

**Universidad
Autónoma
Metropolitana**



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

**MÉTODO MIXTO DE DETECCIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA (UHI)
MEDIANTE UNA TECNOLOGIA DE TERMOGRAFIA PARA
ANALIZAR LOS FACTORES IMPLICADOS EN SU FORMACIÓN
Y SU IMPACTO EN EL ENTORNO URBANO-ARQUITECTÓNICO**

Paulo César Velasco Maldonado

Tesis para optar por el grado de Doctor en Diseño
Posgrado en Diseño Bioclimático

Miembros del Jurado:

Dr. José Roberto García Chávez
Director de la tesis

Dra. Fabiola Sosa Rodríguez
Dra. Cecilia Bañuelos Barrón
Dra. Karina Angélica García Pardo

Ciudad de México
julio de 2025

A Dios,
por su misericordia infinita,
por acompañarme todo el tiempo,
porque sin Él, nada se lograría

A Wendy,
por enseñarme que, sin esfuerzo, no hay recompensa,
por recordarme quien soy,
por la vida compartida

A Connie,
por demostrarme que todo es posible,
por soñar y hacerlo realidad,
por la espontaneidad de vivir

A Paulo,
por ser un ejemplo de perseverancia,
por demostrar su inteligencia ante la vida,
por nunca rendirse ante la adversidad

A Wendy, por todo el apoyo brindado a lo largo de este proceso, en especial el soporte otorgado para permanecer en otro país; por sus consejos y palabras de aliento, invaluable porque provienen de la gran persona que es.

A la Universidad Autónoma Metropolitana, por acogerme y darme la oportunidad de crecer personal y profesionalmente.

A CONAHCYT, por el apoyo otorgado durante el tiempo de realización de la investigación.

Al Dr. José Roberto García Chávez, por tomarme bajo su tutela y compartirme su experiencia y conocimiento para que lograra mi objetivo.

Al Dr. Roberto Barnard Amosurrutia, por la confianza otorgada para entrar a este posgrado.

A la comunidad de Juniata College, por recibirme como uno de ellos para el logro de mis cometidos, por su paciencia y amabilidad, por la confianza otorgada para que yo pudiera comunicarme y aprender de cada uno de ellos: Dr. Dennis Plane, Dra. Uma Ramakrishnan, Dra. Lauren Bowen, Dr. Douglas Glazier, Mtro. Travis Russell, Dr. Celina Seftas, Heather Bumbarger, Henry Escuadro, Pte. James Troha, Dr. Kushal Adhikari, Dr. Neil Pelkey, Henry Thurston, Ben and Cindy Lattimer.

"It is never too late to be what you might have been"

George Eliot

Resumen

Esta investigación presenta el análisis del fenómeno conocido como isla de calor urbana (UHI) desde una perspectiva diferente, al combinar la tecnología termográfica con instrumentos de medición ambiental con el objetivo de diseñar y desarrollar una metodología que permita su detección y análisis en diversos contextos urbano-arquitectónicos. Para lograr este cometido, la investigación se realizó en dos sitios contrastantes en todos los aspectos: Tlalnepantla de Baz, en Estado de México, México, y Huntingdon, Pennsylvania, Estados Unidos, lugares en los cuales se realizaron diversos monitoreos de temperaturas en diferentes momentos del día y del año.

A partir de los antecedentes teóricos del urbanismo bioclimático y la arquitectura sustentable, de los estudios realizados sobre la detección y el análisis de la isla de calor urbana en diversas partes del mundo, se diseñó un modelo metodológico basado en tres ejes de análisis: imágenes termográficas en los recorridos, mediciones ambientales con registradores de temperatura y, por último, comparación entre los puntos de medición y estaciones climáticas oficiales. A partir de esta práctica se evidencian las diferencias térmicas entre zonas densamente edificadas y aquellas que cuentan con una mayor cobertura vegetal o materiales reflejantes.

La aportación principal de la investigación es el empleo de la tecnología termográfica para la detección de la isla de calor urbana y su validación como una herramienta eficaz para el soporte del método desarrollado, así como la construcción de un protocolo replicable en diversos contextos urbano-arquitectónicos. Además, se comprobó la existencia de la relación directa entre el comportamiento térmico del contexto construido y las variables del entorno, contribuyendo en la formación del fenómeno de estudio, dichas variables forman parte del contexto urbano-arquitectónico, como la morfología urbana, el tipo de materiales de construcción, el uso de suelo y la cobertura vegetal.

Las conclusiones obtenidas en la investigación resaltan la necesidad de integrar criterios térmicos desde el principio de la conceptualización del diseño urbano-arquitectónico, con el objetivo de disminuir la acumulación de calor en el sitio, favoreciendo las condiciones de habitabilidad tanto al exterior como al interior de los espacios arquitectónicos. Existe la necesidad de promover

estrategias de mitigación para cada caso en particular; sin embargo, generalizar estas estrategias sería un gran error debido a la particularidad de cada contexto, como la implementación de techos verdes, la colocación de pavimentos de alto albedo, y la reconfiguración del espacio público, entre otros aspectos.

Finalmente, se proponen líneas de investigación futuras que incluyan la incorporación de tecnologías emergentes, la creación de modelos térmicos predictivos, y, por último, la participación social para conocer las necesidades e inquietudes de los habitantes con respecto al fenómeno en estudio, con miras a crear una conciencia social y colectiva que permitan la construcción de ciudades resilientes ante los efectos del cambio climático.

Palabras clave: isla de calor urbana, termografía, arquitectura sustentable, urbanismo bioclimático, análisis térmico.

Abstract

This research presents an analysis of the phenomenon known as the Urban Heat Island (UHI) from a unique perspective, combining thermographic technology with environmental measurement instruments for designing and developing a methodology that allows detection and analysis in diverse urban-architectural contexts.

To achieve this task, the research was conducted in two contrasting locations in every aspect: Tlalnepantla de Baz, State of Mexico, Mexico, and Huntingdon, Pennsylvania, United States. In these locations, diverse temperature monitoring activities were conducted at contrasting periods of the day and throughout the year.

Based on the theoretical background of bioclimatic urbanism and sustainable architecture, as well as studies for detection and analysis of UHI's in different parts of the globe, a methodological model was designed, based on three analyses axes: thermographic images taken on the routes, environmental measurements with temperature loggers, and finally, a comparison between the measurement points and official weather stations. This performance accentuates the thermal differences between densely built-up areas and those with greater vegetation coverage or reflective materials.

The main contribution of the research is the use of thermographic technology for detecting urban heat islands and its validation as an effective tool to support the developed method, as well as the development of a replicable protocol for diverse urban-architectural contexts. In addition, a direct link between the thermal behavior of the built environment and surrounding variables was confirmed, that contributed to the development of the phenomenon studied. These variables are part of the urban-architectural context, such as urban morphology, type of construction materials, use of soil, and vegetation coverage.

The conclusions from the research emphasize the need to integrate thermal criteria from the urban-architectural design conceptualization, to reduce heat accumulation on site and improve habitability conditions both outdoors and indoors. There is a need to promote mitigation strategies

for each specific case, however generalizing these strategies would be a major error due to the peculiarity of each context, some strategies include the implementation of green roofs, high-albedo pavements, and the reconfiguration of public areas, among other.

Finally, the research proposes future research lines considering the incorporation of emerging technologies, the creation of predictive thermal models, and social participation, to understand the needs and concerns of residents regarding the phenomenon under study, in order to foster a social and collective awareness that enables the building of resilient cities in the face of climate change.

Keywords: urban heat island, thermography, sustainable architecture, bioclimatic urbanism, thermal analysis.

Índice general

Introducción	1
Antecedentes	1
Planteamiento del problema	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	5
Hipótesis	5
Motivación de la investigación	5
Procedimiento metodológico	6
Desarrollo de la investigación	8
Aportación al diseño	9

Capítulo I

Marco teórico

1.1 Isla de calor urbana (UHI)	12
1.2 Habitabilidad	16

Capítulo II

Isla de calor urbana

2.1 La Isla de Calor Urbana: contexto y estudios en América Latina	27
2.2 Los estudios de UHI en América Latina	31
2.3 Clasificación de la UHI	33
2.4 Los métodos de evaluación para la UHI	36
2.5 Propuesta metodológica de estudio de la UHI	39

Capítulo III

Desarrollo metodológico para la detección y evaluación de la UHI

3.1 Introducción	41
3.2 Instrumentos	42
a) UleFone Power Armor18 T	43
b) Software de análisis termográfico	48
c) EL-USB-2 <i>Data logger</i>	53
3.3 Preliminares	60

3.3.1 Propuesta de transecto	60
3.3.2 Recorrido vehicular	62
3.3.3 Recorrido a pie	72

Capítulo IV

Análisis del sitio de estudio

4.1 Introducción	82
4.2 Tlalnepantla de Baz, Estado de México	83
4.3 Análisis climático	85
4.3.1 Clasificación climática	86
4.3.2 Análisis paramétrico	88
4.3.2.1 Temperatura ambiental	88
4.3.2.2 Humedad relativa	90
4.3.2.3 Precipitación pluvial	91
4.3.2.4 Evaporación	93
4.3.2.5 Radiación solar	94
4.3.2.6 Viento	96
4.4 Delimitación de la zona de estudio	97
4.5 El cañón urbano	100

