, las superficies y el comportamiento térmico del espacio público utilizando el análisis de los cañones urbanos.

5.1 Selección del caso de estudio

Se escoge como casos de estudio dos centros de manzana del barrio Solanda, ubicado al sur de la ciudad de Quito; el barrio se organiza a partir de la definición de 4 sectores. Los centros de manzana se emplazan dentro de los sectores 3 y 4. Separados aproximadamente por 890 m de distancia. (Ilustración 33 y 34)



Ilustración 33: Solanda por sectores. Fuente: Elaboración propia, adaptado de: Google Earth Pro.

El centro de manzana original se encuentra localizado en el sector 4, sobre la calle Benancio Estandoque entre Antonio Arellano y Av. Ajaví, actualmente se está construyendo la nueva estación del metro Solanda frente al caso de estudio. (Ilustración 34)

El centro de manzana modificado se ubica en la calle José Argudo entre José delgado y Juan Barreto en el sector 3, se localiza frente a la escuela Eduardo Vásquez Doderó. El acceso vehicular conecta al espacio interno central con la calle José Argudo. (Ilustración 34)

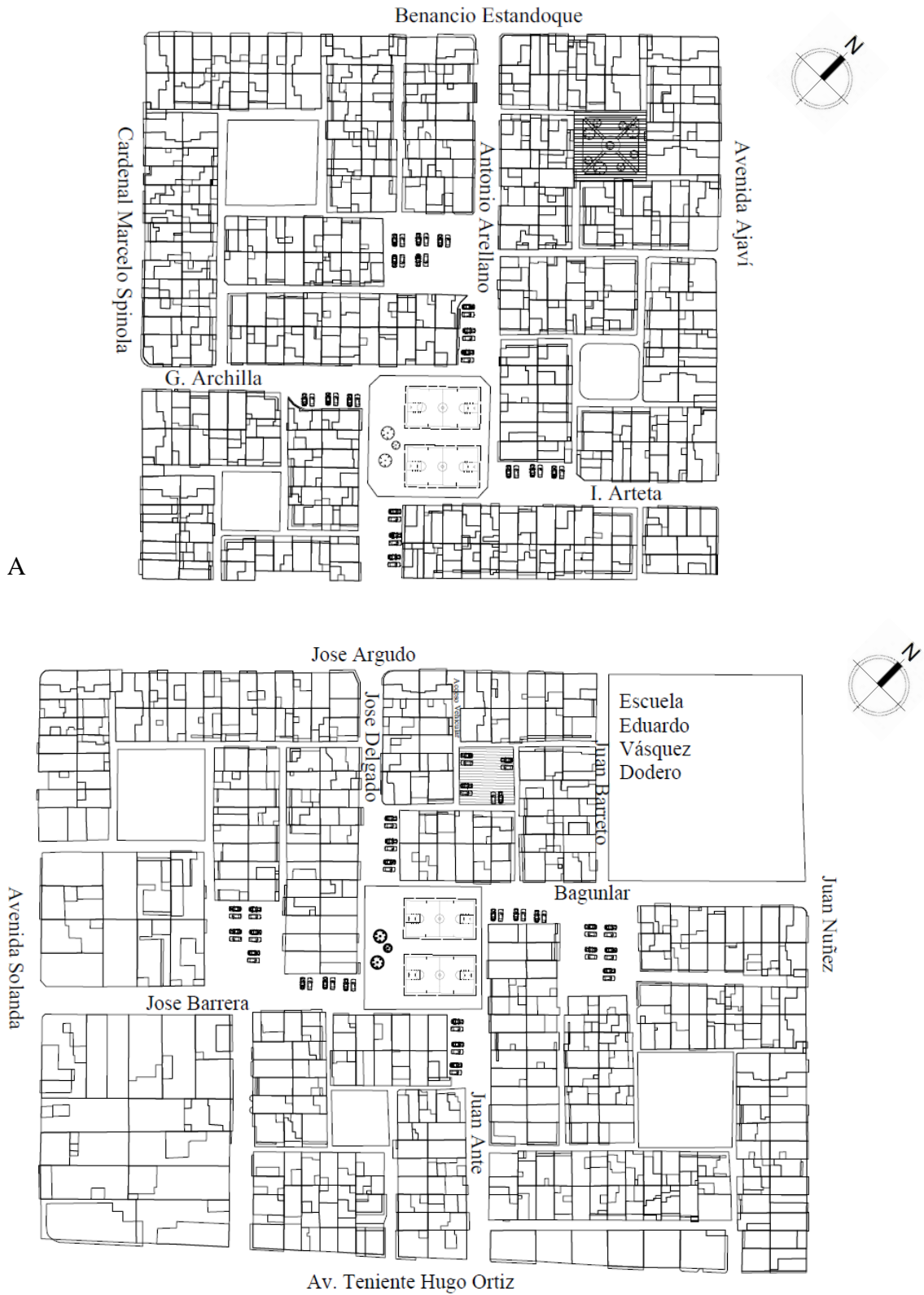


Ilustración 34: Casos de estudio. (A) Centro de manzana original, (B) Centro de manzana modificado. Fuente: Elaboración propia adaptado de: DMQ.

Denominaremos “centro de manzana original” al caso de estudio que ha mantenido sus condiciones originales referidas al diseño del espacio público (materiales de cobertura), caminerías y espacios verdes, condiciones que se han mantenido invariables desde los inicios del plan habitacional. Llamaremos “centro de manzana modificado” al caso de estudio que ha tenido un 100% de modificación referido al diseño y cobertura del espacio público, que ha pasado de una superficie vegetal a una superficie adoquinada y de hormigón.

Tabla 2: Caracterización de los casos de estudio.

Caracterización de los Casos de Estudio		
	Centro de manzana original	Centro de manzana modificado
Sector	4	3
Área total	598.8	579.66
Orientación	45° NE-SO	45° NE-SO
Acabado de piso	Césped, adoquin y hormigón	Adoquin y hormigón
Área de superficie de hormigón	150.51	450.89
Área de superficie adoquinada	148.57	128.77
Área de superficie vegetal	299.72	0
Contexto construido	Edificaciones de hormigón, ladrillo y bloque revocado de 2 a 5 plantas	Edificaciones de hormigón, ladrillo y bloque revocado de 2 a 4 plantas
Altura máxima de edificaciones circundantes (m)	12.5	10
Edificaciones de 2 plantas	6	4
Edificaciones de 3 plantas	6	6
Edificaciones de 4 plantas	1	5
Edificaciones de 5 plantas	1	0
Zonificación PUOS	D203-80	D203-80
Código Uso PUOS	E	E
Uso Vigente PUOS	Equipamiento	Equipamiento
Altura Máxima pisos	3	3

Fuente: Elaboración propia

La condición extrema en su cobertura servirá para realizar una comparación válida entre los casos de estudio, que permita comprobar una alteración de la temperatura influenciada por el cambio de cobertura vegetal por una superficie mineral dura no permeable. El uso de suelo actual en el centro de manzana modificado está destinado a parqueo de vehículos en su totalidad.



Imagen 5: Parqueo de vehículos al interior del centro de manzana. Fuente: Elaboración propia



Imagen 6: Altura de edificaciones al interior del centro de manzana. Fuente: Elaboración propia



Imagen 7: Superficie de hormigón al interior del centro de manzana. Fuente: Elaboración propia



Imagen 8: Acceso vehicular al centro de manzana. Fuente: Elaboración propia



Imagen 9: Centro de manzana original.
Fuente: Elaboración propia



Imagen 10: Vegetación en el centro de manzana. Fuente: Elaboración propia



Imagen 11: Superficie cubierta de césped en el espacio público. Fuente: Elaboración propia



Imagen 12: Caminerías y mobiliario urbano en el espacio público al interior del centro de manzana original. Fuente: Elaboración propia

Previo a las mediciones in situ de los casos de estudio, es pertinente señalar, que se realizó un reconocimiento de campo del Plan de vivienda Solanda en toda su extensión durante una semana, con la finalidad de verificar el estado y las condiciones que presentan los centros de manzana en todo el barrio.

Se verificó que dichos espacios públicos en su conjunto han experimentado cambios que se han realizado paralelamente a la transformación de las edificaciones modificadas en toda la urbanización. El cambio de cobertura vegetal inicial por superficies de hormigón en diferente grado de superficie ha sido la característica descubierta más relevante, esta tendencia se mantiene al verificar que se construyen canchas de uso múltiple al interior del espacio público por solicitud de los residentes.

De acuerdo al Plan de uso y ocupación del suelo de Quito (PUOS 2018), a los centros de manzana se les asigna el uso exclusivo destinado a equipamiento barrial. Se verificó entonces, que algunos de los espacios públicos se utilizan como parqueo de vehículos, determinando una distorsión significativa y anulación del espacio público destinado a la colectividad.

Se evidenció también que existen dos centros de manzana que mantienen el diseño original de implantación, sin embargo, uno de ellos mantiene condiciones más relevantes de vitalidad con respecto a la vegetación existente: césped, setos y árboles.

Conserva también caminerías y mobiliario urbano para descansar en su interior, por lo tanto, el centro de manzana original escogido por sus condiciones más favorables de confort a nivel peatonal, fue el espacio ubicado en la calle Benancio Estandoque y Av. Ajaví sobre el sector 4 del plan de vivienda Solanda.

5.2 Mediciones in situ

De acuerdo a los datos analizados en la estación meteorológica Iñaquito (INAMHI), durante un periodo de 10 años (2007-2017), se puede concluir que, la variación térmica en la ciudad de Quito se presenta uniformemente sin valores extremos en su conjunto, estos marchan entre 0,1 °C y 1,5 °C a lo largo de los meses del año. Se observa un incremento de temperatura en el mes de diciembre por lo que se justifica la toma de datos in situ en el último mes del año.

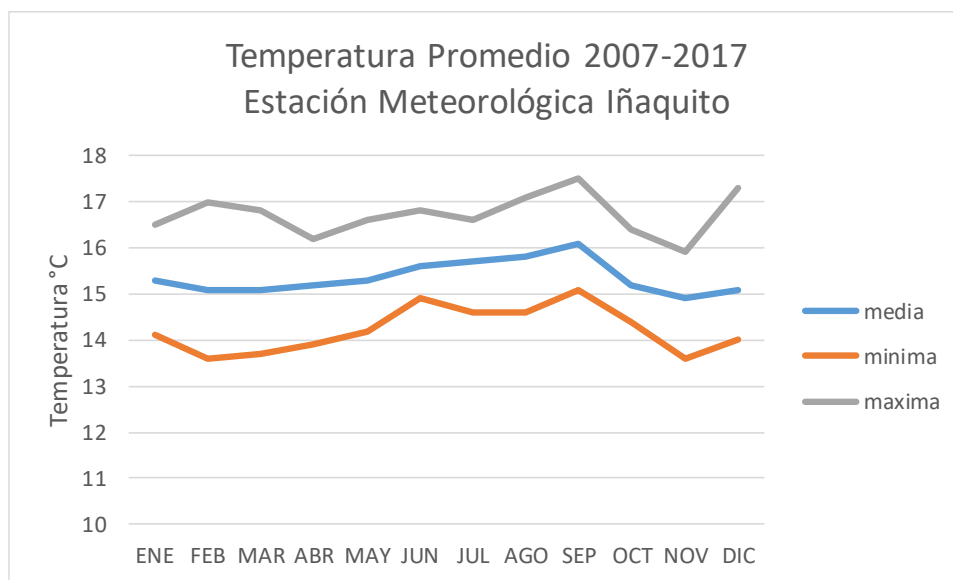


Ilustración 35: Temperatura promedio Quito (2007-2017). Fuente: Elaboración propia adaptado de INAMHI

Se realiza la campaña de medición de temperatura in situ durante 7 días, del 01 al 07 de diciembre del 2018. Se colocan los sensores a una altura de 3,5 m (Nakata & de Souza, 2013) al exterior de la segundas plantas de las viviendas escogidas, con el fin de evitar obstrucciones aerodinámicas y poder captar lecturas de temperatura en un mayor rango horizontal. Los sensores realizan la toma de datos en un intervalo de tiempo de 10 minutos. Con el fin de colocar los instrumentos de medición a la altura adecuada, se realiza un

acercamiento a dos propietarios de viviendas con frente a los dos centros de manzana escogidos para la investigación.

5.2.1 Instrumentos de medición

Para la campaña de medición in situ se utilizó sensores de temperatura: 2 Hobos modelo UX100-003, los cuales pueden captar la temperatura en un rango de -20 hasta 70 °C y la humedad relativa en un rango de 0-100%, ambos con un margen de error de 1%, son utilizados en mediciones tanto en ambientes internos como externos. Para la lectura de los datos obtenidos in situ, se utilizó el software HOBOWare.



Ilustración 36: Data logger HOBOWare UX100-003. Fuente: (ONSET, 2018)

Los sensores utilizados en ambientes exteriores deben protegerse de la radiación directa, de la lluvia y deben tener una ventilación adecuada, para su eficiente desempeño. (Cabras, 2014) La campaña se realizó al exterior de las viviendas frente a los centros de manzana, por lo tanto, fue necesario diseñar un mecanismo de protección para garantizar una lectura adecuada de datos.

Se construyó un dispositivo que permitió proteger al sensor de los rayos solares directos y de la inclemencia del tiempo, permitiendo a la vez una adecuada ventilación mediante aberturas realizadas en sus tres lados a manera de celosía. (Imagen 13 y 14)



Imagen 13: Protección de sensor a la intemperie. Fuente: Elaboración propia



Imagen 14: HOBO al interior de la protección. Fuente: Elaboración propia



Imagen 15: HOBO en centro de manzana original. Fuente: Elaboración propia



Imagen 16: HOBO en centro de manzana modificado. Fuente: Elaboración propia

5.3 Simulaciones y análisis de casos de estudio

5.3.1 Factor de cielo visible (SVF) en el cañón urbano

Como un parámetro de análisis del comportamiento térmico al interior de los centros de manzana se utiliza el SVF, se define como la porción de cielo visible percibido desde un punto de vista de un observador localizado en la base del cañón urbano. Este análisis nos ayudará a entender la relación existente entre la morfología urbana y el microclima local, es importante también porque nos describe las máscaras de sombra que generan las edificaciones con respecto a la bóveda celeste. Para su simulación y análisis se utiliza el programa Heliodon y se lo realiza desde los mismos puntos de toma de datos de temperatura in situ.

5.3.2 Radiación en el cañón urbano

La radiación es uno de los factores más importantes que influyen en el clima de la ciudad, por lo tanto, es importante analizar la radiación recibida al interior de los centros de manzana, para mediante su análisis entender como la relación (H/W) interviene en el atrapamiento radiativo y en la intensidad de la ICU. Para su simulación se utiliza el programa Heliodon 2.7, el cual nos indica la cantidad de radiación solar recibida sobre una superficie teórica por cada metro cuadrado, expresada en kWh/m².