Capítulo V

Integración de la termografía al desarrollo metodológico

5.1 Introducción	105
5.2 Aplicación de la termografía al método propuesto	106
5.3 Los recorridos	108
5.3.1 Prueba matutina: recorrido a las 06:00 hr	108
5.3.2 Prueba vespertina: recorrido a las 15:00 hr	117
5.3.3 Recorrido a las 10:00 hrs.	131

Capítulo VI

Validación del método en un entorno urbano contrastante

6.1 Introducción	137
6.2 Huntingdon, Pennsylvania	137

6.3 Análisis climático	140
6.3.1 Clasificación climática	141
6.3.2 Análisis paramétrico	142
6.3.2.1 Temperatura ambiental	142
6.3.2.2 Temperatura horaria	145
6.3.2.3 Humedad relativa	146
6.3.2.4 Precipitación pluvial	148
6.3.2.5 Radiación solar	149
6.3.2.6 Viento	151
6.3.2.7 Temperatura del suelo	156
6.3.2.8 Evaporación y Nubosidad	158
6.3.2.9 Nevadas	160

Capítulo VII

Aplicación del método desarrollado en el entorno urbano contrastante

7.1 Introducción	162
7.2 Etapa previa	162
7.2.1 El estado del tiempo	163
7.2.2 Calibración de los instrumentos	164
7.2.3 Trazado del transecto	165
7.3 Etapa de desarrollo	167
7.3.1 Aplicación del método	167
7.3.2 El recorrido	164
7.4 Resultados	175
7.5 Análisis de resultados	179
7.6 Conclusiones	192

Capítulo VIII

Implicaciones urbano-arquitectónicas de la UHI en contextos comparados

8.1 Introducción	194
8.2 Contexto	194
8.3 Enfoque urbano	195

8.4 Implicaciones arquitectónicas	202
8.4.1 Sistemas constructivos predominantes	202
8.4.2 Análisis comparativo del consumo energético	204
8.5 Conclusiones	210
8.6 Recomendaciones de diseño urbano-arquitectónico	211
Conclusiones generales y aportes metodológicos	213
Fuentes de consulta	222
Biografía del autor	226
Anexos	227

Índice de figuras

Imagen 1: Planteamiento metodológico inicial	6
Imagen 2: Isla de Calor Urbana (UHI)	13
Imagen 3: Isla de calor urbana nocturna	15
Imagen 4: Concepto de habitabilidad	17
Imagen 5: Desarrollo de la habitabilidad	18
Imagen 6: Adaptación de la habitabilidad	22
Tabla 1: Interacción de los habitantes	24
Tabla 2: Ciudades y climas en Latinoamérica	29
Imagen 7: Climas de Latinoamérica	30
Tabla 3: Estrategias de mitigación de la UHI	33
Imagen 8: Factores de estudio de las UHI's	34
Tabla 4: Tipos de UHI y características	35
Imagen 9: UleFone Power Armor 18T	43
Imagen 10: Interfaz de UleFone Power Armor 18T	44
Imagen 11: Calor radiante	45
Imagen 12: Contexto en modo natural	45
Imagen 13: Encuadre de la imagen	46
Imagen 14: Ajuste de datos de observación	46
Imagen 15: Puntos específicos de medición	47
Imagen 16: Paleta de colores	48
Imagen 17: Interfaz de inicio del software FLIR Thermal Studio	49
Imagen 18: Opciones de la interfaz	49
Imagen 19: Interfaz de la opción “Library”	50
Imagen 20: Plantillas en la opción “Reporting”	51
Imagen 21: Plantillas en la opción “Batch Edit”	51
Imagen 22: Pantalla de la opción “Adjust palette”	52
Imagen 23: Interfaz de “Live Stream”	53
Imagen 24: Registrador de datos EL USB 2	54
Imagen 25: Interfaz inicial del software	54

Imagen 26: Opciones iniciales del software	55
Imagen 27: Interfaz de los parámetros de Temperatura	56
Imagen 28: Interfaz de los parámetros de Humedad relativa	56
Imagen 29: Interfaz del encendido del instrumento	57
Imagen 30: Interfaz de la configuración terminada del instrumento	57
Imagen 31: Interfaz inicial del software	58
Imagen 32: Interfaz de los registros descargados	59
Imagen 33: Interfaz de la opción de visualización de los registros descargados	59
Imagen 34: Habitacional Viveros de la Loma, Tlalnepantla de Baz, Estado de México	60
Imagen 35: Habitacional Viveros de la Loma, Tlalnepantla de Baz, Estado de México	61
Imagen 36: Propuesta de transecto de estudio en Habitacional Viveros de la Loma	62
Imagen 37: Tablero del vehículo indicando el velocímetro	63
Imagen 38: Colocación del dispositivo EL USB 2 en la antena del auto	64
Imagen 39: Imágenes termográficas del recorrido	65
Imagen 40: Imágenes termográficas del recorrido	65
Imagen 41: Imagen termográfica con escala de temperatura	65
Imagen 42: Gráfica del <i>data logger</i> del punto de control	66
Imagen 43: Gráfica del <i>data logger</i> del recorrido	67
Tabla 5: Fragmento de la tabla de valores en Excel	67
Imagen 44: Gráfica del <i>data logger</i> del punto de control	68
Imagen 45: Gráfica del <i>data logger</i> del recorrido	68
Tabla 6: Fragmento de la tabla de valores en Excel	69
Imagen 46: Gráfica del <i>data logger</i> del punto de control	69
Imagen 47: Gráfica del <i>data logger</i> del recorrido	70
Tabla 7: Fragmento de la tabla de valores en Excel	70
Imagen 48: <i>Data logger</i> en el punto de control	73
Imagen 49: Gráfica del <i>data logger</i> del punto de control	74
Imagen 50: Gráfica del <i>data logger</i> del recorrido	75
Tabla 8: Fragmento de la tabla de valores en Excel	76
Imagen 51: Gráfica del <i>data logger</i> del punto de control	77

Imagen 52: Gráfica del <i>data logger</i> del recorrido	78
Tabla 9: Fragmento de la tabla de valores en Excel	79
Imagen 53: Tlalnepantla de Baz, Estado de México	83
Imagen 54: Vista satelital de Tlalnepantla de Baz, Estado de México	84
Imagen 55: Uso de suelo, Tlalnepantla de Baz, Estado de México	85
Tabla 10: Análisis climático de Tlalnepantla de Baz, Estado de México	87
Imagen 56: Análisis de Temperatura ambiental	89
Imagen 57: Análisis de Humedad relativa	90
Imagen 58: Análisis de Precipitación pluvial	92
Imagen 59: Análisis de Evaporación	94
Imagen 60: Análisis de Radiación solar	95
Imagen 61: Análisis del Viento	96
Imagen 62: Ubicación de la zona de estudio dentro del municipio	98
Imagen 63: Vista satelital de Viveros de la Loma, Tlalnepantla de Baz	99
Imagen 64: Propuesta de transecto para el desarrollo del método	100
Imagen 65: Ejemplo de vivienda en la zona de estudio	101
Imagen 66: Ejemplo de vivienda en la zona de estudio	102
Imagen 67: Zona comercial en la zona de estudio	102
Imagen 68: Zona comercial en la zona de estudio	103
Imagen 69: Dimensiones de banquetas y ancho de vialidad	104
Imagen 70: Ejemplo del análisis de la imagen termográfica con el software Thermal Studio	107
Imagen 71: Localización de la zona de estudio y de la EMA en Presa Madin	110
Tabla 11: Registro de datos de la temperatura ambiental	111
Imagen 72: Transecto en la zona de estudio	112
Imagen 73: Análisis termográfico de un punto del transecto	113
Imagen 74: Análisis termográfico de un punto del transecto	113
Imagen 75: Análisis termográfico de un punto del transecto	114
Imagen 76: Análisis termográfico de un punto del transecto	114
Imagen 77: Análisis termográfico de un punto del transecto	114

Imagen 78: Análisis termográfico de un punto del transecto	115
Imagen 79: Análisis termográfico de un punto del transecto	115
Imagen 80: Análisis termográfico de un punto del transecto	115
Imagen 81: Análisis termográfico de un punto del transecto	116
Imagen 82: Análisis termográfico de un punto del transecto	116
Imagen 83: Análisis termográfico de un punto del transecto	116
Imagen 84: Análisis termográfico de un punto del transecto	117
Imagen 85: Localización de la EMA ENCBII en la Ciudad de México	118
Tabla 12: Registro de datos de la temperatura ambiental	119
Imagen 86: Gráfica comparativa entre las temperaturas de los <i>data loggers</i>	120
Imagen 87: Zona de transición de temperaturas en el transecto	121
Imagen 88: Imágenes térmicas del transecto en estudio	121
Imagen 89: Análisis termográfico de un punto del transecto	122
Imagen 90: Análisis termográfico de un punto del transecto	122
Imagen 91: Análisis termográfico de un punto del transecto	123
Imagen 92: Análisis termográfico de un punto del transecto	123
Imagen 93: Análisis termográfico de un punto del transecto	123
Imagen 94: Análisis termográfico de un punto del transecto	124
Imagen 95: Análisis termográfico de un punto del transecto	124
Imagen 96: Análisis termográfico de un punto del transecto	124
Imagen 97: Análisis termográfico de un punto del transecto	125
Imagen 98: Análisis termográfico de un punto del transecto	125
Imagen 99: Análisis termográfico de un punto del transecto	125
Imagen 100: Análisis termográfico de un punto del transecto	126
Tabla 13: Registro de datos de la temperatura ambiental	126
Imagen 101: Ultima parte del transecto en estudio	127
Tabla 14: Registro de datos de la temperatura ambiental	127
Imagen 102: Análisis termográfico de un punto del transecto	127
Imagen 103: Análisis termográfico de un punto del transecto	128
Imagen 104: Análisis termográfico de un punto del transecto	128

Imagen 105: Análisis termográfico de un punto del transecto	128
Imagen 106: Análisis termográfico de un punto del transecto	129
Imagen 107: Análisis termográfico de un punto del transecto	129
Imagen 108: Análisis termográfico de un punto del transecto	129
Imagen 109: Análisis termográfico de un punto del transecto	130
Imagen 110: Análisis termográfico de un punto del transecto	130
Imagen 111: Análisis termográfico de un punto del transecto	130
Imagen 112: Análisis termográfico de la sección del transecto en estudio	132
Imagen 113: Análisis termográfico de la sección del transecto en estudio	132
Imagen 114: Análisis termográfico de la sección del transecto en estudio	132
Imagen 115: Análisis termográfico de la sección del transecto en estudio	132
Imagen 116: Análisis termográfico de la sección del transecto en estudio	132
Imagen 117: Análisis termográfico de la sección del transecto en estudio	133
Imagen 118: Imagen termográfica de un punto del transecto en estudio	134
Imagen 119: Análisis termográfico con el software Thermal Studio	135
Imagen 120: Análisis de las capas térmicas con el software Thermal Studio	136
Imagen 121: Análisis terminado con el software Thermal Studio	136
Imagen 122: Pennsylvania, Estados Unidos	139
Imagen 123: Huntingdon, Pennsylvania, Estados Unidos	140
Imagen 124: Temperatura ambiental	145
Imagen 125: Temperaturas horarias	145
Imagen 126: Humedad relativa	146
Imagen 127: Precipitación pluvial	149
Imagen 128: Radiación solar	150
Tabla 15: Análisis de la dirección del viento	151
Imagen 129: Velocidad del viento	154
Tabla 16: Análisis de la temperatura media del suelo	156
Tabla 17: Datos de la evaporación y nubosidad	159
Tabla 18: Valores de las nevadas estimadas	161
Imagen 130: Alerta climática para el estado de Pennsylvania, Estados Unidos	163

Imagen 131: Instrumentos para calibración en el laboratorio del BAC, Juniata College	164
Imagen 132: Instrumentos para calibración en el laboratorio del BAC, Juniata College	164
Imagen 133: Calibración de los registradores de temperatura en el BAC, Juniata College	165
Imagen 134: Transecto en Huntingdon	166
Imagen 135: Colocación del registrador de temperatura en el punto de control.....	168
Imagen 136: Colocación del registrador de temperatura en el punto de control.....	168
Imagen 137: Registrador de temperatura para el recorrido del transecto	169
Imagen 138: Gráfica del registrador de temperatura del recorrido	170
Imagen 139: Gráfica del registrador de temperatura del punto de control	171
Tabla 19: Valores de la estación climática del Sistema de Pennsylvania	173
Imagen 140: Imágenes termográficas del recorrido	174
Imagen 141: Imágenes termográficas del recorrido	174
Imagen 142: Imágenes termográficas del recorrido	175
Imagen 143: Imágenes termográficas del recorrido	175
Tabla 20: Comparativa de resultados de los <i>data loggers</i>	178
Tabla 21: Valores de la correlación entre la temperatura ambiental y la temperatura radiante ...	182
Tabla 22: Valores de la variabilidad entre la temperatura ambiental y la temperatura radiante ..	184
Imagen 144: Gráfica de la correlación lineal entre las temperaturas estudiadas	188
Imagen 145: Gráfica de la correlación lineal entre las temperaturas estudiadas	190
Imagen 146: Gráfica de la correlación lineal entre las temperaturas estudiadas	191
Imagen 147: Tlalnepantla de Baz, Estado de México	196
Imagen 148: Huntingdon, Pennsylvania	197
Tabla 23: Comparativa de aspectos urbanos entre las localidades	198
Imagen 149: Comparación de factores urbanos entre las localidades	200
Tabla 24: Análisis térmico comparativo de materiales	203
Tabla 25: Comparativa de consumo, costos y emisiones	205
Tabla 26: Comparativa de consumo, costos y emisiones	207
Imagen 150: Emisiones de CO ₂ por tipo de sistema	208
Imagen 151: Emisiones de CO ₂ por tipo de sistema	209
Imagen 152: Diagrama descriptivo del método propuesto.....	213

Introducción

Antecedentes

El proceso de urbanización de las ciudades se ha incrementado de forma acelerada, principalmente en áreas urbanas con una mayor densidad de población, lo que ha causado que las superficies del territorio tengan menos vegetación y sean más impermeables, esta disminución en la vegetación, especialmente en áreas urbanas, provoca que el calor se almacene en la capa del suelo; además, las estructuras de las edificaciones contribuyen al aumento de la temperatura en el aire y en la superficie correspondiente, lo que genera que la temperatura sea mayor en las zonas urbanas que en las rurales de la periferia (Rajagopalan et al., 2014).

El desarrollo de las áreas urbanas ha sido un gran atractivo para la búsqueda de un mejor empleo, una educación de calidad y servicios de salud más eficientes, lo que ha contribuido en gran medida al crecimiento del Producto Interno Bruto nacional. Como tal, la mitad de la población mundial se concentra actualmente en asentamientos urbanos (Naciones Unidas, 2018). En el año 2020, el proceso de urbanización alrededor del mundo se promedió en un 56% y se prevé que siga aumentando hasta alcanzar un 68% para el año 2050 (<https://data.worldbank.org.cn>, 2020), especialmente en las ciudades costeras, que atraen a un gran número de residentes por razones económicas, sociales y recreativas. Mientras las condiciones materiales de vida de las personas sean de mejor calidad, las consecuencias de este desarrollo se traducen principalmente en el crecimiento de las ciudades, influenciado por el concepto de globalización; durante este proceso aparecen los efectos secundarios de la urbanización, la mayoría relacionados con problemas ambientales como el cambio climático, el clima extremo y las Islas de Calor Urbanas (Y. Wang et al., 2021). Por tanto, la acumulación de estos problemas afecta la salud humana, la calidad de vida y los objetivos de desarrollo sostenible (Cheung et al., 2021).

La expansión de la población urbana demanda el desarrollo de infraestructura necesaria en relación con microclimas urbanos habitables y saludables. Para proveer esta infraestructura gris, como edificios, carreteras, banquetas y otros tipos de estructuras, es necesario reemplazar gran parte de

los espacios verdes urbanos (Jayasooriya et al., 2020). En los países en desarrollo, el rápido y descoordinado crecimiento urbano ha generado en una expansión acelerada del uso de la tierra, lo que socava las consecuencias de estos desarrollos no planificados. Un aumento en el uso del suelo para el desarrollo de edificios e infraestructuras está relacionado con la degradación ambiental (Nakano, 2015).

El calor almacenado por estas estructuras se libera lentamente a la atmósfera urbana, principalmente después de la puesta del sol, aumentando de manera considerable la temperatura ambiente. Por tanto, el entorno construido conduce a un aumento de la temperatura media anual del aire entre 1°C y 3°C, originando el efecto de la "Isla de Calor Urbana" (UHI, por sus siglas en inglés) (Debbage y Shepherd, 2015).

La Isla de Calor Urbana (UHI) es el fenómeno que se presenta bajo este tipo de condiciones y se ha convertido en una preocupación importante debido al incremento de los entornos urbanos y a la calidad de los materiales para su construcción, factores que propician estas situaciones. Según Landsberg (1981), la UHI es un reflejo de los cambios totales del microclima causados por alteraciones de las superficies urbanas. Akbari et al. (2001) describieron que las UHI son las áreas en las cuales la temperatura del aire es más alta que sus áreas circundantes y son consecuencia de las modificaciones graduales de la superficie del entorno, generalmente cuando se reemplazan las áreas naturales por edificios.

Este fenómeno es una de las consecuencias más evidentes del proceso de alteración realizado por el hombre para alcanzar un balance energético superficial en un entorno urbano (Bejaran y Camilloni, 2003; Po'ýrolniczak et al., 2017). Los emplazamientos urbanos cuentan con diversas propiedades geométricas, de humedad, térmicas, aerodinámicas y radiactivas, entre otras, las cuales conducen los flujos de calor de diversas formas para tratar de alcanzar un balance energético en toda la superficie. A diferencia de un ámbito rural, en las áreas urbanas las superficies están cubiertas predominantemente por materiales con bajo albedo, alta capacidad calorífica y conductividad térmica, bajo contenido de humedad del suelo, y un reducido potencial de evapotranspiración (debido a la pérdida de superficies vegetales y de agua), lo que es responsable

de la reducción del flujo de calor latente y de la mejora del flujo de calor sensible y el almacenamiento de calor neto, y por lo tanto, del calentamiento del medio ambiente urbano (Dinda y Chatterjee, 2021).