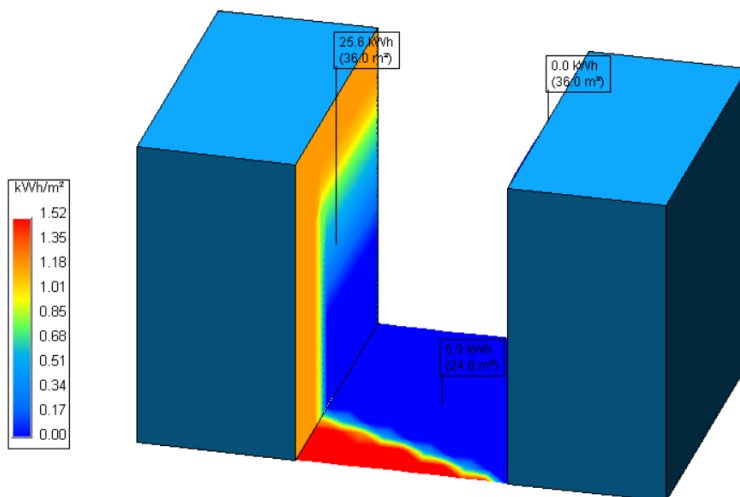


Ilustración 37: Cálculo de radiación con programa Heliodon 2.7. Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Características morfológicas

Centro de manzana original

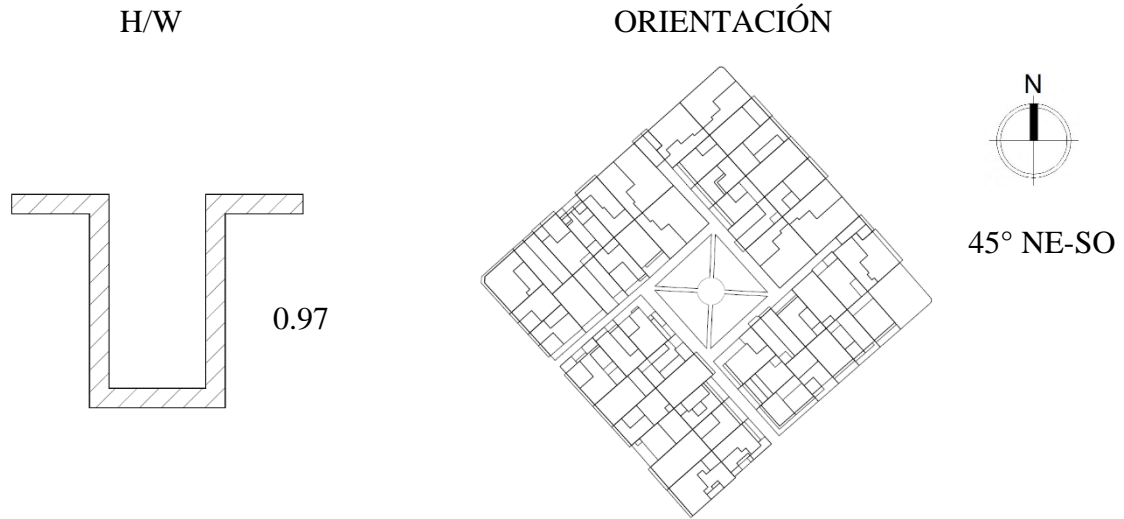
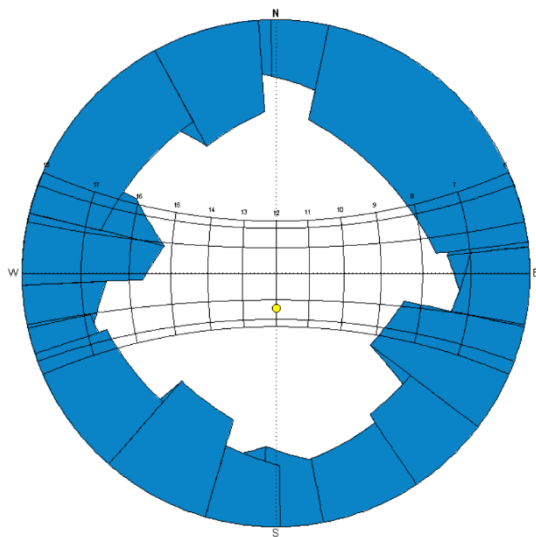


Ilustración 38: Centro de manzana original, características morfológicas. Fuente: Elaboración propia



SVF: 0.56

Ilustración 39: Centro de manzana original, máscara de sombras y SVF. Fuente: Elaboración propia, programa Heliodon



Imagen 17: Centro de manzana original, características morfológicas. Fuente: Elaboración propia

Centro de manzana modificado

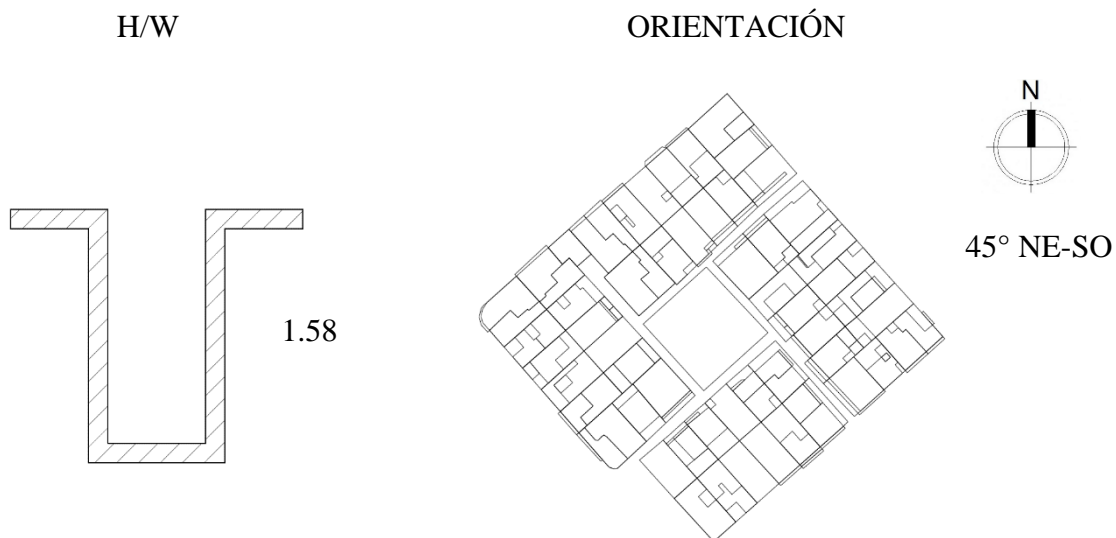
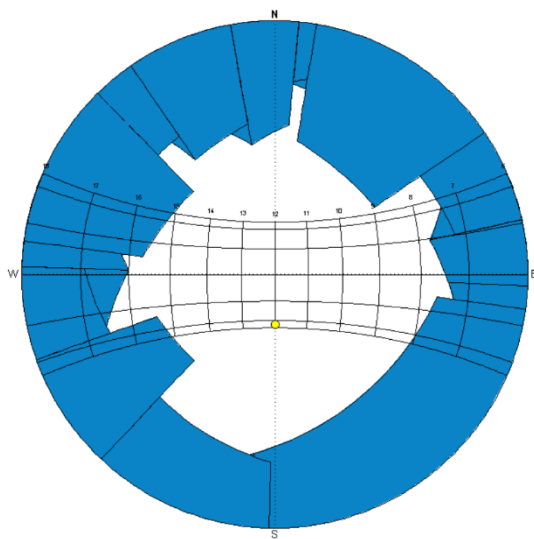


Ilustración 40: Centro de manzana modificado, características morfológicas Fuente: Elaboración propia



SVF: 0.51

Ilustración 41: Centro de manzana modificado, máscara de sombras y SVF Fuente: Elaboración propia, programa Heliodon



Imagen 18: Centro de manzana modificado, características morfológicas Fuente: Elaboración propia

5.3.4 La isla de calor urbana en el barrio Solanda

Para la aplicación correcta de la metodología que caracteriza la ICU, es necesario la comparación de la temperatura del aire, entre el contexto urbano dónde se localiza el caso de estudio y el contexto rural más cercano, en este sentido se realizó un acercamiento al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), dónde se obtuvieron los datos de temperatura de las estaciones meteorológicas: Iñaquito ubicada en el centro norte de Quito, dentro del contexto urbano, e Izobamba al sur de la ciudad, localizada en el área rural.

Para la caracterización de la ICU en los centros de manzana del barrio Solanda al sur de la ciudad, se aplica los datos obtenidos en la estación Izobamba, ya que genera datos válidos oficiales (INAMHI), presenta condiciones de cercanía al caso de estudio (10.4 km) y sobre todo se encuentra localizada en el contexto rural más cercano, requisito teórico necesario para poder evidenciar la diferencia de temperatura en la ICU y poder determinar su intensidad máxima.

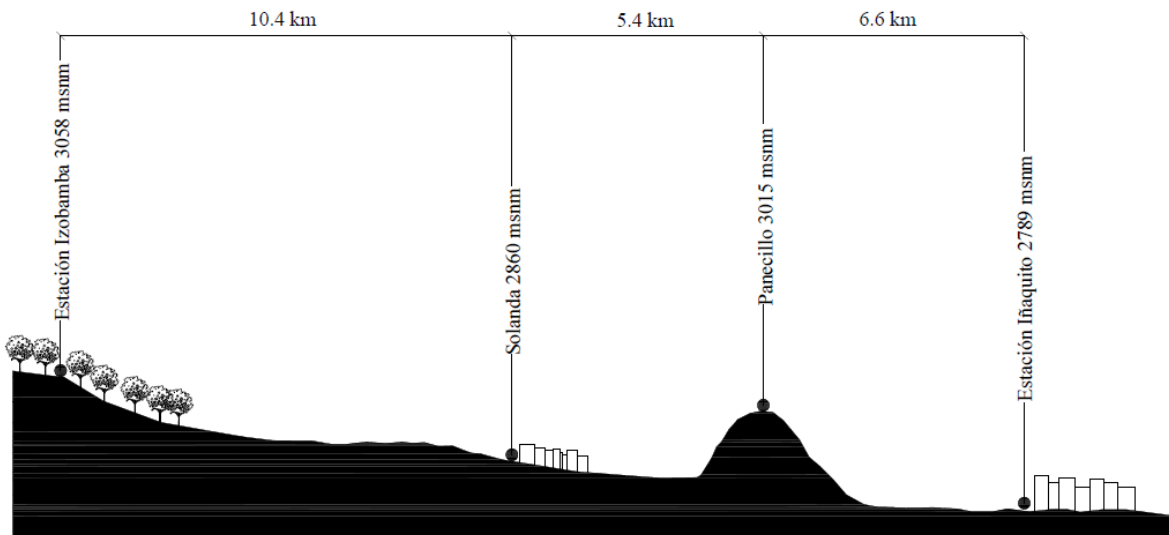


Ilustración 42: Esquema de ubicación, altura y distancia de las estaciones: Iñaquito, Izobamba y Solanda. Elaboración propia.

De acuerdo a la comparación de la temperatura del aire entre los datos de la estación de Izobamba y los centros de manzana estudiados, se puede evidenciar la existencia de la isla de calor, sustentado en los valores registrados en los centros de manzana estudiados, tendencialmente superiores a los datos de la estación meteorológica de Izobamba (INAMHI).

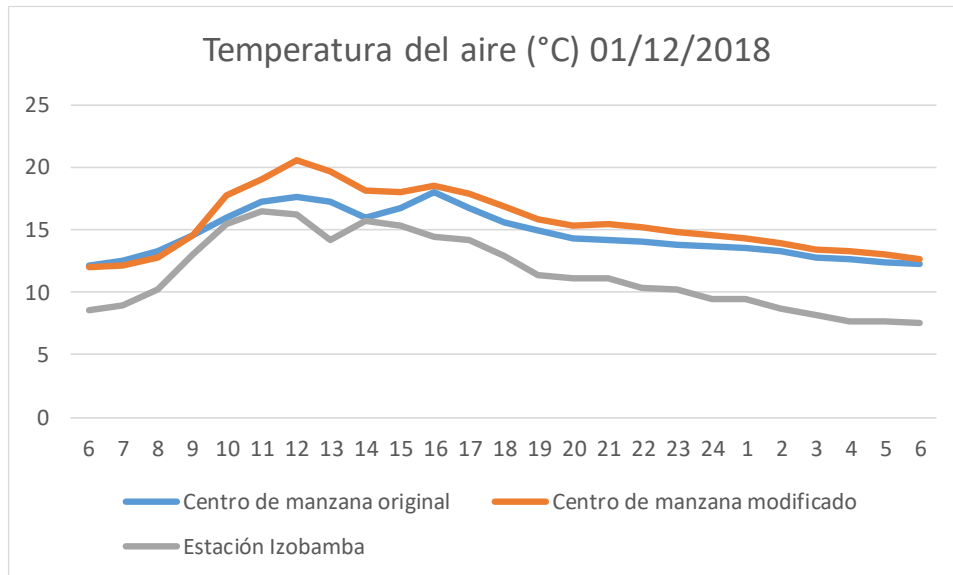


Ilustración 43: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 01/12/2018: Elaboración propia, programa Excel

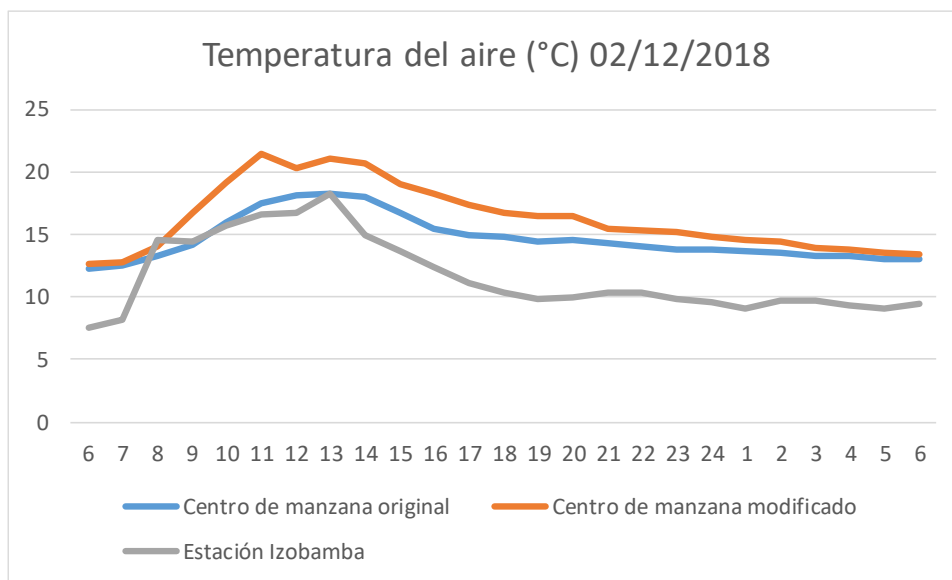


Ilustración 44: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 02/12/2018: Elaboración propia, programa Excel

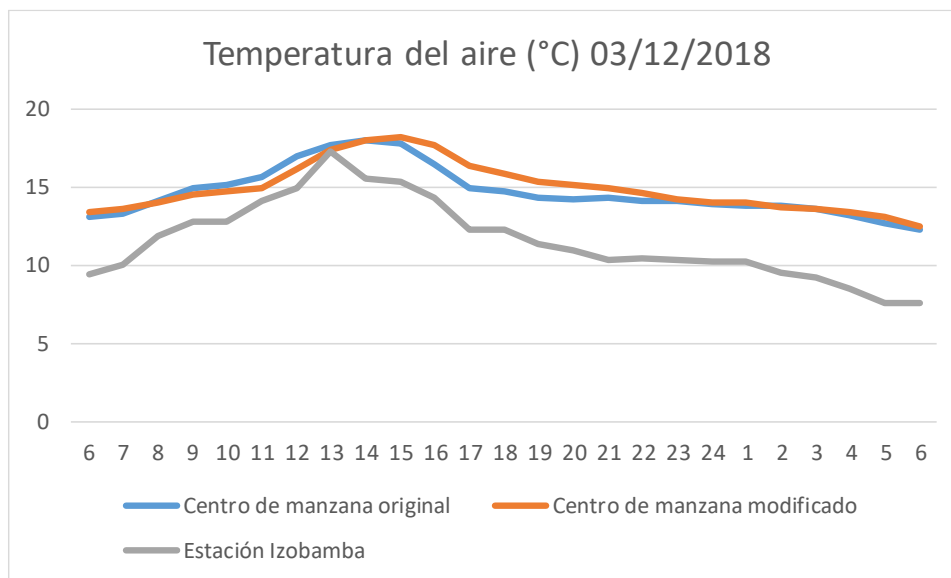


Ilustración 45: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 03/12/2018: Elaboración propia, programa Excel

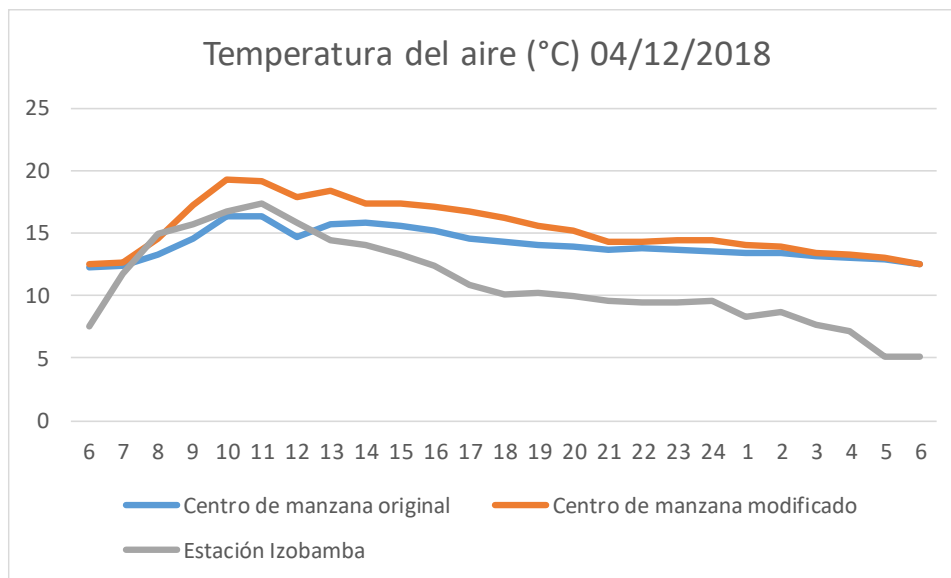


Ilustración 46: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 04/12/2018: Elaboración propia, programa Excel