El consumo de energía destinado al enfriamiento de los edificios ha aumentado drásticamente en los últimos años (Asimakopoulou et al., 2012; Oikonomou et al., 2012). De acuerdo con la IEA (International Energy Agency), a escala mundial, los edificios representan entre el 30 y el 40 % del consumo mundial de energía. Por ejemplo, en la ciudad de Singapur, casi el 50% de la electricidad total producida está destinada a los edificios y, para efectos de refrigeración de estos espacios, se consume el 30% de la producción total de electricidad del país (Tan et al., 2010). El aumento de las temperaturas urbanas provoca riesgos de sobrecalentamiento en las superficies de los materiales e incomodidad térmica en las personas debido al flujo de calor sensible y al almacenamiento de energía en los materiales de construcción, además de que a tal contribución se suman los techos de los edificios, que constituyen alrededor del 20-25% de las superficies urbanas (Santamouris, 2014). Los estudios realizados sobre estas superficies han demostrado que la radiación solar que incide sobre los techos puede elevar la temperatura de la superficie exterior hasta 50–60 °C (Andrade et al., 2007). Para tratar de reducir dichos efectos, se han desarrollado tecnologías de mitigación del calor urbano, como los techos fríos o reflejantes y los techos verdes (Yang, 2017).

La urbanización continua propiciará que el registro de altas temperaturas sea más frecuente, por lo que se pronostica que, para el año 2090, la intensidad de la temperatura a la que estará expuesta la población será entre tres y seis veces más alta que la actual, lo que resultará en un aumento de la mortalidad en los habitantes (J. Wang et al., 2021). El efecto acumulativo de los problemas ambientales recae sobre la salud humana, la calidad de vida de las personas y los objetivos de desarrollo sostenible trazados para el mundo (Cheung et al., 2021). Se estima que la mortalidad anual relacionada con el calor aumentará del 32,1 % por millón registrado entre 1986 y 2005, al 59,2–81,3 % por millón para el aumento de temperatura previsto en 2°C (Wang et al., 2019).

No solo se consideran los factores externos del entorno urbano, una buena medida de calor proviene del interior de las edificaciones cuando se utilizan los aires acondicionados. Al liberar al espacio

interior de las altas temperaturas, este calor se trasmite al exterior a través de los materiales de construcción. Se han realizado diversos estudios con la finalidad de disminuir o mitigar las consecuencias de la urbanización, como retomar el uso de espacios verdes urbanos (Imran et al., 2019); estos espacios no solo tienen una función estética; la vegetación reduce la temperatura del sitio debido al efecto de enfriamiento por la sombra de los árboles y la evapotranspiración, ya que la radiación solar puede ser interceptada de manera eficiente por la copa de los árboles entre el 80-90% (Liu et al., 2021).

Planteamiento del problema

La conjunción de diversos factores como el uso de materiales de construcción absorbentes y reflectantes del calor, la alta densidad edificatoria, las características constructivas del entorno, el tránsito vehicular y peatonal intensivo, así como las elevadas temperaturas propias de ciertas regiones, provocan el fenómeno conocido como Isla de Calor Urbana (UHI, por sus siglas en inglés) en puntos específicos del contexto urbano-arquitectónico. Esta situación genera consecuencias directas en la calidad de vida y el bienestar de la población.

Dado que estos factores pueden estar presentes en distintas ciudades, independientemente de su tamaño o localización geográfica, se plantea que la formación de Islas de Calor Urbanas puede ocurrir tanto en grandes metrópolis como la Ciudad de México, como en ciudades medianas o pequeñas, por ejemplo, Mérida, Yucatán. Por tanto, el presente estudio se enfocará en detectar y analizar la presencia de la Isla de Calor Urbana en una zona determinada de un entorno urbano o semiurbano. Cabe precisar que el objetivo no es únicamente identificar la presencia del fenómeno sino medir su intensidad térmica a partir de comparaciones entre zonas urbanas y rurales. Esta distinción es clave para comprender el alcance del método propuesto.

Objetivo general

Diseñar un método de aplicación de la termografía como herramienta de análisis para detectar y cuantificar la intensidad de las Islas de Calor Urbanas, evaluar los factores que influyen en su

desarrollo, como la temperatura radiante de los materiales de construcción, y proponer estrategias de mitigación aplicables a diversos contextos urbanos y climáticos.

Objetivos específicos

- Identificar las zonas con mayor concentración térmica en entornos urbano-arquitectónicos mediante imágenes termográficas.
- Analizar la relación entre los materiales de construcción y su contribución a la temperatura radiante en el entorno urbano.
- Contrastar patrones térmicos en diferentes condiciones climáticas y tipos de ciudad.
- Evaluar el impacto de variables ambientales y arquitectónicas en la formación de Islas de Calor Urbanas.
- Diseñar propuestas de mitigación basadas en los hallazgos obtenidos, considerando soluciones adaptables a distintos contextos urbanos.

Hipótesis

Si se aplica la termografía para evaluar la temperatura ambiental en entornos urbano-arquitectónicos, entonces será posible detectar y cuantificar la intensidad del fenómeno de Isla de Calor Urbana, analizar factores como la temperatura radiante de los materiales de construcción, y proponer estrategias de mitigación aplicables a diferentes contextos urbanos y climáticos. Esta metodología permitirá demostrar la existencia de la UHI en la zona determinada y la cuantificación de su intensidad, lo que proporcionará información relevante para futuras investigaciones y estrategias de intervención urbana.

Motivación de la investigación

La principal motivación para la realización de este trabajo de investigación es contribuir a la generación de nuevo conocimiento, mediante el diseño de un método que permita aplicar la

tecnología de termografía en el estudio de fenómenos climáticos, específicamente en la detección y análisis de la Isla de Calor Urbana.

El interés por el cambio climático surgió durante mis estudios de Maestría en Arquitectura, al conocer los múltiples problemas asociados a este fenómeno global y, en consecuencia, al paradigma de la sustentabilidad. En particular, me interesó su aplicación en el desarrollo de programas de rehabilitación urbano-arquitectónica para comunidades rurales en el estado de Guerrero, México. Estos estudios fueron el punto de partida para profundizar, de manera más concisa y precisa, en la investigación sobre los impactos ambientales derivados del cambio climático.

Esta línea de interés me condujo a cursar el Doctorado en Diseño Bioclimático, donde el objeto de estudio cobró mayor relevancia debido a su fuerte influencia en las condiciones de habitabilidad del espacio público. A partir de ello, surgió la necesidad de analizar los factores que intervienen en la formación de la Isla de Calor Urbana, así como su impacto en el entorno urbano-arquitectónico.

Procedimiento metodológico

El desarrollo de esta investigación seguirá una metodología estructurada en varias fases, con el objetivo de diseñar un método de detección y cuantificación de intensidad de Islas de Calor Urbanas mediante el uso de tecnología termográfica, así como analizar los factores que influyen en su formación, como se puede ver en el esquema siguiente:



Imagen 1. Planteamiento metodológico inicial.

Las etapas del procedimiento planteado de manera inicial son:

1. Revisión documental: Realizar un análisis exhaustivo de estudios previos sobre el fenómeno de la Isla de Calor Urbana, la termografía y su interacción con el entorno urbano-arquitectónico. Este análisis permitirá identificar métodos y herramientas utilizadas en investigaciones similares y establecer un marco teórico sólido.
2. Selección del sitio de estudio: Elegir una zona urbana o semiurbana representativa, con base en criterios como la densidad de edificaciones, los materiales predominantes, la intensidad de la actividad urbana y las condiciones climáticas locales. Se establecerán claramente los límites espaciales y temporales del estudio.
3. Configuración del equipo: Definir el equipo técnico necesario, especialmente cámaras termográficas para la captura de imágenes térmicas. Establecer las condiciones de medición: horarios (día y noche), estaciones del año y puntos de muestreo. Complementar la información con registradores de temperatura y datos meteorológicos.
4. Captura de datos térmicos: Capturar imágenes térmicas en momentos estratégicos para detectar variaciones térmicas, registrar información ambiental (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, etc.) y documentar las características físicas del entorno mediante observación directa y cartografía.
5. Procesamiento y análisis de datos: Procesar las imágenes termográficas para identificar patrones térmicos, analizar la influencia de materiales, uso de suelo y presencia de vegetación en la formación del fenómeno, y contrastar los resultados con estudios previos y modelos teóricos.
6. Validación del método: Comparar los resultados obtenidos mediante termografía con mediciones tradicionales, evaluar la precisión y reproducibilidad del método en diferentes contextos y realizar ajustes metodológicos si es necesario.