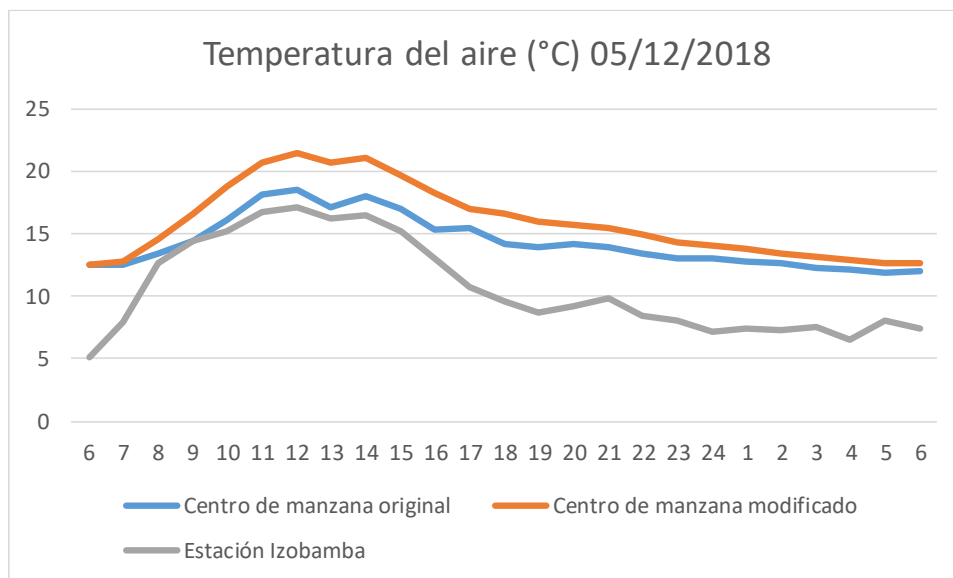


Ilustración 47: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 05/12/2018: Elaboración propia, programa Excel

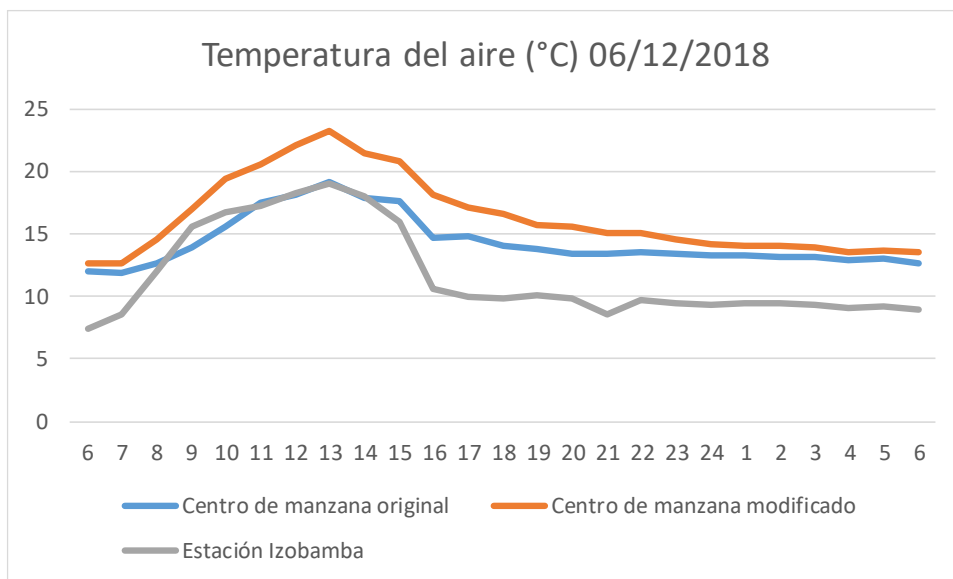


Ilustración 48: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 06/12/2018: Elaboración propia, programa Excel

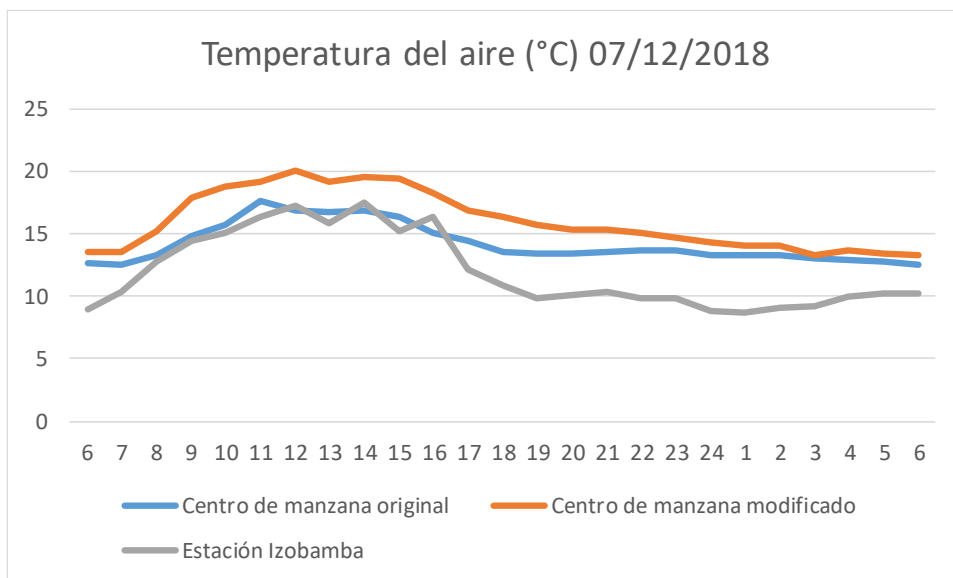


Ilustración 49: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados y la estación de Izobamba el 07/12/2018: Elaboración propia, programa Excel

De acuerdo a las ilustraciones (43-49), se evidencia que la temperatura de la estación Izobamba mantiene una clara tendencia de valores más baja con respecto a las registradas en el centro de manzana modificado, a excepción de los días 02 y 04/12/2018, en los cuales se observa un pico momentáneo en la estación Izobamba que se presenta a las 8 a.m. El día 03/12/2018 alcanza momentáneamente a la temperatura del centro de manzana modificado a la 1 p.m.

El comportamiento térmico del centro de manzana original muestra una tendencia de valores también más alta con respecto a la estación Izobamba, sin embargo, se observa que el comportamiento térmico de este centro de manzana muestra valores más cercanos al de la estación Izobamba entre las horas de la mañana y las primeras horas de la tarde. Este fenómeno se presenta el día 02/12/2018, dónde se observa un pico momentáneo de temperatura que supera al centro de manzana original a las 8 a.m. y lo iguala a la 1 p.m. El día 04/12/2018 se presenta de 8 a.m. a 12 p.m. y el día 06/12/2018 se presenta de 8 a.m. a 1 p.m. El día 07/12/2018 se muestra un comportamiento térmico irregular en la estación de

Izobamba, observándose 3 picos de temperatura que superan al centro de manzana original a las 12, 14 y 16 p.m.

En los casos estudiados, se observa un incremento diferenciado de temperatura principalmente desde las 8 a.m. hasta 12 p.m. A excepción del día 03/12/2018 cuyo valor máximo de temperatura se dio a las 15 p.m. Se muestra también que a partir de la 1 p.m. sin variación los dos centros de manzana mantienen valores de temperatura más altos a los de la estación Izobamba, evidenciándose la existencia de la isla de calor principalmente en las horas de la noche como se presenta los días 03 y 04/12/2018 con una diferencia de temperatura más marcada entre el contexto urbano y rural.

5.3.5 Comportamiento térmico en centros de manzana (H/W)

La temperatura del aire registrada en el centro de manzana modificado se muestra tendencialmente más alta que en el centro de manzana original tanto en las horas del día como en la noche, a excepción del día 01/12/2018 en el cual se observa que de 6 a.m. a 9 a.m. supera ligeramente la temperatura del centro de manzana original sobre el centro de manzana modificado.

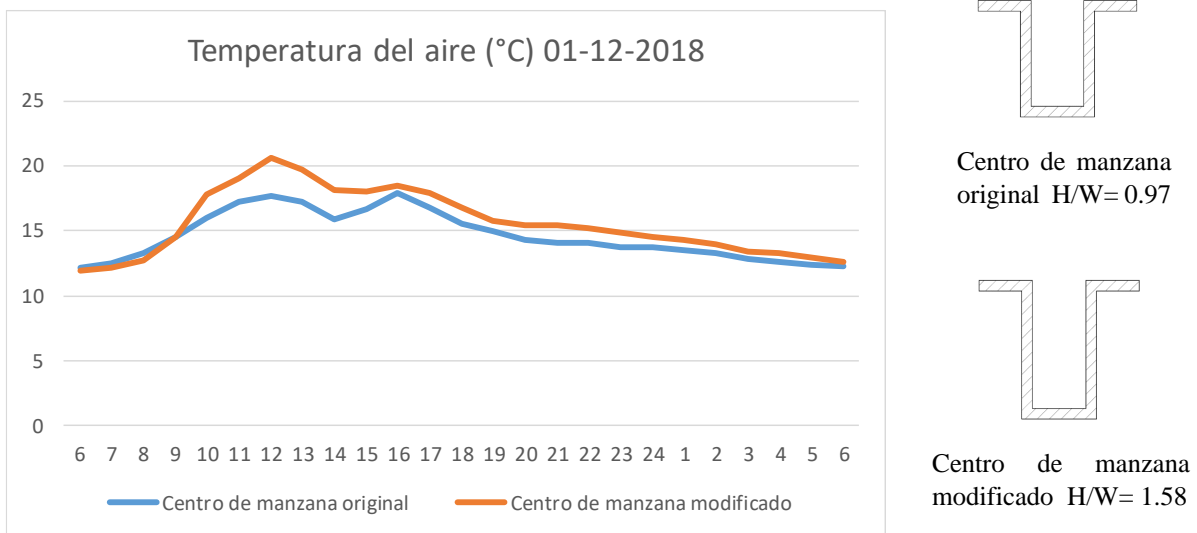


Ilustración 50: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 01/12/2018 y ratio H/W: Elaboración propia, programa Excel

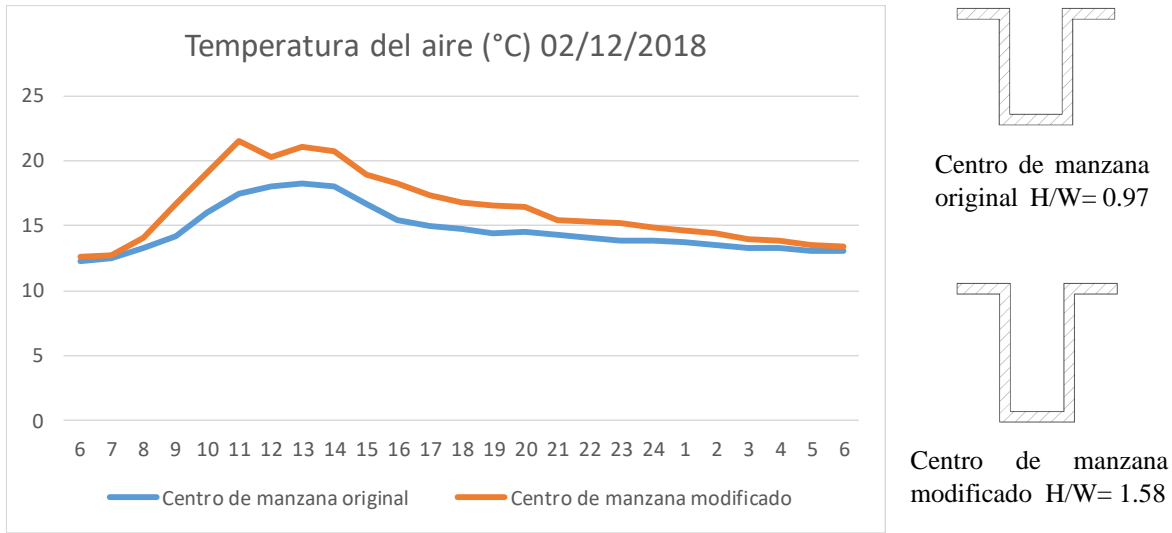


Ilustración 51: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 02/12/2018 y ratio H/W: Elaboración propia, programa Excel

El día 03/12/2018 también se da este comportamiento térmico, superando la temperatura del centro de manzana original sobre el centro de manzana modificado desde las 9 a.m. a 1 p.m.

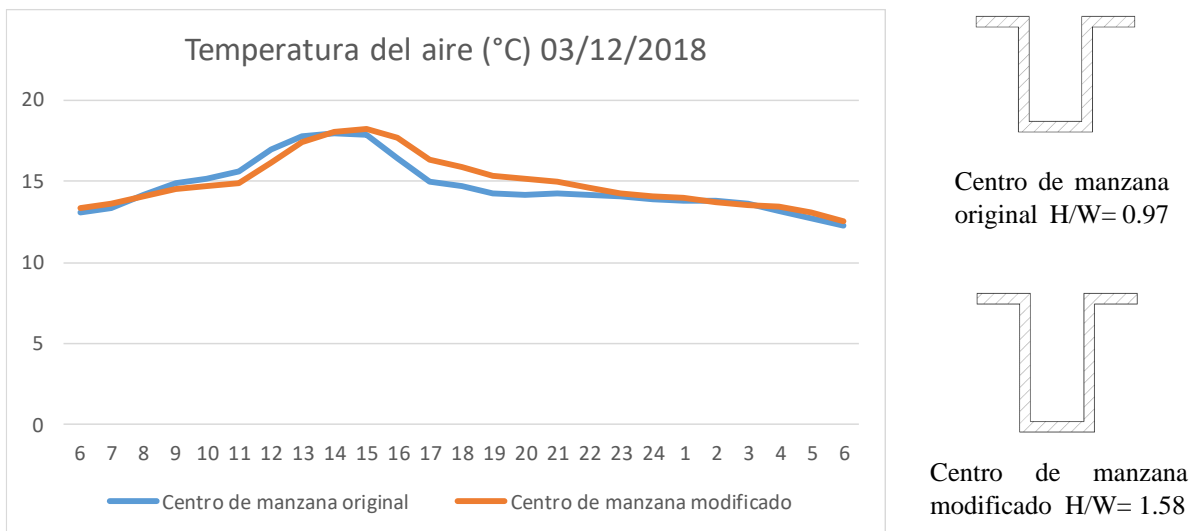
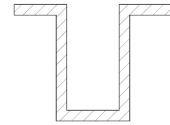
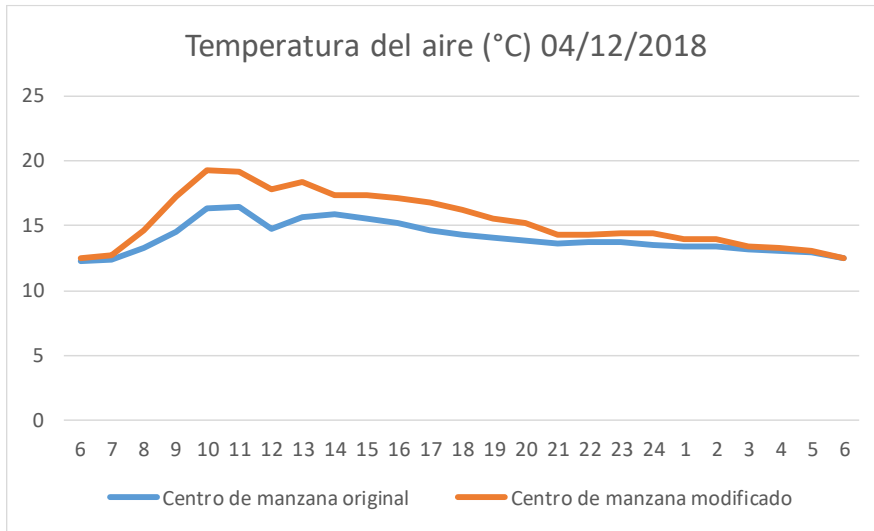
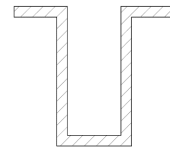


Ilustración 52: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 03/12/2018 y ratio H/W: Elaboración propia, programa Excel