7. Propuestas de mitigación: Sistematizar los hallazgos y su contribución al conocimiento del fenómeno. Proponer estrategias de mitigación como el uso de materiales reflectantes, techos verdes o incremento de áreas vegetales. Además, se identificarán las limitaciones del estudio y se propondrán líneas de investigación futuras.

Este procedimiento está sujeto a ajustes según factores externos como las condiciones meteorológicas, disponibilidad para realizar recorridos, restricciones de acceso en la zona de estudio, o la interacción de personas en el espacio público.

Desarrollo de la investigación

Además de la introducción y las conclusiones, esta investigación se compone de ocho capítulos, en los cuales se detalla el desarrollo metodológico y analítico del estudio, así como los hallazgos y propuestas derivados del proceso investigativo.

Capítulo 1: Contextualización del problema de estudio. Se aborda el crecimiento urbano acelerado y sus implicaciones ambientales, con énfasis en el fenómeno de la Isla de Calor Urbana, sus causas, consecuencias y la importancia de su análisis.

Capítulo 2: Estudio del fenómeno UHI en América Latina. Se revisan investigaciones previas y se identifican factores climáticos, urbanos y arquitectónicos característicos de la región que influyen en su formación.

Capítulo 3: Descripción de la zona de estudio. Se detallan las características urbanas, climáticas y constructivas del área seleccionada, se justifica su elección y se definen los parámetros espaciales y temporales de la investigación.

Capítulo 4: Metodología de identificación de la UHI. Se explica el procedimiento de medición de temperatura, las herramientas empleadas y la estrategia para el análisis de datos térmicos.

Capítulo 5: Aplicación de la termografía. Se profundiza en el uso de la termografía como herramienta clave para la detección de UHI, abordando sus ventajas, limitaciones y criterios técnicos.

Capítulo 6: Caso de estudio en Huntingdon, Pennsylvania. Se analiza el entorno urbano de esta ciudad y los factores que contribuyen a la formación de UHI en su contexto específico.

Capítulo 7: Presentación de resultados. Se muestran los datos obtenidos, los patrones térmicos identificados y se evalúa la efectividad de la metodología aplicada.

Capítulo 8: Implicaciones en el diseño urbano. Se proponen estrategias de mitigación del fenómeno desde un enfoque sustentable, orientadas al diseño y planificación del entorno urbano-arquitectónico.

Aportación al diseño

La presente investigación ofrece múltiples contribuciones al campo del conocimiento en torno a la aplicación de la termografía en el análisis térmico de áreas urbanas y arquitectónicas, abarcando aspectos metodológicos, técnicos, urbanos y ambientales. Estas aportaciones se pueden agrupar en cinco áreas clave:

1. Impacto en el estudio de las Islas de Calor Urbanas (UHI)

Este estudio proporciona evidencia sobre cómo los materiales de construcción influyen directamente en la temperatura ambiental y en la formación de Islas de Calor Urbanas. Además, permite modelar el comportamiento térmico de las ciudades, lo cual es esencial para una planificación urbana más sostenible. La investigación introduce un enfoque innovador al estudiar la UHI a nivel superficial, es decir, en el plano donde las personas interactúan diariamente con el entorno, lo que permite entender mejor sus efectos en la vida cotidiana.

2. Avance en el uso de la termografía en entornos urbanos

Se amplía el conocimiento sobre la termografía como herramienta de análisis térmico urbano, destacando su precisión, carácter no invasivo y utilidad para evaluar la distribución térmica en contextos urbanos y arquitectónicos. Asimismo, se presenta una metodología detallada para la captura y análisis de imágenes térmicas, contribuyendo al desarrollo técnico de investigaciones similares.

3. Metodología para el monitoreo climático y ambiental

La investigación propone una técnica de análisis térmico combinando sensores climáticos y cámaras termográficas, lo que mejora la precisión en la recolección de datos como temperatura radiante, ambiental y humedad relativa. Este método fue aplicado en dos ciudades con climas contrastantes: Tlalnepantla de Baz (clima templado subhúmedo) y Huntingdon, Pennsylvania (clima templado continental), lo cual demuestra su versatilidad y aplicabilidad en distintos contextos geográficos y climáticos. Además, se introduce el concepto del cañón urbano como unidad térmica de análisis.

4. Aplicaciones en eficiencia energética y sostenibilidad

El método desarrollado permite evaluar el desempeño térmico de edificios y materiales urbanos, facilitando la elección de estrategias de diseño arquitectónico orientadas a la mitigación del calor urbano. Los datos obtenidos son útiles para fomentar el uso de materiales con mejores propiedades térmicas, así como para promover el diseño de infraestructuras más sostenibles y adaptadas al cambio climático.

5. Relevancia para políticas urbanas y mitigación del cambio climático

Los hallazgos de la investigación pueden servir como base para que urbanistas, arquitectos y tomadores de decisiones desarrollen políticas públicas más eficaces. Particularmente, ofrecen

información científica para planificar el uso de materiales adecuados, incrementar áreas verdes y diseñar ciudades más resilientes al calor. De esta manera, el estudio contribuye a la mitigación del calentamiento global desde el ámbito del diseño urbano y arquitectónico.

En resumen, esta investigación ofrece un enfoque innovador y replicable para la medición y análisis térmico en ciudades, integrando tecnología, análisis ambiental y diseño urbano. Sus aplicaciones abarcan campos como el urbanismo, la arquitectura sostenible y la lucha contra el cambio climático, aportando herramientas útiles tanto a nivel académico como práctico.

Capítulo I

Marco teórico

1.1 Isla de Calor Urbana (UHI)

El proceso de urbanización de las ciudades se ha incrementado de forma acelerada principalmente en áreas urbanas con una mayor densidad de población, causando que las superficies del territorio tengan menos vegetación y sean más impermeables. La disminución de la vegetación, especialmente en áreas urbanas, provoca que el calor se almacene en la capa del suelo; además, las estructuras de las edificaciones contribuyen al aumento de temperatura en el aire y en la superficie correspondiente por lo cual esta temperatura es mayor en las zonas urbanas que en las rurales de la periferia (Rajagopalan et al. 2014).

El desarrollo de las áreas urbanas fue un gran atrayente para la búsqueda de un mejor empleo, una buena educación y servicios de salud más eficientes, lo que contribuyó en gran medida al crecimiento del Producto Interno Bruto nacional; como tal, la mitad de la población mundial se concentra actualmente en asentamientos urbanos (Naciones Unidas, 2018). En el año 2020, el proceso de urbanización alrededor del mundo se promedió en un 56 % y se prevé que seguirá aumentando hasta llegar a una predicción del 68% para el año 2050, (Banco Mundial, 2020), especialmente en las ciudades costeras, que atraen a un gran número de residentes por razones económicas, sociales y recreativas. Mientras las condiciones materiales de vida de las personas sean de mejor calidad, las consecuencias de este desarrollo se traducen principalmente en el crecimiento de las ciudades, el cual se ve influenciado por el concepto de la globalización; durante este proceso aparecen los efectos secundarios de la urbanización, la mayoría relacionados con problemas ambientales como el cambio climático, el clima extremo y las Islas de Calor Urbanas (Y. Wang et al., 2021). Por tanto, la acumulación de estos problemas recae sobre la salud humana, la calidad de vida y los objetivos de desarrollo sostenible (Cheung et al., 2021).

La expansión de la población urbana demanda el desarrollo de la infraestructura necesaria con relación a microclimas urbanos habitables y saludables, para proveer esta variedad de

infraestructura gris como edificios, carreteras, banquetas y otro tipo de estructuras, es necesario reemplazar la mayoría de los espacios verdes urbanos (Jayasooriya et al., 2020); en los países en desarrollo, el crecimiento urbano rápido y descoordinado ha resultado en una rápida expansión del uso de la tierra que socava las consecuencias de tales desarrollos no planificados. Un aumento en el uso del suelo para el desarrollo de edificios e infraestructuras está relacionado con la degradación ambiental (Nakano, 2015).

El calor almacenado por estas estructuras se libera lentamente a la atmósfera urbana, principalmente después de la puesta del sol, aumentando de manera considerable la temperatura ambiente; por tanto, el entorno construido conduce a un aumento de la temperatura media anual del aire entre 1°C y 3°C, originando el efecto Isla de Calor Urbana (UHI) (Debbage y Shepherd, 2015), como se aprecia en la imagen 2.