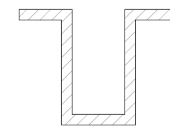
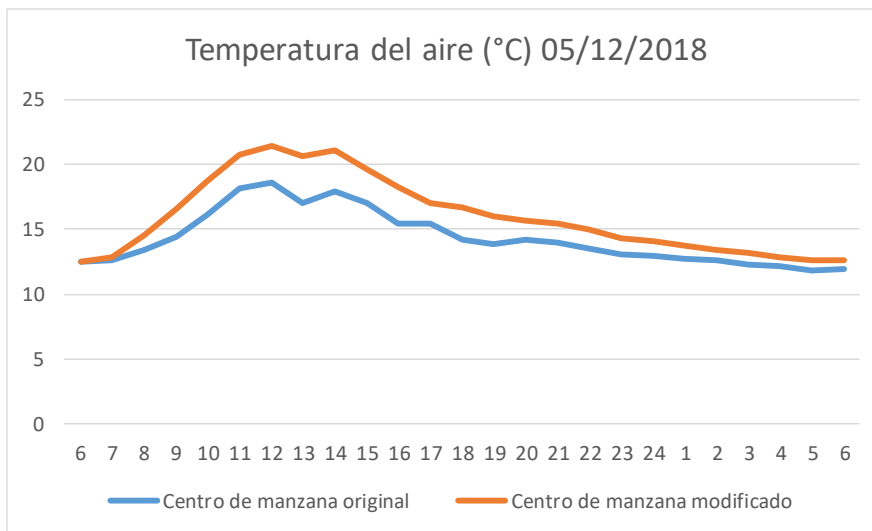


Centro de manzana original H/W= 0.97

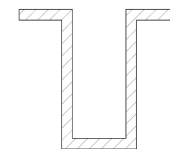


Centro de manzana modificado H/W= 1.58

Ilustración 53: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 04/12/2018 y ratio H/W: Elaboración propia, programa Excel



Centro de manzana original H/W= 0.97



Centro de manzana modificado H/W= 1.58

Ilustración 54: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 05/12/2018 y ratio H/W: Elaboración propia, programa Excel

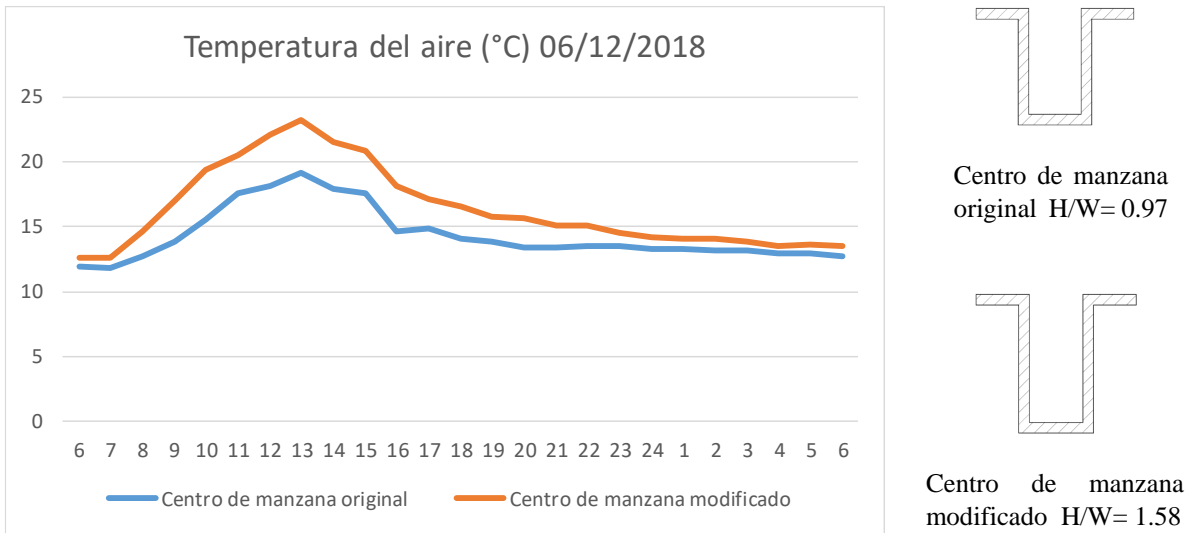


Ilustración 55: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 06/12/2018 y ratio H/W: Elaboración propia, programa Excel

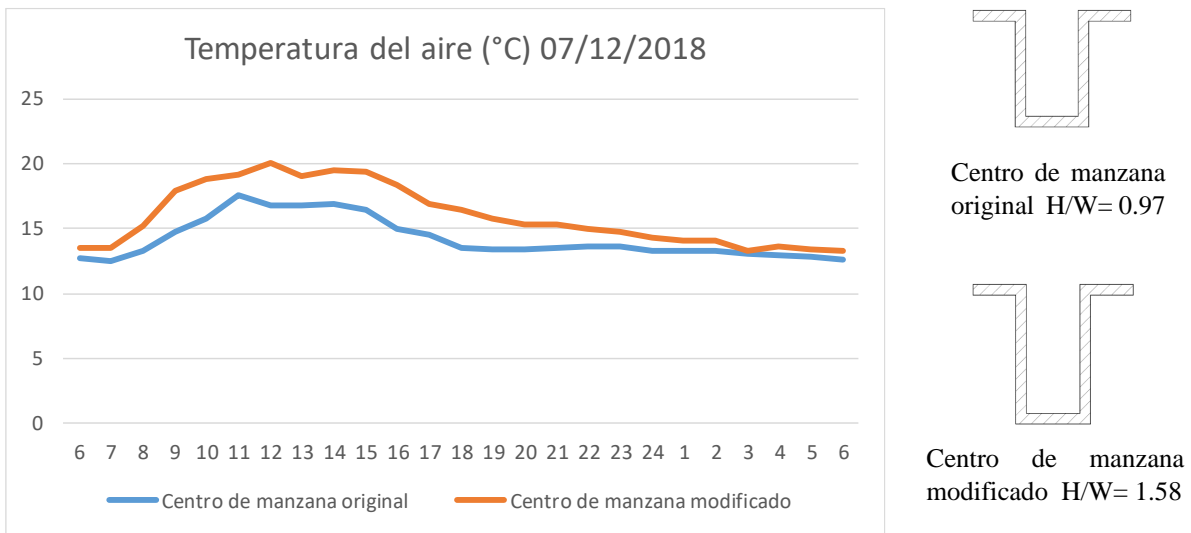


Ilustración 56: Temperatura del aire registrada en los centros de manzana estudiados el 07/12/2018 y ratio H/W: Elaboración propia, programa Excel

Analizando el comportamiento térmico de los casos de estudio con una orientación de 45° NE-SO, se observa que el centro de manzana modificado con una relación H/W mayor pierde temperatura de una forma más rápida en horas de la tarde y noche; y adquiere temperaturas más altas por la mañana hasta el mediodía con mayor rapidez e intensidad que el cañón urbano con relación H/W menor.

La simulación de radiación incidente en las superficies de los cañones urbanos realizada en el programa Heliodon, proporcionó resultados similares para cada día de la semana de estudio; por lo que se escoge el 01-12-2018 como día representativo para la simulación. Los resultados de la radiación sobre las fachadas verticales muestran una tendencia de valores más elevados del centro de manzana modificado (742.4 m²) sobre el centro de manzana original (622.4 m²) a excepción de las 8 a.m. en dónde se puede observar un mayor valor en el centro original. Se muestra valores de radiación similar en las primeras horas de la mañana y a las 6 p.m. al final de la tarde.

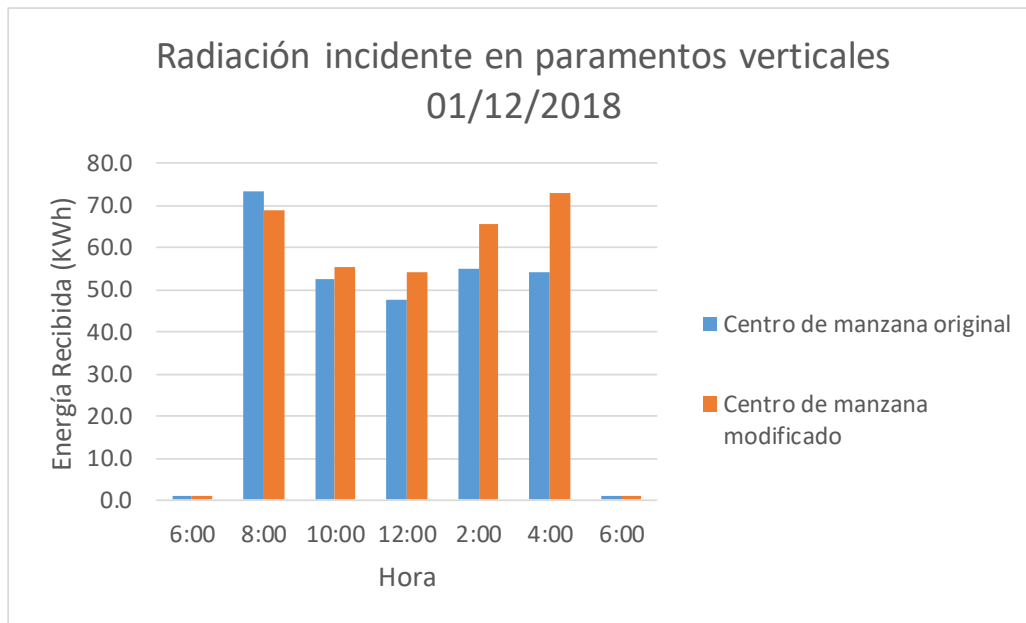


Ilustración 57: Radiación incidente en paramentos verticales el 01/12/2018. Elaboración propia, programa Excel

El barrio Solanda al sur de la ciudad Quito por su ubicación sobre la línea ecuatorial recibe radiación de forma perpendicular al medio día, siendo la superficie horizontal la que capta la mayor cantidad de horas de sol durante el día. Los centros de manzana analizados, captan el 01/12/2018 alrededor de 09:30 horas de sol del total de 12 horas solares diarias incidentes.

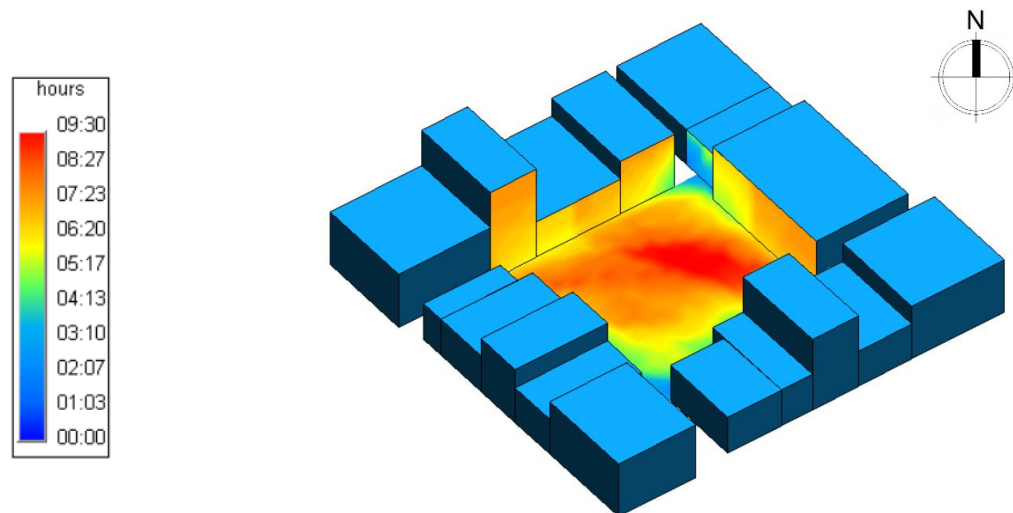


Ilustración 58: Horas de asoleamiento en centro de manzana original el 01/12/2018. Elaboración propia, programa Heliodon

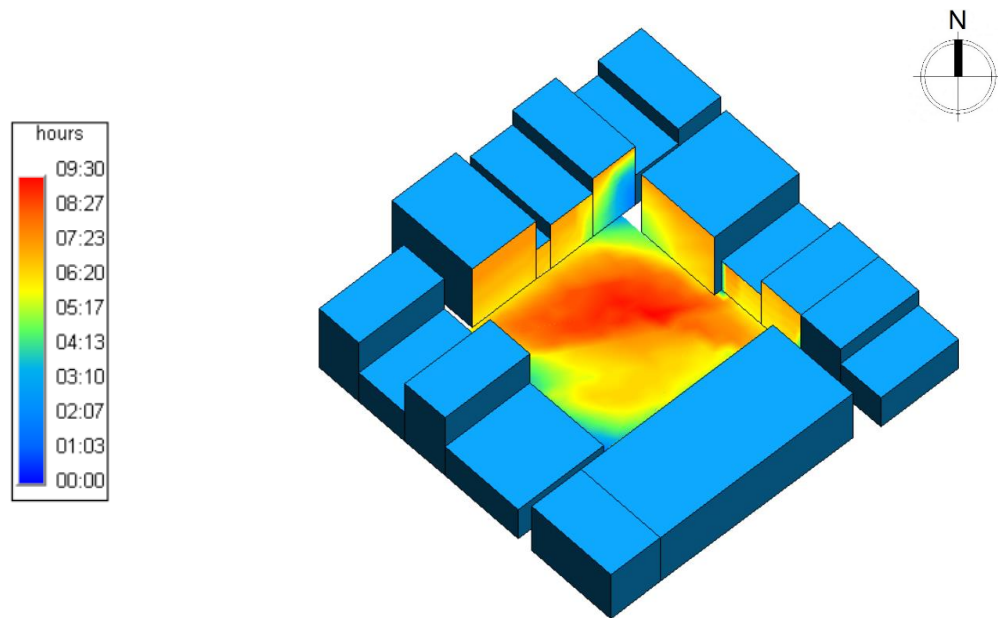


Ilustración 59: Horas de asoleamiento en centro de manzana modificado el 01/12/2018. Elaboración propia, programa Heliodon

El centro de manzana original al poseer un SVF mayor al centro de manzana modificado, permite un mayor ingreso de luz directa y difusa en su interior, la que incide en su mayoría sobre la superficie horizontal del espacio público, con un valor máximo de 8.81 KWh/m² para el día 01/12/2018, entre las 6 a.m. y 6 p.m.

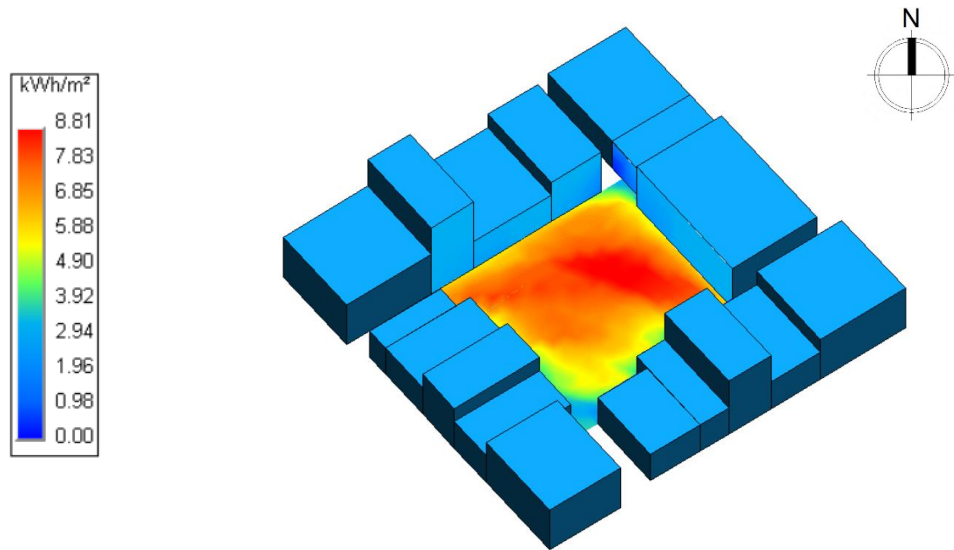


Ilustración 60: Energía recibida en centro de manzana original el 01/12/2018. Elaboración propia, programa Heliodon

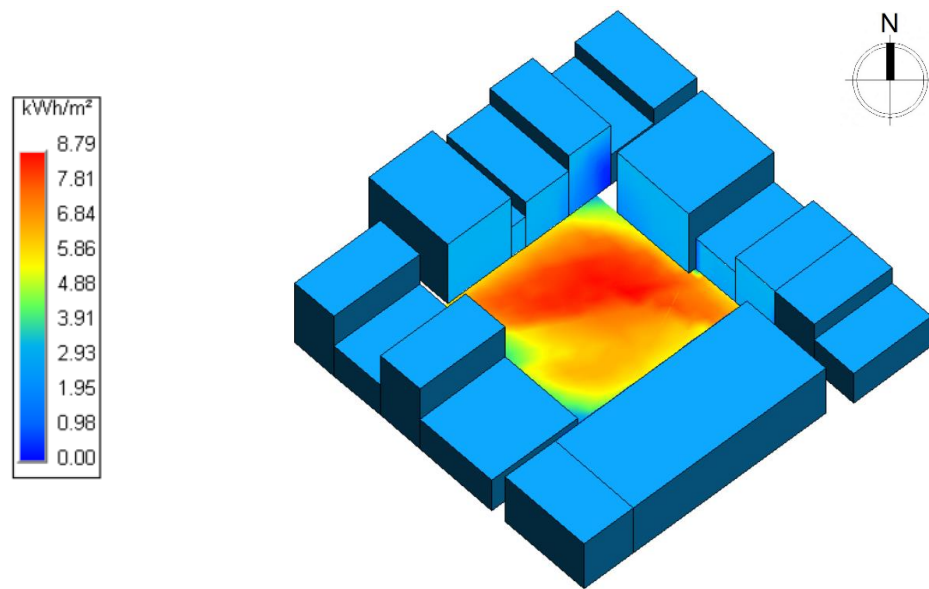


Ilustración 61: Energía recibida en centro de manzana modificado el 01/12/2018. Elaboración propia, programa Heliodon

El centro de manzana original con 598.8 m² de superficie horizontal, posee una mayor superficie expuesta a la radiación solar que el centro de manzana modificado con 579.66 m². Esta diferencia de superficie incide en el comportamiento radiativo total de los cañones urbanos estudiados.