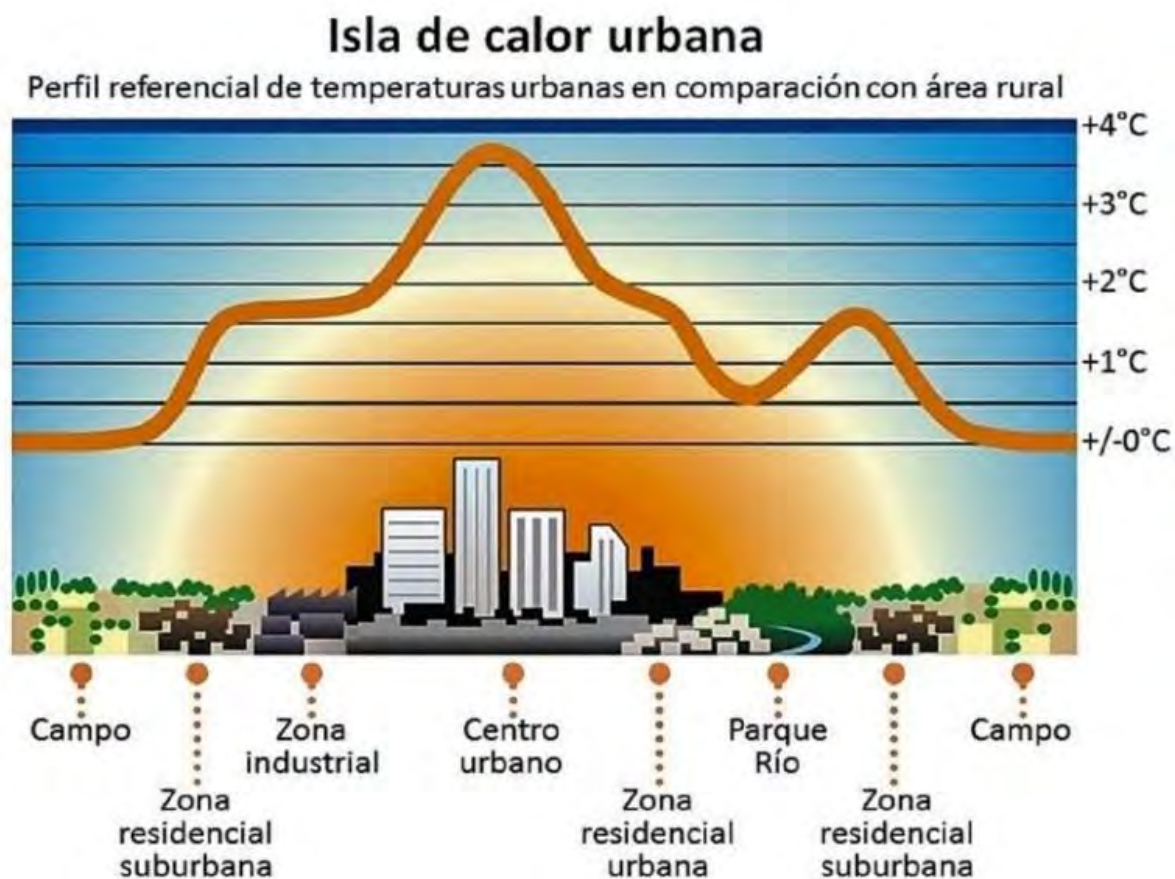


Imagen 2. Isla de Calor Urbana (UHI).
Fuente: Debbage y Shepherd, 2015.

La Isla de Calor Urbana (UHI), es el fenómeno que se presenta bajo este tipo de condiciones y se ha convertido en una preocupación importante debido al incremento de los entornos urbanos y a la calidad de los materiales con los cuales son construidos, factores que propician las condiciones necesarias para dar lugar a la presentación de estas situaciones. Según Landsberg (1981), la UHI es un reflejo de los cambios totales del microclima causados por alteraciones de las superficies urbanas. Akbari et al. (2001) describieron que las UHI son las áreas en las cuales la temperatura del aire es más alta que sus áreas circundantes y son consecuencia de las modificaciones graduales de la superficie del entorno, generalmente cuando se reemplazan las áreas naturales por edificios.

Este fenómeno es una de las consecuencias más evidentes del proceso de alteración que realiza el hombre por alcanzar un balance energético superficial en un entorno urbano (Bejaran y Camilloni, 2003; Po'ÿrolniczak et al., 2017). Los emplazamientos urbanos cuentan con diversas propiedades como geométricas, de humedad, térmicas, aerodinámicas y radiactivas, entre otras, las cuales conducen los flujos de calor de diversas formas para tratar de alcanzar un balance energético en toda la superficie; a diferencia de un ámbito rural, en las áreas urbanas las superficies están cubiertas predominantemente por materiales con bajo albedo, alta capacidad calorífica y conductividad térmica, bajo contenido de humedad del suelo, reducido potencial de evapotranspiración (debido a la pérdida de superficies vegetales y de agua), que son responsables de la reducción del flujo de calor latente y, mejora del flujo de calor sensible y el almacenamiento de calor neto, y por lo tanto el calentamiento del medio ambiente urbano (Dinda y Chatterjee, 2021).

El consumo de energía que se emplea para el enfriamiento de los edificios ha aumentados drásticamente en los últimos años (Asimakopoulos et al., 2012; Oikonomou et al., 2012), de acuerdo con la IEA, *International Energy Agency*, a escala mundial, los edificios representan entre el 30 y el 40 % del consumo mundial de energía. Por ejemplo, en la ciudad de Singapur, casi el 50% de la electricidad total producida está destinada a los edificios y, para efectos de refrigeración de estos espacios, se consume el 30% de la producción total de electricidad del país (Tan et al., 2010); el aumento de las temperaturas urbanas provoca riesgos de sobrecalentamiento y malestar térmico debido al flujo de calor sensible y al almacenamiento de energía de los materiales de

construcción, además de que a tal contribución se suman los techos de los edificios, que constituyen alrededor del 20-25% de las superficies urbanas (Santamouris, 2014). Los estudios que se han realizado sobre estas superficies han demostrado que la radiación solar que incide sobre los techos puede elevar la temperatura de la superficie exterior hasta 50-60 °C (Andrade et al., 2007); para tratar de reducir dichos efectos, se han desarrollado tecnologías de mitigación del calor urbano como son los techos fríos o reflejantes y los techos verdes (Yang, 2017). La imagen 3 es una muestra de que el fenómeno puede intensificarse por la noche, y más en épocas como el verano.

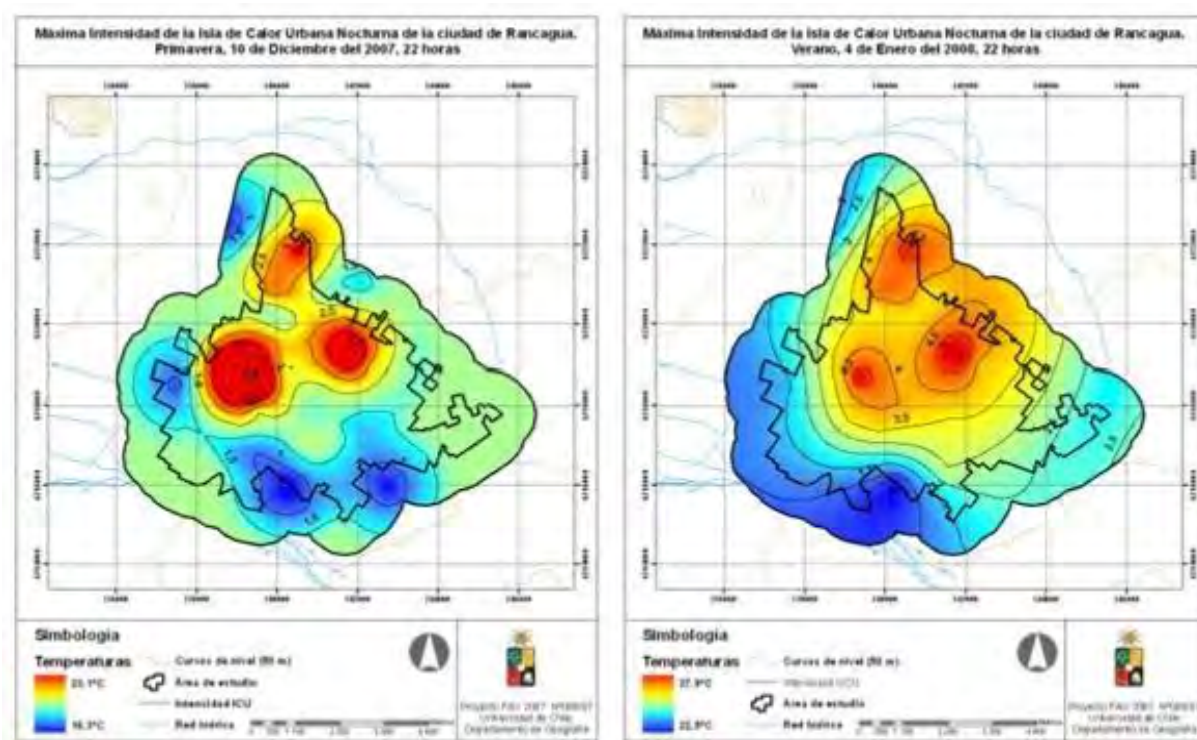


Imagen 3. Isla de Calor Urbana nocturna.
Fuente: Yang, 2017.

La urbanización continua propiciará que el registro de altas temperaturas sea más frecuente, por lo que se pronostica que, para el año 2090, la intensidad de la temperatura a la que estará expuesta la población será entre tres y seis veces más de lo actual, dando como resultado el aumento de mortandad en los habitantes (Wang et al., 2021). El efecto acumulativo de los problemas ambientales recae sobre la salud humana, la calidad de vida de las personas y los objetivos de desarrollo sostenible trazados para el mundo (Cheung et al., 2021), se estima que la mortalidad

anual relacionada con el calor aumentará del 32.1% por millón registrado entre 1986 y 2005, al 59.2–81.3% por millón para el aumento de temperatura previsto en un 2°C (Wang et al., 2019).