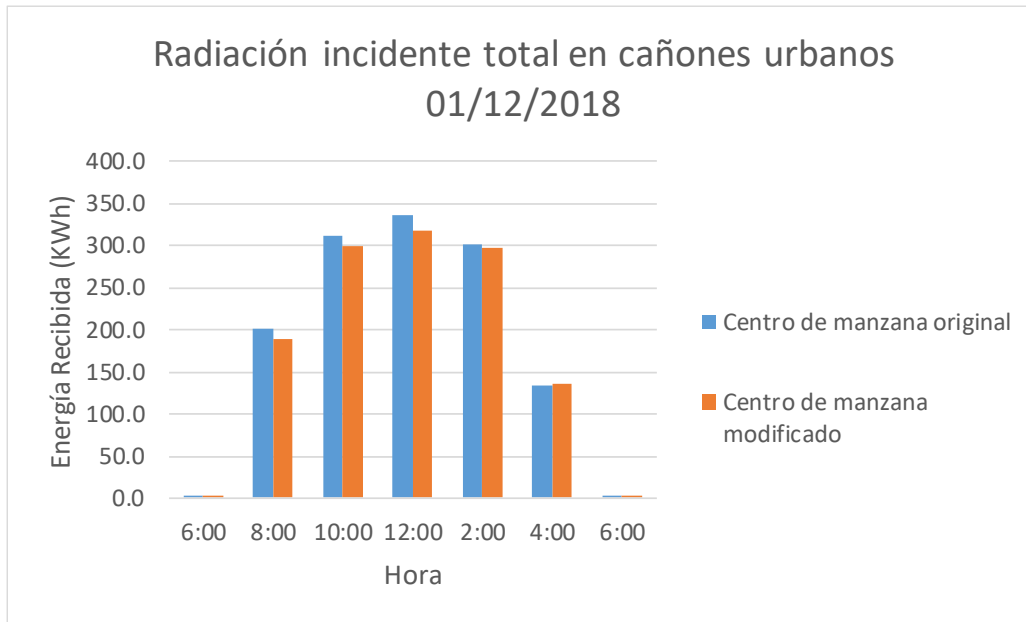


Ilustración 62: Radiación incidente total en cañones urbanos el 01/12/2018. Elaboración propia, programa Heliodon

Se observa un incremento en los valores de energía captada en el centro de manzana original sobre el centro de manzana modificado durante las 12 horas de simulación a excepción de los valores presentados a las 4 p.m. Se observa también que los valores del centro de manzana modificado empiezan a alcanzar los valores del centro de manzana original a partir de las 2 p.m.

La energía captada en las superficies del cañón urbano, se almacena paulatinamente como inercia térmica en los materiales de cobertura, contribuyendo al fenómeno de atrapamiento radiativo en horas de la tarde para caracterizar la ICU principalmente en horas de la noche, cuando se muestra una mayor diferencia de temperatura entre el contexto urbano y rural.

5.3.6 Comportamiento térmico con software ENVI-met 4

Para realizar el análisis y comportamiento térmico que incluya todas las variables que inciden en la temperatura de los casos de estudio (centros de manzana), se utiliza el programa ENVI-met V 4.4; este software realiza tridimensionalmente el cálculo micro climático de una forma holística (varias interacciones en el mismo modelo de análisis). Permite escoger la ubicación geográfica, definir la zonificación climática, caracterizar los materiales de cobertura y definir la vegetación existente en el modelo. Como primer paso previo a la simulación climática se realiza la configuración del espacio de trabajo “Manage workspace”.

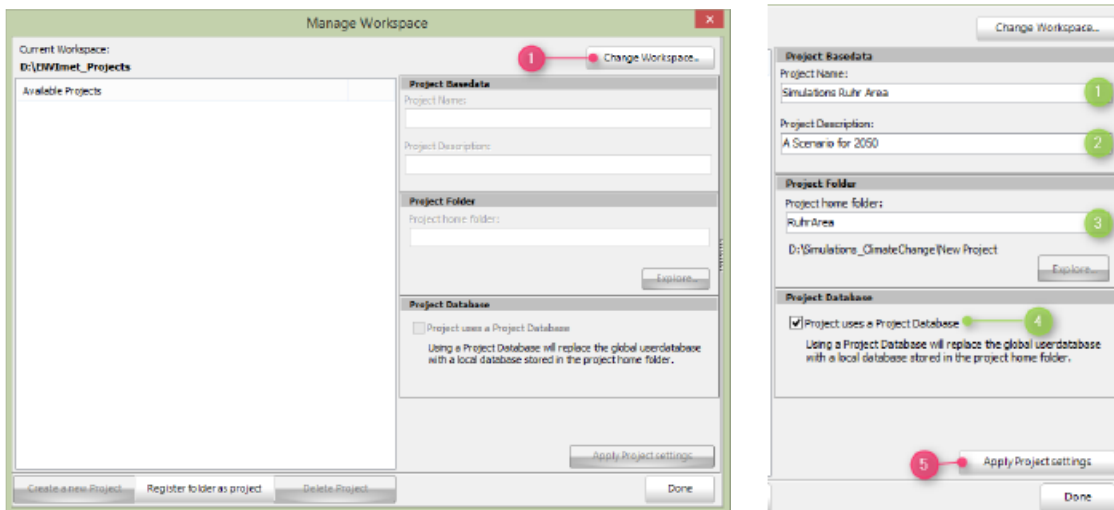


Ilustración 63: Esquema inicial del espacio de trabajo “Manage Workspace”. Adaptado de ENVI-met V4.4. Fuente: (Bruse, 2018)

Esta configuración inicial permite crear una carpeta de destino, dónde se guarda y valida los archivos con toda la información micro climática generada en cada modelo y simulación realizada. Esto permite generar una gran cantidad de información que relaciona el clima local con el microclima urbano circundante, los espacios construidos, el suelo y la vegetación existente y su incidencia en el comportamiento térmico.

Para la construcción del modelo urbano a ser analizado se utiliza la herramienta “Spaces 64 Bit”, la cual presenta un espacio base cuadrículado en forma de malla, por default (100mX100mX40m) este espacio es útil para modelar construcciones, aceras, calzadas, áreas verdes, fuentes de agua, etc, asignando materiales para las fachadas, cubiertas, suelo, permitiendo generar modelos complejos con mayor detalle desde una escala barrial hasta una escala urbana integral.

Una de las ventajas que ofrece el software ENVI-met es la de incorporar diferentes tipos de vegetación en el modelo, para ello utilizamos la herramienta “Albero”, que permite modificar la altura, el ancho, el follaje, profundidad de las raíces, etc. El proceso de fotosíntesis, la captura solar, la sombra y la regulación de pérdida de humedad en el ambiente, son funciones que realiza la vegetación, siendo de mucha importancia poder incorporar estos elementos dentro de la simulación escogida. Se puede realizar la simulación tanto con vegetación baja como césped, arbustos y setos como con árboles de diferente altura y densidad foliar, calcula la captura de gases, CO₂ y partículas realizadas por las hojas, así como las masas de aire en la atmósfera y su dispersión debido a la vegetación.

El software calcula constantemente las interacciones que se producen con las propiedades térmicas y físicas de cada material (contenido calórico, conductividad térmica y transferencia solar) sea en fachada, suelo o techo de la edificación. La herramienta “Manage Database” permite definir y editar materiales que luego se pueden incorporar en las superficies del modelo.

La herramienta “Envi guide” permite configurar especificaciones como día, hora y duración de la simulación con un nivel de complejidad de cálculo que va entre inicial, medio y avanzado, define datos climatológicos como la temperatura del aire, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, límites de la modelación, esquemas de turbulencia, etc. La recomendación del software, indica utilizar preferentemente los valores predefinidos que se muestran por default en el programa, debido a la sensibilidad de los resultados.

5.3.6.1 Materiales de cobertura

Centro de manzana original. - Posee cuatro accesos peatonales que comunica con las calles circundantes que se articulan a cada una de sus esquinas y lo rodean, estos accesos poseen una cobertura de hormigón y bloque de concreto (Imagen 17), materiales que poseen una gran masa térmica que capta el calor en el día. Las viviendas que contienen al espacio público poseen en su mayoría losas planas de hormigón armado como cubierta, con una pared-antepecho sobre la terraza que funciona como límite de seguridad para sus usuarios. El software ENVI-met caracteriza este material con los siguientes valores: 0100C4 Concrete/ filled block: absorción 0.70, reflexión 0.30, emisividad 0.90, calor específico 840.00, conductividad térmica 0.85, densidad 1260.00 (ENVI-met, 2018)

Centro de manzana modificado. - Posee también una configuración peatonal similar desde las calles circundantes, la diferencia radica en que la cobertura de hormigón y bloque de concreto cubre toda la superficie del espacio público contenido entre las viviendas circundantes, careciendo de espacios de sombra y permitiendo que la radiación solar ingrese directamente y caliente las superficies expuestas, lo que diferirá en la temperatura del aire entre un espacio público y otro. Las viviendas poseen también en su mayoría losas de hormigón en la última planta alta y paredes de bloque de hormigón. El software ENVI-met caracteriza este material con los siguientes valores: 0100C3 Concrete/ hollow block: absorción 0.70, reflexión 0.30, emisividad 0.90, calor específico 840.00, conductividad térmica 0.86, densidad 930.00 (ENVI-met, 2018)

Hormigón



Adoquin de concreto



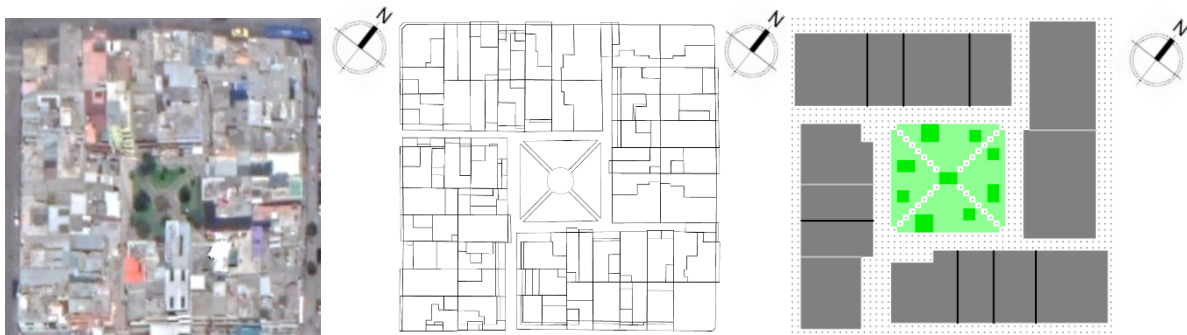
Paredes de bloque



Imágenes 19,20,21: materiales identificados en los casos de estudio. Elaboración propia

5.3.6.2 Modelado y simulación ENVI-met

Centro de manzana original. - El modelado del espacio público se lo realiza en base a su característica morfológica correspondiente a las áreas verdes diseñadas originalmente, que se mantienen inalteradas aproximadamente desde el año 1980, para ello se considera sus dimensiones originales, sus accesos peatonales, caminerías al interior del parque, la vegetación baja, los setos y árboles existentes. En cuanto a las edificaciones circundantes se toma en cuenta la altura, materiales y morfología actual. El centro de manzana original en el software ENVI-met se desarrolla en una cuadrícula de (80mX80mX30m) en los ejes (x,y,z) con una resolución de 1.0m. “La altura recomendada por el software en el eje z, debe ser por lo menos el doble del edificio con mayor altura en la modelación”. (Pozo, 2017)



Centro de manzana original.
Vista aérea. Fuente: Google
maps 2018

Mapa catastral Fuente:
Dirección metropolitana de
catastros DMQ 2018

Modelo 2D ENVI-met
Centro de manzana original.
Elaboración propia

Ilustración 64: Construcción del modelo ENVI-met, Centro de manzana original, definición de escala y grilla. Elaboración propia

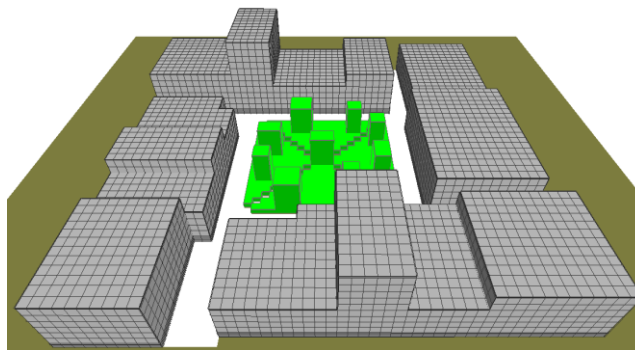
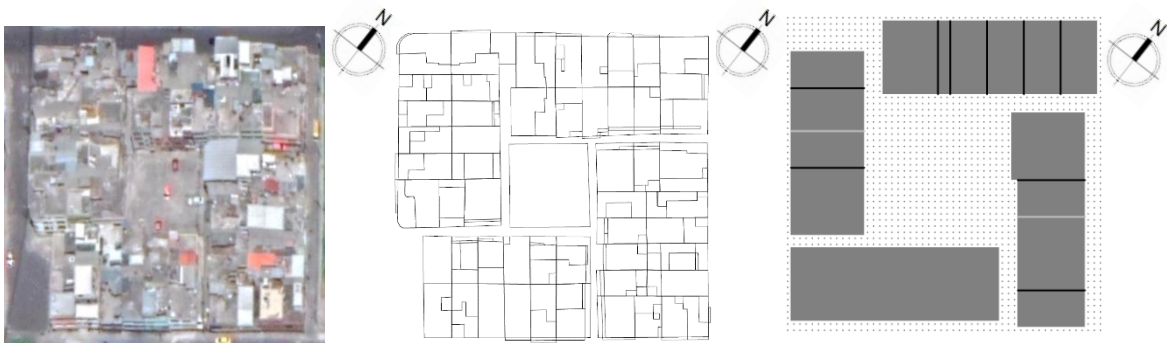


Ilustración 65: Modelo 3D ENVI-met, Centro de manzana original. Elaboración propia

Centro de manzana modificado.- Para el modelado de este caso de estudio se define una cuadrícula de (80mX80mX30m) en los ejes (x.y.z) con una resolución de 1.0m. La escala utilizada define todo el espacio público con todas las viviendas que lo rodean y conforman el cañón urbano. En la actualidad presenta un cambio en el diseño original de las áreas verdes, muestra una superficie de hormigón en su totalidad y aceras de bloque de concreto alrededor, estas variables condicionan la temperatura del aire al captar el calor de la mañana y tarde debido a su alta inercia térmica, la que devuelve al ambiente principalmente por la noche, caracterizando la ICU. El uso de suelo actual del espacio público es contrario al que fue destinado, se utiliza para parqueo de vehículos de los propietarios residentes en el sector.