No solo se consideran los factores externos del entorno urbano, una buena medida de calor proviene del interior de las edificaciones cuando se utilizan los aires acondicionados, al liberar al espacio interior de las altas temperaturas, este calor se trasmite al exterior a través de los materiales de construcción. Se han realizado diversos estudios con la finalidad de disminuir o mitigar las consecuencias de la urbanización, como retomar el uso de espacios verdes urbanos (Imran et al., 2019); estos espacios no solo tienen una función estética, la vegetación reduce la temperatura del sitio debido al efecto de enfriamiento por la sombra de los árboles y la evapotranspiración; la radiación solar puede ser interceptada de manera eficiente por la copa de los árboles entre 80-90% (Liu et al., 2021). Las investigaciones sobre este fenómeno en México comenzaron en el siglo XIX, cuando el climatólogo mexicano Manuel Moreno y Anda publicó el trabajo titulado “Una comparación de los climas de México y Tacubaya”, en el cual utilizó los datos de dos estaciones, una urbana y una rural, para determinar los contrastes térmicos de la ciudad respecto al campo, dando pie al estudio del fenómeno Isla de Calor Urbana en los años de 1895 a 1896.

Antes de abordar los factores específicos asociados a la Isla de Calor Urbana (UHI), es fundamental definir algunos conceptos clave que enmarcan su impacto en el entorno construido. Entre ellos, la habitabilidad -condición esencial para el bienestar humano en los espacios construidos-, los sistemas de medición térmica -herramientas fundamentales para evaluar el fenómeno- y las estrategias de mitigación -que buscan reducir los efectos térmicos negativos-. Estos conceptos permiten una comprensión integral del problema y su abordaje técnico y social.

1.2 Habitabilidad

Como mencionamos anteriormente, el fenómeno en estudio afecta las actividades antropógenas tanto al exterior como al interior de los espacios urbano-arquitectónicos que conforman al contexto urbano o rural de forma indistinta, situación que repercute fuertemente en la habitabilidad del espacio. El término de habitabilidad, según la RAE, es definido como “cualidad de habitable, y en

particular la que, con arreglo a determinadas normas legales, tiene un local o una vivienda” (RAE, 2022). Esta definición es muy plana, ya que la palabra que utiliza para definir el término es habitable, continuando con la definición de la RAE se reduce a “que puede habitarse”. La imagen 4 es una descripción gráfica de la relación entre los componentes del concepto.



Imagen 4. Concepto de habitabilidad.
Fuente: De Hoyos Martínez et al., 2015.

En el contexto urbano-arquitectónico la definición se amplía con parámetros de las disciplinas, como “la capacidad de los espacios construidos para satisfacer las necesidades objetivas y subjetivas de los individuos, en estrecha relación con los ambientes socioculturales y naturales hacia la mejora de la calidad de vida” (De Hoyos Martínez et al., 2015).

De esta forma, el concepto se va ampliando, surge un objeto de estudio y un objetivo al cual va dirigido el término: el ser humano y sus necesidades. La historia del ser humano es vasta y extensa, desde las primeras civilizaciones conocidas como los mesopotámicos, los egipcios y los chinos, se ha buscado cubrir las necesidades básicas o fundamentales como comer, dormir, cubrirse, hasta las

complejas, como lograr un ordenamiento territorial y espacial que les permitiera alcanzar un desarrollo pleno en el aspecto político, económico, social y cultural; la Elaboración de herramientas, de maquinaria, de vestimenta, de sistemas agrícolas, sistemas económicos, organizaciones sociales y de jerarquía de dominio se han fundamentado en el concepto de habitabilidad, cuyo fin es proporcionar al ser humano las condiciones idóneas para lograr su plenitud física y mental mediante la vivencia del espacio construido (Solanas, 2010).

Históricamente, arquitectos e ingenieros han fundamentado el desarrollo de estas disciplinas bajo los preceptos de la habitabilidad (Ramírez-Ponce, 2011), con base en sus conocimientos y experiencia se han ido conformando los modelos de crecimiento urbano, la tipología arquitectónica. A lo largo de su preparación académica, y de su desempeño profesional, los diseñadores de espacios desarrollan cierta sensibilidad para percibir la habitabilidad de un sitio, como puede observarse en la imagen a continuación.

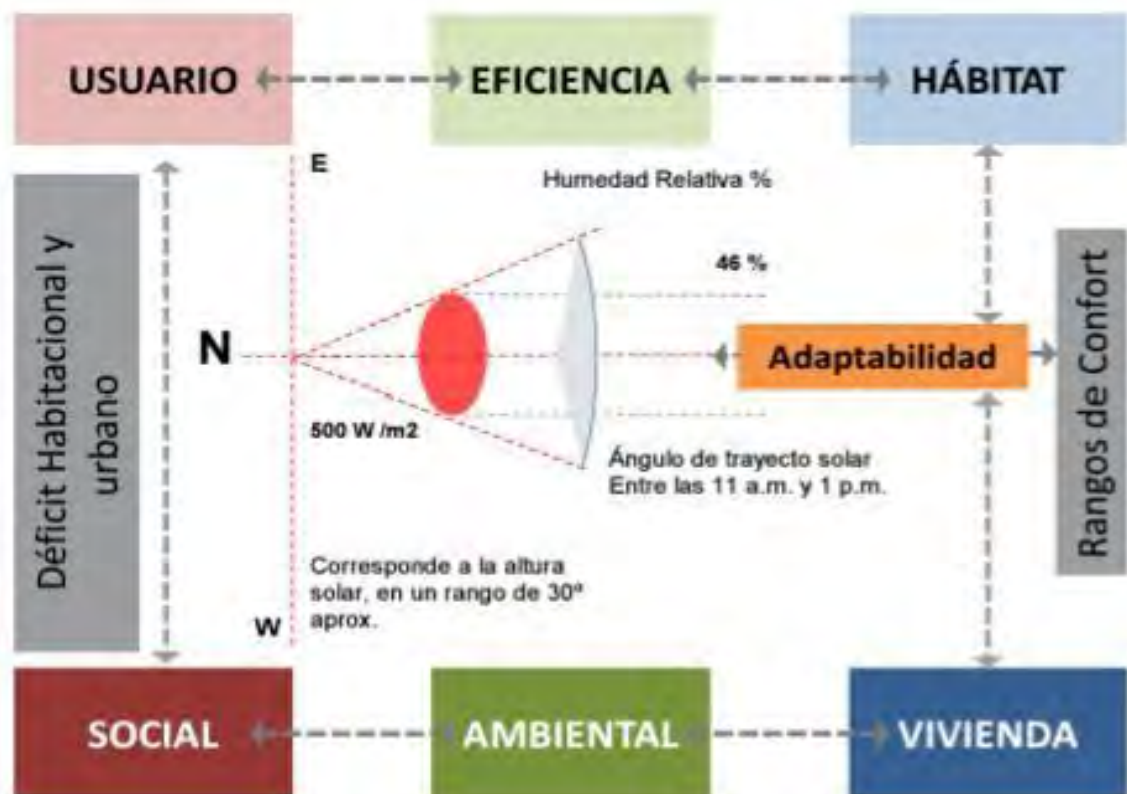


Imagen 5. Desarrollo de la habitabilidad.
Fuente: Ramírez-Ponce, 2011.

La composición de un suelo, la vegetación, la topografía, la región climática, los vientos, la temperatura, la humedad relativa, los recursos y materiales propios del lugar y gran cantidad de aspectos adicionales son considerados al iniciar un proyecto con el fin de crear una obra arquitectónica o urbanística que se adapte al sitio y que sea lo más eficiente posible en términos de la funcionalidad de sus espacios, del confort de los usuarios, del uso de energía y los recursos, de manera que las que las necesidades de sus usuarios o habitantes sean satisfechas, es decir, que el sitio sea habitable. Convertir un espacio con características desfavorables en un espacio habitable puede requerir de grandes consumos materiales y energéticos y, por lo tanto, ser menos sostenible.

La habitabilidad se involucra con diversas disciplinas con el objetivo de que las condiciones de desarrollo del ser humano en un contexto urbano-arquitectónico sean alcanzadas; involucra aspectos de carácter objetivo y subjetivo. Los objetivos se encuentran en la relación entre los espacios arquitectónicos y urbanos como material edificado y el hombre habitador (funcionalidad), materiales y equipamiento para la optimización de los espacios, zonificación de áreas verdes, accesibilidad, adecuación de espacios públicos, morfología urbana y otros (Ramírez-Ponce, 2001). Los subjetivos serán la pertenencia, la adaptación al ambiente natural y artificial (natural y socioeconómico), el sentido de apropiación de la vivienda, la realización de modos de vida según sus tradiciones, la socialización, la seguridad y la privacidad, entre otros.

Las condiciones de habitabilidad de un espacio construido están relacionadas con los componentes que confieren dignidad a un hábitat, no se limitan a las meras condiciones físicas del mismo, también incluyen las circunstancias del medio en que esta se encuentra inmersa, las condiciones de urbanización, la provisión de servicios básicos, la seguridad, costo razonable, certidumbre en la tenencia y la relación que se tenga con los lugares habituales de trabajo o estudio de sus ocupantes (González Torres, 2008).