Centro de manzana modificado. Vista aérea. Fuente: Google maps 2018

Mapa catastral Fuente: Dirección metropolitana de catastros DMQ 2018

Modelo 2D ENVI-met Centro de manzana modificado. Elaboración propia

Ilustración 66: Construcción del modelo ENVI-met, Centro de manzana modificado, definición de escala y grilla. Elaboración propia

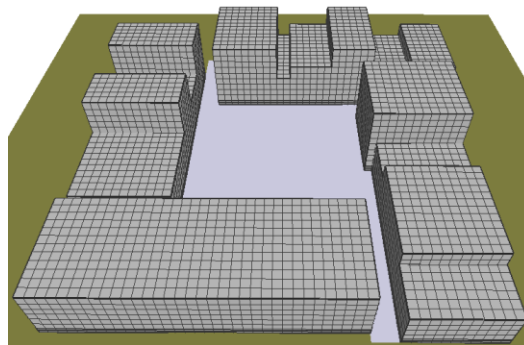
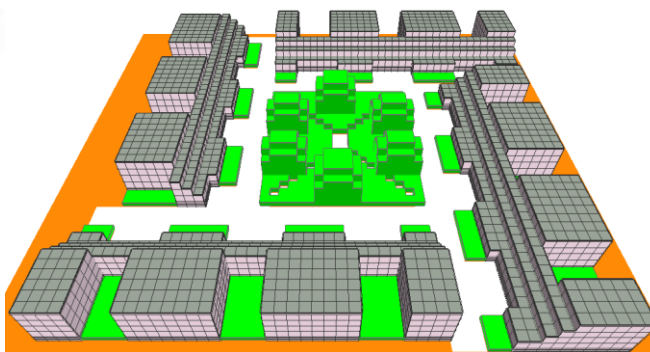
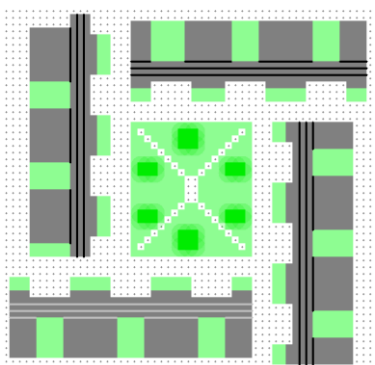


Ilustración 67: Modelo 3D ENVI-met, Centro de manzana modificado. Elaboración propia

Centro de manzana histórico. - El plan de vivienda Solanda fue diseñado con el fin de dotar de espacios públicos y áreas verdes en diferentes escalas a sus habitantes, de tal manera que estos espacios se conviertan en principios generadores de relaciones en la comunidad. Se asume al estado original de los centros de manzana como centro de manzana histórico. Se modela este espacio con la característica inicial de implantación de las viviendas circundantes, con una altura máxima de dos plantas y con un patio interior que servía para aireación e iluminación de los espacios que la vivienda progresivamente iba a desarrollar de acuerdo a una planificación serial establecida para el efecto. Se define para la modelación una cuadrícula de (70mX70mX25m) asignado a los ejes (x,y,z).



Modelo 2D ENVI-met Centro de manzana histórico. Elaboración propia

Modelo 3D ENVI-met Centro de manzana histórico. Elaboración propia

Ilustración 68: Construcción del modelo ENVI-met, Centro de manzana histórico, definición de escala y grilla. Elaboración propia

5.3.6.3 Configuración del perfil geográfico y climatológico

El software ENVI-met permite ir configurando secuencialmente los archivos de entrada de datos para una correcta simulación del modelo, para precisar la ubicación geográfica utilizamos la herramienta (Space- ENVI-met) y llenamos los campos correspondientes a: latitud, longitud, zona horaria, altitud y coordenadas del terreno con relación al nivel del mar. Los modelos construidos son asignados con un valor de -45° con respecto al Norte, con el objetivo de que las construcciones y el espacio público se alinee ortogonalmente a la cuadrícula base del software. Los datos meteorológicos aplicados a la modelación, son del fichero climático: ECU_Quito.840710_IWEC, (Clima internacional

para cálculos de energía, archivo climático iwecc) definido en formato Energy plus weather (EPW) y adquiridos en la página web Climate Consultant.

5.3.6.4 Propiedades térmicas, materiales de cobertura y albedo

Para la configuración del modelo fue necesario aplicar materiales específicos obtenidos de la base de datos de ENVI-met, de acuerdo a la realidad física de cada caso de estudio; fachadas, cubiertas, aceras, pisos, paredes son las principales variables urbanas que interactúan con la incidencia de la radiación solar en el espacio público transmitido por: radiación, convección y conducción a los materiales de cobertura; influyendo en el balance térmico del aire, de acuerdo a la exposición, tiempo y estación del año. Se expresa entonces, las propiedades térmicas de los materiales utilizados en las simulaciones de los casos de estudio.

Tabla 3: Materiales y albedo en casos de estudio, ENVI-met V4.4

Parámetro	Grosor	Absorción	Transmitancia	Reflexión (Albedo)	Emisividad	Calor específico	Conductividad térmica	Densidad
(C3) Concrete: hollow block	0.30	0.70	0.00	0.30	0.90	840.00	0.86	930.00
(ST) Steel: Cubierta metálica	0.02	0.20	0.00	0.80	0.10	4800.00	45.00	800.00
(C4) Concrete: filled block	0.30	0.70	0.00	0.30	0.90	840.00	0.85	1260.00
(XY) Grass 50 cm aver. dense				0.20				
(XX) Grass 25 cm aver. dense				0.20				
(H4) Hedge dense, 4 m				0.20				

Fuente: Elaboración propia, adaptado de (Bruse, 2018)

Tabla 4: Materiales de suelo en casos de estudio, ENVI-met V4.4

Parámetro	Type material	Reflexión (Albedo)	Emisividad	Water content at field capacity	Water content at wilting point	Matrix potential	Hydraulic conductivity	Volumetric heat capacity	Heat conductivity
(00) Default soil (loam)	Natural Soil	0.20	0.45	0.24	0.16	-0.48	7.00	1.21	0.00

Fuente: Elaboración propia, adaptado de (Bruse, 2018)

5.3.6.5 Configuración del perfil vegetal

Utilizamos la herramienta “Albero” para poder insertar la vegetación en la modelación de los casos de estudio, la vegetación alta escogida para representar los árboles existentes en el centro de manzana original se codifica en la base de datos como H4 Hedge dense, 4m (CO2 fixation type: C3, tipo de hoja: caduca, follaje albedo: 0.20, transmitancia: 0.30, altura: 4m, profundidad de la raíz: 1m, perfil de área foliar: 2.5m).

Para la simulación de la superficie cubierta de césped en el centro de manzana original e histórico, la vegetación baja escogida en la base de datos se codifica como XY Grass 50 cm aver. dense (CO2 fixation type: C3, tipo de hoja: hierba, follaje albedo: 0.20, transmittance: 0.30, altura: 0.50m, profundidad de la raíz: 0.5m, perfil del área foliar: 0.3m) y XX Grass 25 cm aver. dense. El software realiza el cálculo de las variables del suelo con una profundidad cercana a los 4m, define por defecto el perfil para cada tipo de suelo aplicado a la modelación de acuerdo al tipo del material predominante, por lo tanto, se puede escoger diferentes tipos de suelo y calcular la conductividad térmica mediante la cantidad de humedad presente en el suelo. (Bruse, 2018) El porcentaje de humedad presente en los suelos urbanos es determinante como elemento de refrigeración y aporte al balance térmico adecuado en la ciudad.

5.3.6.6 Análisis de escenarios

Una vez configuradas todas las especificaciones relacionadas al modelado, definición geográfica, altura del terreno, materiales de cobertura incluida la vegetación, se procede a utilizar la herramienta “Leonardo 64 bit” para poder visualizar los resultados de la simulación en el software ENVI-met, el cual permite escoger los datos previamente configurados en la herramienta “Envi guide” descrita anteriormente, con lo que se cierra el proceso de modelado y simulación previo al análisis de los resultados obtenidos.

Como parte de la metodología se realiza las simulaciones de los centros de manzana original, modificado e histórico en un día tipo de verano, para ello se utiliza la información señalada en la ilustración 35, que indica el promedio de temperatura de Quito entre los años 2007-2017, la cual indica un pico de temperatura máxima en el mes de septiembre. Definido el mes de septiembre como mes de verano tipo para la simulación, se procede a analizar la información del fichero climático ECU_Quito.840710_IWEC (EPW), válido internacionalmente para cálculos de energía y clima, evidenciando que el día 7 de septiembre es el día tipo de verano con mayor temperatura en el mes, ingresando los valores horarios de temperatura del aire (°C) y humedad relativa (%) del día seleccionado en el software previo a la simulación.

El tiempo establecido para las simulaciones de los casos de estudio se fija entre las 07:00h y 23:00h, una vez realizadas las simulaciones de los casos de estudio en el software ENVI-met, se evidenció que para el día 07 de septiembre del 2018, las temperaturas más bajas se presentan al inicio del día y la más alta a las 2 p.m. Por lo que se escoge las horas: 7 a.m. y 2 p.m. para analizar los resultados de cada centro de manzana en un día tipo de verano.

Previo al análisis y visualización de resultados es pertinente señalar que la simulación en la herramienta informática (ENVI-met), utilizada en la modelación del clima y microclima urbano, presenta algunas limitaciones con relación a los datos reales obtenidos in situ, teniendo en cuenta que el software utiliza para sus cálculos, los datos de un clima tipo basado en valores estadísticos medios del lugar, mientras que los datos reales obtenidos corresponden a un periodo de tiempo que no siempre corresponden a una condición media, pudiendo presentar diferencias en temperatura del aire y humedad relativa, por lo tanto los valores simulados no deben tomarse como valores absolutos sino, limitarlos a la comparación de escenarios. (Tumini, 2012) En el estudio de (Samaali 2007) afirma que ENVI-met tiene un desarrollo satisfactorio entre la facilidad de uso y la precisión de cálculo, pudiendo considerarse aceptable los errores observados en relación a los valores obtenidos.

Se considera entonces adecuado el uso del software para el desarrollo comparativo de escenarios en un día tipo de verano simulado, por su facilidad de generar resultados visuales de fácil interpretación para el análisis.

Análisis del centro de manzana original.- El centro de manzana original se encuentra en la avenida Ajaví y calle Benancio Estandoque, la simulación se realiza para el día 07-09-2018, día cálido de verano con elevada radiación, la modelación se realiza de 7 a.m. a 23 p.m., los materiales de cobertura son: superficies de hormigón alrededor del centro de manzana, bloques de concreto en las caminerías internas del parque y vegetación de césped y árboles de 5m de altura aproximadamente que cubren el área verde.

La morfología de las edificaciones colindantes en sus cuatro frentes y materiales de cobertura son caracterizados de acuerdo a las condiciones actuales del caso de estudio. Los datos output de la simulación para las 7 a.m. y 2 p.m. se indican a continuación.

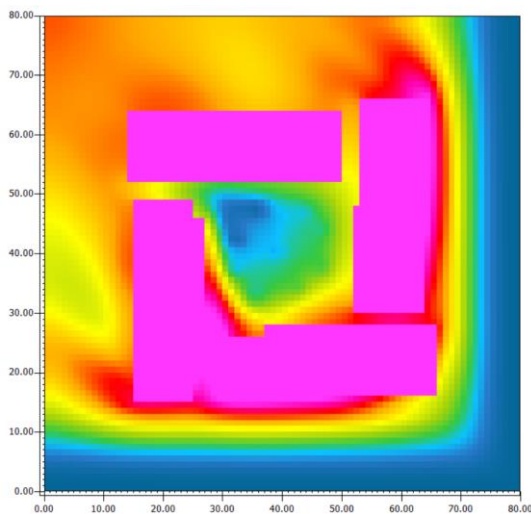


Ilustración 69: Centro de manzana original 7 a.m.
Programa ENVI-met. Elaboración propia

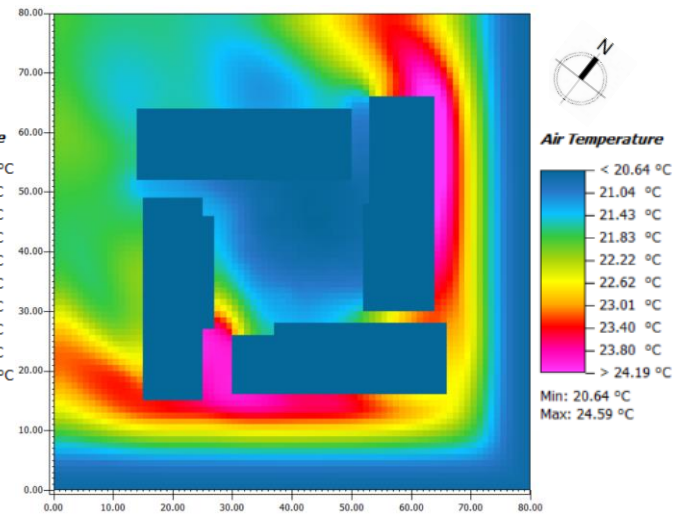


Ilustración 70: Centro de manzana original 2 p.m.
Programa ENVI-met. Elaboración propia

Se observa que al interior del centro de manzana a las 7 a.m. (Ilustración 69) mantiene una temperatura del aire entre 14.80 °C y 15.04 °C mostrando su incidencia más baja en el lado nor oeste, generándose isotermas concéntricas a nivel peatonal en el caso de estudio. Las caminerías alrededor del parque presentan una temperatura mayor debido a su cobertura superficial dura e impermeable y al intercambio energético con las superficies verticales de las viviendas adyacentes al espacio público.

De acuerdo a la simulación realizada, se indica que a las 2 p.m. (Ilustración 70) se presenta un valor máximo de temperatura de 21.83 °C en el lado sur, debido a que la vivienda ubicada en esta esquina del caso de estudio, tiene una altura menor (5.5m) al promedio de las viviendas con frente al centro y mantiene un retiro frontal y lateral de 2.4m lo que permite exponer una superficie horizontal adicional, lo que favorece al incremento de temperatura. El valor mínimo se presenta en el extremo norte con 20.64 °C.

Las edificaciones de mayor altura se localizan en este sector proyectando sombras sobre las superficies horizontales sobre las horas de la mañana. Se señala entonces, que la altura de las edificaciones como modelador del perfil urbano, puede producir cambios importantes con respecto al microclima urbano en un mismo sector.

Análisis del centro de manzana modificado.- El centro de manzana modificado se encuentra en las calles José Argudo y José Delgado, la simulación se realiza para el día 07-09-2018, día cálido de verano con elevada radiación, la modelación se realiza de 7 a.m. a 23 p.m., los materiales de cobertura son: aceras de bloque de concreto alrededor del centro de manzana, superficie de hormigón en su totalidad en el centro del caso de estudio, sin cobertura de vegetación.

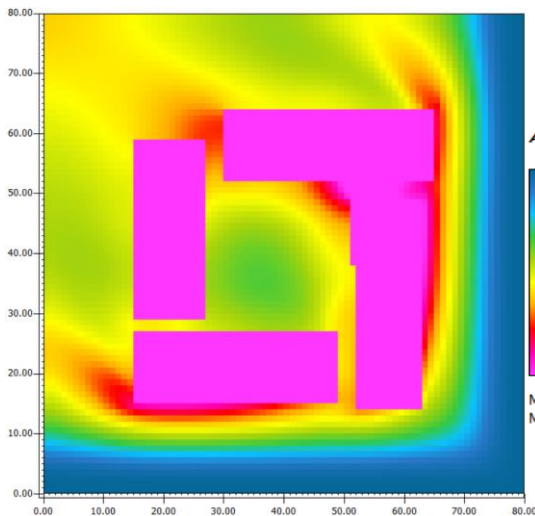


Ilustración 71: Centro de manzana modificado 7 a.m.
Programa ENVI-met. Elaboración propia

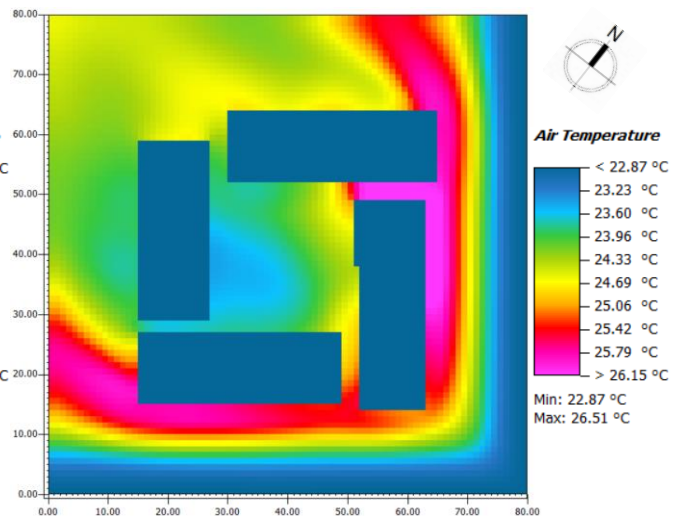


Ilustración 72: Centro de manzana modificado 2 p.m.
Programa ENVI-met. Elaboración propia

Se analiza el caso de estudio sin vegetación en su cobertura, observándose que para las 7 a.m. se presenta una temperatura entre 15.10 °C y 15.55 °C manteniéndose ligeramente con valores superiores a los del centro de manzana original a la misma hora, coincidiendo con los valores obtenidos in situ que indica temperaturas similares a las 6 a.m. sin embargo tendencialmente el centro de manzana modificado tiene un comportamiento más cálido en toda la simulación.

Los datos output de la simulación, indica que para las 2 p.m. se presenta una temperatura máxima de 25.42 °C debido a que la vivienda ubicada en la esquina norte, tiene un retiro de 3m a lo largo de la misma, que utiliza como garage y expone una superficie mayor de superficie de hormigón, lo que contribuye al incremento de temperatura. Se indica que existe una diferencia de temperatura de 3.59 °C en relación al centro de manzana original.

Se evidencia, que la ausencia de vegetación en el espacio público, genera mayores superficies expuestas a la radiación solar, pérdida de humedad, produciendo una mayor ganancia de temperatura en el aire como queda indicado, comprometiendo el uso del espacio.

Análisis del centro de manzana histórico. - Una vez realizada las dos simulaciones descritas para los dos casos de estudio en un día tipo de verano, se realiza el modelado y simulación del “centro de manzana histórico”, con el fin de tener una aproximación térmica proyectada hacia nuestro análisis, que permita analizarlo como elemento de mitigación para la ICU en planes de vivienda futuros.

Se lo configura teóricamente sobre el centro de manzana modificado, por ser el caso más extremo en relación a la variación morfológica y cobertura superficial entre los dos casos estudiados, por sus valores de temperatura más altos, presentes entre las 12 p.m. y 2 p.m. tanto en los datos obtenidos in situ como en la modelación realizada.

La simulación se realiza para el día 07-09-2018, día cálido de verano con elevada radiación, la modelación se realiza de 7 a.m. a 23 p.m. los materiales de cobertura son: caminerías de hormigón alrededor del centro de manzana y caminerías que comunican con el acceso a las viviendas, área verde cubierta de césped y árboles de 5m de altura en el centro del espacio público, se caracteriza a las edificaciones de acuerdo a los planos iniciales del plan de vivienda con una altura máxima de dos plantas, proyectando la terminación de las viviendas de carácter progresivo de acuerdo al programa arquitectónico establecido en los planos iniciales.

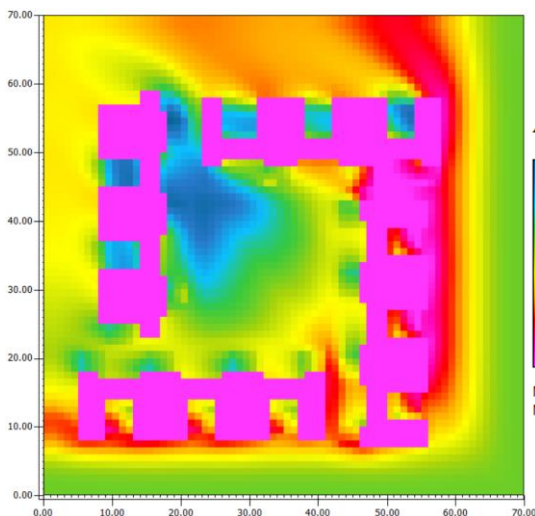


Ilustración 73: Centro de manzana modificado 7 a.m.
Programa ENVI-met. Elaboración propia

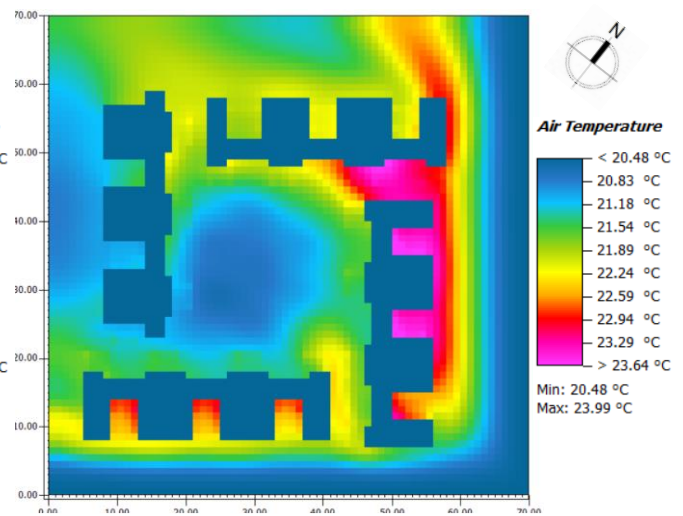


Ilustración 74: Centro de manzana modificado 2 p.m.
Programa ENVI-met. Elaboración propia

Los datos de salida de la simulación para las 7 a.m. (Ilustración 73) indican que en el centro de manzana histórico se mantiene una temperatura entre 14.34 °C y 14.67 °C, se observa en los lados nor- este y sur la influencia de la vegetación caracterizada por césped y arbustos de baja altura, localizados sobre el retiro frontal de las edificaciones, con una disminución de temperatura de 0.33 °C entre la caminería de bloque de concreto y la superficie verde, debido a los beneficios de la evapotranspiración y la sombra que proyectan. Conocidas como islas frías a pequeña escala.

La ilustración 74 indica que el centro de manzana histórico a las 2 p.m. tiene un comportamiento térmico uniforme, graficado mediante isotermas concéntricas, que presentan una temperatura mínima de 20.48 °C aproximadamente en su centro y una máxima de 21.54°C que se extiende concéntricamente hacia la periferia adyacente a la caminería peatonal, se observan también valores similares de temperatura entre la isoterma externa del espacio público y los jardines localizados sobre el retiro frontal de las edificaciones colindantes al centro estudiado.

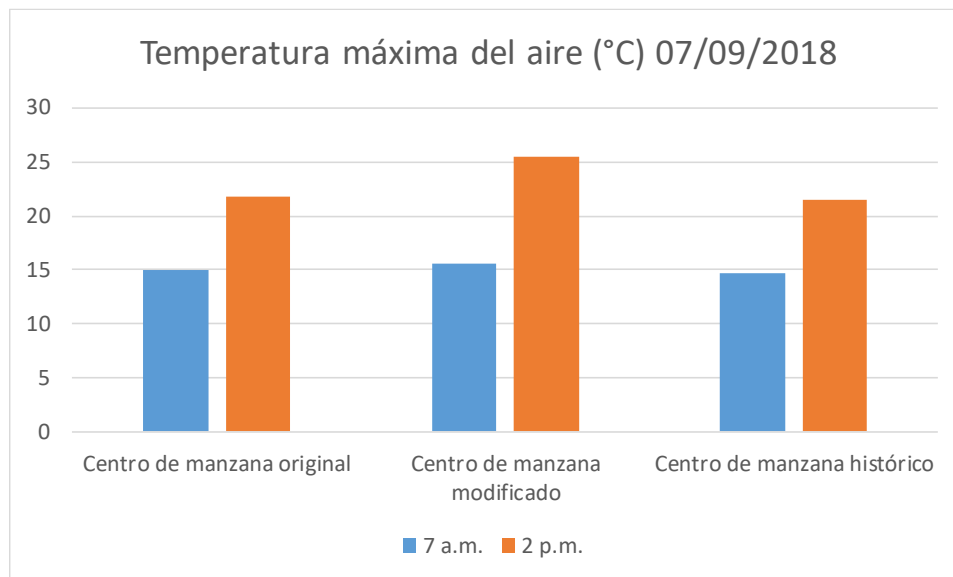


Ilustración 75: Temperatura máxima del aire simulada en los centros de manzana estudiados el 07/09/2018. Elaboración propia, programa Excel

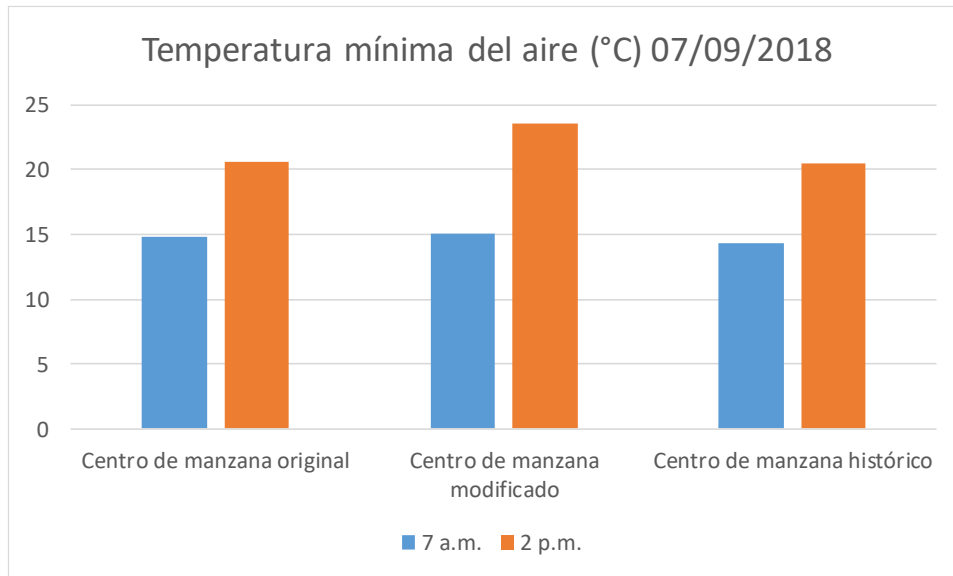


Ilustración 76: Temperatura mínima del aire simulada en los centros de manzana estudiados el 07/09/2018. Elaboración propia, programa Excel

Se observa en las ilustraciones 75 y 76, que el centro de manzana histórico presenta temperaturas más bajas en relación al caso de estudio más desfavorable para un día de verano (centro de manzana modificado) con un valor de 3.88 °C más bajo a las 2p.m.; y presenta a la misma hora, un valor de temperatura de 0.29 °C también más bajo en relación al centro de manzana original. Este comportamiento térmico uniformemente más bajo del centro de manzana histórico, se debe a su perfil urbano uniforme conformado por edificaciones de dos plantas (5.05m) y jardines frontales de (6m²) por cada vivienda, que aportan a la cobertura vegetal del espacio público central del caso de estudio.

La caracterización de los materiales en la modelación del espacio y la posibilidad de incluir elementos de vegetación en el software ENVI-met, permiten indicar que el uso de la vegetación en espacios públicos abiertos, incide favorablemente en el comportamiento térmico del espacio, manteniendo temperaturas más bajas con respecto a los dos centros de manzana analizados existentes en la actualidad.

Por lo tanto, el uso de diversos elementos vegetales tales como: césped, arbustos, setos, árboles, se vuelve en una estrategia válida de mitigación para contrarrestar los efectos de la ICU en el espacio público urbano.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

El espacio público como rostro de la vitalidad de la ciudad, de un sector o de un barrio específico dentro de ella, es entendido como fundamental y necesario para la relación social y el encuentro de sus habitantes, su ocupación y uso depende en gran medida de las condiciones térmicas adecuadas existentes o ausentes en el mismo; la presente investigación aporta al entendimiento de la correlación presente entre los descriptores morfológicos urbanos, puntualizados en los cañones urbanos analizados y las condiciones medioambientales como la temperatura del aire, que definen la intensidad de la ICU al interior del barrio y la ciudad.

La transformación morfológica que ha experimentado el Plan de vivienda Solanda, generó cambios no solo en la altura de las edificaciones y ocupación de sus retiros (hasta en un 100% en planta baja), sino que, se manifiesta también de forma decisiva en el espacio público generador más pequeño del barrio. El priorizar al vehículo sobre el ciudadano, ha permitido un cambio de uso colectivo en claro deterioro de las condiciones ambientales y de confort térmico percibidos por las personas que viven en el barrio. Situación que se contrapone claramente con el único centro de manzana que preserva las condiciones iniciales de vegetación en su interior, manteniendo un entorno de estancia bajo sombra, con carácter exclusivo peatonal y mobiliario urbano adecuado. Estos dos escenarios extremos, son útiles para aplicar la metodología estudiada en el estado del arte y las investigaciones que estudian el fenómeno de la ICU en la ciudad mediante el análisis del cañón urbano.

Los datos obtenidos in situ en los dos centros de manzana estudiados en el barrio Solanda al sur de la ciudad de Quito, indican una tendencia de temperaturas más altas que las temperaturas obtenidas en el medio rural cercano, conseguidos de la estación de Izobamba, con lo que se demuestra la existencia de la isla de calor urbana a nivel barrial. El valor

máximo obtenido de la ICU durante la semana de mediciones in situ se presentó en el centro de manzana modificado, el día 05/12/2018 con una diferencia de temperatura de 7.36 °C, a la 6 a.m., con un SVF de 0.51 y una relación (H/W) de 1.58. Los valores obtenidos demuestran la teoría acerca de la presencia de la ICU predominantemente por las noches y con una mayor intensidad en las horas cercanas al amanecer.

La relación de aspecto mayor alto-ancho (H/W) de 1.58, correspondiente al cañón urbano modificado se relaciona con el comportamiento térmico más alto durante la semana de mediciones, su mayor profundidad produce que los rayos solares se reflejen continuamente en las superficies internas incrementando el atrapamiento radiativo en horas de la mañana más rápidamente que el centro de manzana original con una relación alto-ancho menor (H/W) de 0.97. Esta ganancia de temperatura se almacena como inercia térmica durante las horas de exposición solar en los materiales de cobertura devolviéndolo a la atmósfera lentamente durante la noche. Los valores obtenidos evidencian que el centro de manzana modificado pierde calor más lentamente y mantiene una temperatura más cálida en su interior durante la noche, sin embargo, tiende a igualar la temperatura al centro de manzana original a las 6 a.m.

El área de fachadas y piso que conforman el cañón urbano son determinantes dentro del balance energético de la ICU, se evidencia que el centro de manzana modificado presenta un valor más elevado de radiación en sus fachadas al compararlo con su similar original, sin embargo el centro de manzana original al poseer una mayor área en el piso del espacio público, produce un incremento de radiación significativo de 8.81 KWh/m² (6 a.m.-6 p.m.) que aunque teóricamente debería ser más cálido, los datos obtenidos in situ revelan lo contrario, demostrando que la influencia de la vegetación urbana sobre las superficies horizontales en el espacio público abierto producen temperaturas más bajas que su similar.

La simulación de escenarios en el software ENVI-met permite obtener resultados que incorporan la interacción de la vegetación en la modelación, se determina el escenario

histórico como el más favorable para un día cálido de verano, sin embargo, el centro de manzana original que mantiene su diseño inicial (césped, setos y árboles de 5m de altura) en su interior, presenta un comportamiento térmico cercano al centro histórico diferenciado en 0.29°C más alto a las 2 p.m. del 07/09/2018. El uso de vegetación se vuelve una estrategia de mitigación válida para contrarrestar los efectos de la isla de calor urbana; mantiene la humedad en el ambiente mediante la evapotranspiración, conserva húmedos los suelos, evita su erosión, genera sombra, crea una protección contra las partículas contaminadas existentes en el medio ambiente urbano y aporta favorablemente en su conjunto a la sostenibilidad urbana.

En la aplicación metodológica, queda en evidencia la necesidad de contar con un mayor número de estaciones meteorológicas oficiales en el sur de la ciudad, con alturas similares al caso de estudio. Cada sector de la ciudad al presentar diferente altitud y morfología, presenta también microclimas diferenciados. Datos que servirán para obtener resultados con mayor exactitud en futuras investigaciones en este sector de la ciudad.

La metodología utilizada a nivel de microescala, para determinar la intensidad de la isla de calor urbana, y la influencia de la morfología urbana en el comportamiento térmico, como aporte de esta investigación, puede ser de utilidad para futuros estudios que procuren brindar mejores condiciones de confort térmico para el uso adecuado del espacio público.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambiente, S. de. (n.d.). Atlas ambiental 2016 Quito Sostenible.
- Angel, M., Palme, M., & Gálvez, M. A. (2016). FACTOR DE CIELO VISIBLE Y EL EFECTO ISLA DE CALOR EN VALPARAISO.
- BID. (2009). *CONSTRUIR CIUDADES Mejoramiento de barrios y calidad de vida urbana*.
- Bustamante, A. (2017). Caracterización de la isla de calor urbana por efectos de la morfología en la ciudad andina de Cuenca, Ecuador. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(1), 23–42.
- Bruse, M. (01 de 12 de 2018). *ENVI-met System V 4.4*. Obtenido de <https://www.envi-met.com/intro/>
- Cabras, E. (2014). Efectos de la morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona.
- Cañadas, L. (1983). *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Quito: MAG-PRONAREG.
- Carrasco, C. (n.d.). Morfología y Clima Urbano Análisis de la forma espacial y materiales como modeladores del microclima de tejidos urbanos mediterráneos costeros. El caso de la ciudad de Valparaiso.
- Carrión, F., & Erazo Espinosa, J. (2012). La forma urbana de Quito: una historia de centros y periferias*. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines*, 41(41 (3)), 503–522. <https://doi.org/10.4000/bifea.361>
- Correa, E., De Rosa, C. y, & Lesino, G. (2005). Isla de calor urbano. monitoreo y análisis del impacto de la configuración de los espacios sobre la temperatura del aire en la ciudad de mendoza., 9, 49–54.
- Espinoza, Kenny; Espinoza, Santiago; Peñaloza, Diana; Molina, Andy; Cuito, Johana; SantaMaría, Melissa; Villacrés, J. (n.d.). Solanda.Porosa y Progresiva.
- Fernández García, F., & Martilli, A. (2012). El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Índice*, 21–24.
- Giridharan, R., Lau, S. S. Y., Ganesan, S., & Givoni, B. (2007). Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong. *Building and Environment*, 42(10), 3669–3684. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.09.011>
- Higueras, E. (2006). *Urbanismo Bioclimático*. Barcelona: Gustavo Gili, SL.
- Jiménez, S., & Van Sluys, C. (2016). Climate Comparison in the Urban Areas of the Oyambaro and Quito Valleys. *FICUP 2016 First International Conference on Urban Physics*, 380.

- Martínez, J. (2014). Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, (62), 83–99. <https://doi.org/10.14198/INGEO2014.62.06>
- Nakata, C. M., & de Souza, L. C. L. (2013). Verification of the influence of urban geometry on the nocturnal heat island intensity. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 7(2), 286–292. <https://doi.org/10.4090/juee.2013.v7n2.286292>
- Ochoa De La Torre, J. M. (1999). Impacto de la vegetación en el microclima urbano. *La Vegetación Como Instrumento Para El Control Microclimático, I*, 43. Retrieved from <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6124/03JMot03de12.pdf?sequence=3>
- Olgyay, V. (1998). *ARQUITECTURA Y CLIMA Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, S.A.
- Oke, T. (1987). *Boundary Layer Climates*. *Journal of Experimental Psychology: General* (Vol. 136).
- Palme, M., Villacreces, G., Lobato, A., Cordovez, M., Macias, J., & Soriano, G. (2016). Estimating the Urban Heat Island Effect in the City of Guayaquil. *FICUP 2016 First International Conference on Urban Physics*, 380.
- Pourrut, P. (1983). Los Climas del Ecuador / Pierre Pourrut ... [et al.].
- Pozo, S. (2017). *Evaluación de un indicador de confort térmico, para adaptarlo a las características climáticas y configuración urbana de la ciudad de Quito, caso de estudio calles Juan Rodríguez y Lizardo García, barrio La Mariscal*. Retrieved from <http://www.albayan.ae>
- Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos / Oficina Regional para América Latina y el Caribe: ONU-Habitat. (2012). *ESTADO DE LAS CIUDADES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE 2012 Rumbo a una nueva transición urbana. Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe 2012: Rumbo a una nueva transición urbana*. Retrieved from www.unhabitat.org
- Romero, Á. (n.d.). Estudio cuantitativo de los intercambios de calor y humedad en superficies geográficas basado en datos meteorológicos.
- Santamouris, M. (2018). *UNSW Sydney*. Obtenido de Researcher: <https://research.unsw.edu.au/people/professor-mattheos-santamouris>
- Santamouris, M. D. N. A. V. D. A. N. C. N. K. D. M. P. M. A. T. (2011). *ENERGY AND CLIMATE IN THE URBAN BUILT ENVIRONMENT*. *Animal Genetics* (Vol. 39).
- Schuttenhelm, R. (3 de noviembre de 2011). *Bits of science*. Obtenido de Both urban heat island effect and rooftop albedo geoengineering negligible : <http://www.bitsofscience.org/urban-heat-island-rooftop-albedo-geoengineering-3966/>
- Shishegar, N. (2013). Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons. *Journal of Clean Energy Technologies*, 1(1), 52–56. <https://doi.org/10.7763/JOCET.2013.V1.13>

- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25(2), 99–103. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1)
- Trama, revista de arquitectura. (n.d.). PLAN SOLANDA DE VIVIENDA DE INTERES SOCIAL.
- Tumini, I. (2012). El microclima urbano en los espacios abiertos: estudio de casos en Madrid, 15–58. Retrieved from <http://oa.upm.es/14893/>
- UN-Habitat. (2012). *ONU HABITAT POR UN MEJOR FUTURO URBANO*. Obtenido de <https://es.unhabitat.org/temas-urbanos/cambio-climatico/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. *Heat Island Reduction Activities*, 1–26. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2002\)041<0792:THFIUA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2002)041<0792:THFIUA>2.0.CO;2)

ANEXOS

Anexo 1. Temperatura media mensual (°C), Estación Iñaquito (2007-2017)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
Temperatura Media Mensual (°C)														

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS														

NOMBRE: QUITO INAMHI-IÑAQUITO							CODIGO: M0024							
PERIODO: 2007 - 2017 LATITUD: 0G 10' 41.89" S LONGITUD: 78G 29' 15.83"W ELEVACION: 2789.00														

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2007	16	15.4	15	14.8	15.3	15.3	15.6	15.2	16.1	14.5	14.9	14	182.1	15.1
2008	14.6	13.6	13.7	14.3	14.2	14.9	14.8	14.6	15.5	14.5	14.3	14.4	173.4	14.4
2009	14.5	14.5	14.9	15.2	15.3	15.5	16	16.3	17	16	15.9	15.9	187	15.5
2010	16.5	17	16.8	15.7	15	14.6	15	15.1	15.2	13.6	14			
2011	14.6	14.3	13.9	13.9	15.5	15.3	14.9	15.4	15.5	14.4	14.6	14.6	176.9	14.7
2012	14.1	14.1	15.5	14.2	15.3	15.9	16.6	16.2	16.6	15.2	14.8	15.1	183.6	15.3
2013	16.4	14.8	15.8	15.7	14.9	16.1	15.8	15.8	16.3	15.2	14.8	15.3	186.9	15.5
2014	15.3	15.4	14.8	16	15.1	15.8	16.6	15.9	15.6	15.3	15.2	15.3	186.3	15.5
2015	15.7	15.6	15.4	16	16.1	16.8	16.2	17.1	17.5	16.4	15.6	17.3	195.7	16.3
2016	16.3	17	16.5	16.2	16.6	15.6	15.8	16.8	16	15.6	15.7	15.3	193.4	16.1
2017	14.6	14.6	14.4	15.5	15.1	15.7	16.2	15.9	16.5	15.7	15.1	15.5	184.8	15.4
t. media	15.3	15.1	15.1	15.2	15.3	15.6	15.7	15.8	16.1	15.2	14.9	15.1	184.9	15.4
t. mínima	14.1	13.6	13.7	13.9	14.2	14.9	14.6	14.6	15.1	14.4	13.6	14	13.6	
t. máxima	16.5	17	16.8	16.2	16.6	16.8	16.6	17.1	17.5	16.4	15.9	17.3	17.5	☒
amp. term	2.4	3.4	3.1	2.3	2.4	1.9	2	2.5	2.4	2	2.3	3.3		

Anexo 2. Temperatura media mensual (°C), Estación Izobamba (2007-2017)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
Temperatura Media Mensual (°C)														

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS														

NOMBRE: IZOBAMBA							CODIGO: M0003							
PERIODO: 2007 - 2017 LATITUD: 0G 21' 57.33" S LONGITUD: 78G 33' 18.46"W ELEVACION: 3058.00														

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2007	13	12.2	12	12	12.1	11.8	12.1	11.7	12.2	11.4	11.8	11.2	143.5	11.9
2008	11.5	10.8	10.8	11.4	11.3	11.7	11.3	11.1	11.8	11.6	11.6	11.6	136.5	11.3
2009	11.4	11.7	11.9	12.1	12.1	12.2	12.2	12.3	13.2	12.6	12.7	12.5	146.9	12.2
2010	13	13.4	13.1	12.7	12.8	11.9	11.5	11.7	11.8	12.1	10.8	10.8	145.6	12.1
2011	11.6	11.3	11.2	11.1	12.2	12	11.5	12.2	11.9	11.4	11.7	11.8	139.9	11.6
2012	11.1	11.1	12.2	11.1	11.8	12	12.8	12.4	12.8	12.2	12	12.2	143.7	11.9
2013	13.2	11.8	12.7	12.5	12.1	12.7	12.4	12.3	12.7	12.3	11.9	12.3	148.9	12.4
2014	12.2	12.3	11.8	12.8	12.2	12.2	12.8	11.8	12.1	12.1	12.4	12.3	147	12.2
2015	12.5	12.5	12.5	12.6	12.4	13.1	12.7	13.3	13.7	13	12.9	14.1	155.3	12.9
2016	13.3	13.6	13.2	13.1	13.2	12	12.3	13.4	12.7	12.9	12.8	12.2	154.7	12.8
2017	11.7	11.4	11.3	12.3	12	12.3	12.3	12.3	12.7	12.7	11.9	12.2	145.1	12
t. media	12.2	12	12	12.1	12.2	12.1	12.1	12.2	12.5	12.2	12	12.1	146.1	12.1
t. mínima	11.1	10.8	10.8	11.1	11.3	11.7	11.3	11.1	11.8	11.4	10.8	10.8	10.8	
t. máxima	13.3	13.6	13.2	13.1	13.2	13.1	12.8	13.4	13.7	13	12.9	14.1	14.1	☒

Anexo 3. Humedad relativa mensual (%), Estación Iñaquito (2007-2017)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
Humedad Relativa Media Mensual (%)														
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS														
NOMBRE: QUITO INAMHI-IÑAQUITO CODIGO: M0024														
PERIODO: 2007 - 2017 LATITUD: 0G 10' 41.89" S LONGITUD: 78G 29' 15.83"W ELEVACION: 2789.00														
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2007	70	67	76	80	77	69	64	65	59	77	74	77	855	71
2008	76	78	76	75	76	69	64	66	64	71	74	76	865	72
2009	75	74	74	72	69	67	59	61	54	67	68	72	812	67
2010	63	66	66	77	72	74	68	70	73	83	82			
2011	78	83	82	84	77	72	71	66	67	74	72	77	903	75
2012	81	79	78	86	79	72	68	63	62	73	79	76	896	74
2013	73	78	74	72	78	65	62	66	65	75	77	76	861	71
2014	78	83	80	73	78	66	56	58	65	73	77	75	862	71
2015	72	75	78	71	69	60	64	59	58	69	76	65	816	68
2016	75	71	76	77	70	68	64	55	64	75	72	73	840	70
2017	75	74	79	75	77	72	59	62	61	69	72	73	848	70
media	74	75	76	76	75	68	64	62	62	72	74	74	857	71
minima	63	66	66	71	69	60	56	55	54	67	68	65	54	
maxima	81	83	82	86	79	72	74	68	70	77	83	82	86	☒

Anexo 4. Humedad relativa mensual (%), Estación Izobamba (2007-2017)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
Humedad Relativa Media Mensual (%)														
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS														
NOMBRE: IZOBAMBA CODIGO: M0003														
PERIODO: 2007 - 2017 LATITUD: 0G 21' 57.33" S LONGITUD: 78G 33' 18.46"W ELEVACION: 3058.00														
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2007	79	75	82	85	83	78	75	73	69	83	83	85	950	79
2008	85	86	87	86	86	81	78	79	78	84	86	85	1001	83
2009	87	87	87	84	81	78	72	74	68	78	80	83	959	79
2010	74	78	79	85	81	80	79	71	73	79	86	87	952	79
2011	82	86	85	89	80	79	77	72	76	83	80	84	973	81
2012	88	88	82	88	82	76	69	68	65	80	84	79	949	79
2013	77	87	83	82	88	75	70	72	71	80	83	83	951	79
2014	85	86	89	81	87	79	72	72	76	82	87	84	980	81
2015	83	83	86	84	84	71	72	68	66	77	83	72	929	77
2016	85	82	86	84	80	80	75	67	72	81	79	83	954	79
2017	86	87	91	88	88	82	73	72	70	77	83	81	978	81
media	82	84	85	85	83	78	73	71	71	80	83	82	961	80
minima	74	75	79	81	80	71	69	67	65	77	79	72	65	
maxima	88	88	91	89	88	82	79	79	78	84	87	87	91	☒

Anexo 5. Intensidad máxima de ICU en casos de estudio. 05/12/2018

Título de trazado: Centro de manzana original			Título de trazado: Centro de manzana modificado			Título de trazado: Estación Izoambamba		
Fecha Tiempo, GMT-05:00	Temp °C	HR %	Fecha Tiempo, GMT-05:00	Temp °C	HR, %	Fecha Tiempo, GMT-05:00	Temp °C	HR %
12/5/2018 6:00	12.464	66.024	12/5/2018 6:00	12.464	60.162	12/5/2018 6:00	5.10	94
12/5/2018 7:00	12.56	65.611	12/5/2018 7:00	12.826	61.634	12/5/2018 7:00	7.90	94
12/5/2018 8:00	13.356	65.735	12/5/2018 8:00	14.532	60.324	12/5/2018 8:00	12.70	63
12/5/2018 9:00	14.412	59.19	12/5/2018 9:00	16.561	50.781	12/5/2018 9:00	14.50	54
12/5/2018 10:00	16.108	50.804	12/5/2018 10:00	18.726	42.721	12/5/2018 10:00	15.20	54
12/5/2018 11:00	18.203	46.684	12/5/2018 11:00	20.726	36.472	12/5/2018 11:00	16.80	50
12/5/2018 12:00	18.584	51.112	12/5/2018 12:00	21.441	42.201	12/5/2018 12:00	17.10	51
12/5/2018 13:00	17.061	56.766	12/5/2018 13:00	20.678	44.953	12/5/2018 13:00	16.20	59
12/5/2018 14:00	17.965	51.679	12/5/2018 14:00	21.131	42.424	12/5/2018 14:00	16.50	60
12/5/2018 15:00	16.966	50.869	12/5/2018 15:00	19.63	45.651	12/5/2018 15:00	15.20	62
12/5/2018 16:00	15.393	63.695	12/5/2018 16:00	18.298	59.388	12/5/2018 16:00	13.00	63
12/5/2018 17:00	15.417	62.591	12/5/2018 17:00	17.037	57.343	12/5/2018 17:00	10.70	88
12/5/2018 18:00	14.196	64.373	12/5/2018 18:00	16.633	55.309	12/5/2018 18:00	9.60	94
12/5/2018 19:00	13.885	64.326	12/5/2018 19:00	15.965	57.72	12/5/2018 19:00	8.70	95
12/5/2018 20:00	14.172	66.694	12/5/2018 20:00	15.655	57.161	12/5/2018 20:00	9.20	84
12/5/2018 21:00	13.981	66.278	12/5/2018 21:00	15.417	60.998	12/5/2018 21:00	9.80	82
12/5/2018 22:00	13.476	68.989	12/5/2018 22:00	14.939	63.87	12/5/2018 22:00	8.40	93
12/5/2018 23:00	13.019	71.523	12/5/2018 23:00	14.316	65.622	12/5/2018 23:00	8.10	93
12/6/2018 0:00	12.995	70.497	12/6/2018 0:00	14.101	66.57	12/6/2018 0:00	7.20	93
12/6/2018 1:00	12.729	71.401	12/6/2018 1:00	13.789	66.678	12/6/2018 1:00	7.40	92
12/6/2018 2:00	12.657	69.894	12/6/2018 2:00	13.404	64.411	12/6/2018 2:00	7.30	93
12/6/2018 3:00	12.295	68.334	12/6/2018 3:00	13.187	62.501	12/6/2018 3:00	7.50	91
12/6/2018 4:00	12.125	70.487	12/6/2018 4:00	12.874	63.759	12/6/2018 4:00	6.50	92
12/6/2018 5:00	11.859	70.293	12/6/2018 5:00	12.633	65.863	12/6/2018 5:00	8.00	82
12/6/2018 6:00	11.98	70.755	12/6/2018 6:00	12.609	67.658	12/6/2018 6:00	7.40	88