Las primeras ideas de habitabilidad comenzaron a partir del espacio arquitectónico denominado vivienda, conforme a los conceptos básicos del diseño arquitectónico, a las disciplinas que acompañan a la arquitectura como la Ergonomía y a los reglamentos de construcción y sus normas vigentes para regular las características y dimensiones de los espacios. Posteriormente, este

concepto traspasa las fronteras del espacio interior y llega al espacio exterior, hasta la escala de la ciudad, cambiando constantemente de acuerdo con el contexto geográfico, político y social de la época.

La vivienda es el espacio construido donde un grupo de personas denominado familia realiza la mayor parte de sus actividades cotidianas básicas de supervivencia: comer, dormir, vestirse; el desarrollo de las distintas actividades y de la concepción de diseño arquitectónico dan origen al número diverso de espacios que se tienen para realizar dichas actividades: habitación, estancia, comedor, baño. Cuando los individuos dejan este espacio, buscan encontrar dichas condiciones similares de confort y bienestar en espacios exteriores, lo que les permita transportarse y dirigirse hacia otro tipo de espacio interior en el cual puedan realizar sus actividades productivas o de trabajo. Este espacio intermedio se denomina espacio público, y es el espacio que comparten las diversas personas que conforman un sitio, llámese comunidad, barrio, colonia, demarcación, alcaldía, municipio o cualquiera otra denominación, en el cual convergen en diversos puntos del día para desarrollar actividades y encontrar satisfactores en común; este espacio público es nuestro sitio de estudio para desarrollar el objetivo de esta investigación.

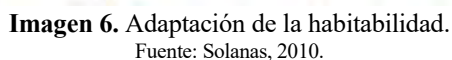
Uno de los objetivos principales de los diseñadores es proveer al ser humano de espacios en los cuales pueda desarrollar sus actividades bajo los estándares de confort y habitabilidad. Las dos disciplinas que intervienen en nuestra investigación, la arquitectura y el urbanismo, deben conjuntarse de tal forma que proporcionen, al ser humano, las condiciones idóneas en los espacios interiores y exteriores para que este desempeñe sus actividades cotidianas de manera práctica y sin dificultad. La arquitectura, desde un aspecto básico, se define como “una ciencia adornada de muchas otras disciplinas... que debe construirse con atención a la firmeza, comodidad y belleza” (Vitruvio, s. I a.C./1787). Por su parte, el urbanismo se entiende como la “una forma de vida que refleja una organización social compleja, con altas densidades, movilidad y una división laboral avanzada” (Wirth, 1938). Ambas disciplinas tienen como objetivo proporcionar al ser humano del espacio urbano-arquitectónico que les permita desarrollar sus actividades cotidianas; cada una, bajo su propio argumento, deberá cumplir con los estándares necesarios de diseño, de confort y de habitabilidad.

La habitabilidad es una condición del espacio construido que permite satisfacer las necesidades básicas del hombre, en la escala de la Pirámide de Necesidades de Maslow, la necesidad se entiende como un rasgo mínimo que debe ser cubierto para proveer al hombre de seguridad y protección ante el medio ambiente. Diversos autores mencionan que la definición de habitabilidad se determina por "la relación y adecuación entre el hombre y su entorno y se refiere a la forma que cada una de las escalas territoriales es evaluada según su capacidad de satisfacer las necesidades humanas" (Jirón, 2004). También la definen como "el nivel de comportamiento de ciertos factores y variables espaciales y psicosociales observables que aluden a la relación entre una comunidad y su ambiente residencial".

El concepto de habitabilidad ha evolucionado conforme al desarrollo mismo de la humanidad, la arquitectura es la disciplina principal en la cual se puede apreciar dicha evolución: la concepción de espacios para el hombre con características de confort que proporcionen un bienestar acompañado a la evolución de la humanidad y en especial, de la arquitectura (Jirón, 2004). Desde un principio, según De Hoyos Martínez et al. (2015), este concepto se ha abordado desde una pequeña escala -nivel vivienda- hasta una mayor - nivel ciudad- La tecnología ha sido otro factor determinante para establecer los parámetros que se esperan de la habitabilidad, los materiales de construcción, los sistemas constructivos, la concepción de los espacios arquitectónicos, la automatización en los servicios, entre otros aspectos, definen y actualizan el concepto a cada momento.

Uno de los objetos de estudio de esta investigación es el espacio público, lugar donde se presenta la UHI, estos sitios se han transformado al paso del tiempo, de ser sitios donde solamente se congregaban personas de una forma transitoria, se han vuelto puntos importantes de encuentro, se comienza a hablar de una nueva habitabilidad en relación a este concepto: el espacio público provee de más servicios que anteriormente eran exclusivos del espacio privado, se han dado intervenciones de profesionales en el campo para hacerlo más habitable, de lo material se pasa a un plano más estético, un plano más sensorial. Solanas (2010) plantea una concepción de habitabilidad para el espacio público adaptada a las nuevas restricciones ambientales y sociales; adaptaciones a la

Sin embargo, ante hechos inesperados a escala mundial, como la pandemia que se vivió a partir del mes de marzo del año 2020, se tiene que hacer una recalibración en los parámetros, imperan las cuestiones de salud, la socialización se ve mermada por las normas establecidas para evitar contagios, el ser humano se enfrenta a una condición de aislamiento involuntario para salvaguardar su propio bienestar, aparecen nuevas costumbres como el uso del cubrebocas, la higienización se hace presente en todas partes con el gel antibacterial para las manos, el concepto de sana distancia amplía el contacto físico y aumenta la distancia del espacio personal.



22

urbano-arquitectónico. Desde una perspectiva urbana, el concepto de habitabilidad se ha transformado con base en los hechos históricos significativos de la humanidad, en un principio el ser humano buscaba protección de los elementos naturales, tomando las cuevas y grutas como las primeras viviendas conocidas. El dominio del fuego y el descubrimiento de la agricultura establecieron las bases para el sedentarismo, por lo que surgen las comunidades, comienza la construcción de viviendas con materiales de la región y se establecen las primeras trazas urbanas conforme al crecimiento de la comunidad.

La evolución de la habitabilidad en el aspecto urbano sufre una fuerte transformación con la Revolución Industrial, el espacio público destinado al ser humano ahora se comparte con la máquina, asimismo las consecuencias que esto trae como la contaminación ambiental, el uso de combustibles para “los nuevos habitantes”, el hacinamiento de las ciudades al albergar a miles de personas para trabajar en las fábricas provoca que los estándares de habitabilidad decaigan: la falta de infraestructura urbana de saneamiento y agua potable, la disminución en dimensiones de las viviendas, la poca ventilación e iluminación de los espacios y la falta de higiene fueron factores para generar enfermedades que desataron epidemias.

A partir de estos hechos, se presentan nuevos reglamentos de construcción y las condiciones de habitabilidad mejoran en las ciudades: construcción de infraestructura hidráulica y sanitaria, ampliación y mejor delimitación de espacios públicos, el concepto de vivienda se ve favorecido al establecerse dimensiones mínimas en sus espacios, disminuyen las enfermedades y se renueva el concepto de habitabilidad. En el siglo XX se establecen los reglamentos, las normas y los códigos de construcción que permiten una comunión entre el espacio público y el espacio privado, el urbanismo trabaja de la mano con la arquitectura para mejorar las condiciones de habitabilidad tanto en el espacio público como el espacio privado. En aquel entonces, el concepto de habitabilidad toma un nuevo significado, se define como un término para “describir el grado de adaptación de una edificación a las necesidades de sus ocupantes, cuanto mayor sea el grado de adaptación, más habitable será la edificación”, esto define a un sistema que establece la interacción de los habitantes con el entorno en un tiempo y lugar determinados, la tabla siguiente muestra la relación existente entre las actividades y las necesidades de los ocupantes de un espacio.

Ocupantes	
Actividades	Necesidades
• Actividades físicas • Actividades fisiológicas • Actividades mentales	• Necesidades de salud • Necesidades de seguridad • Necesidades de desempeño • Necesidades de satisfacción

Tabla 1. Interacción de los habitantes.

La habitabilidad se define como el grado de adaptación del entorno para satisfacer las necesidades del ocupante; para estos casos los elementos que componen al entorno son: sonido, espacio, iluminación, clima, químicos en el aire, estructura, movimiento y radiación. De acuerdo con Davis (2006), son cuatro las categorías de necesidades relativas a la habitabilidad: la salud, la seguridad, el desempeño y la satisfacción. En una escala urbana, la habitabilidad se refiere a los rasgos físicos, geomorfológicos y ambientales del contexto que facilitan la ubicación de la población, a estos elementos hay que agregarles el factor tecnológico porque "amplía el dominio humano sobre las condiciones externas, logrando que sitios inhóspitos en principio, devengan hasta amistosos".

El emplazamiento es un factor que se relaciona directamente con las condiciones ambientales del contexto, determinan la localización de una población por sus beneficios y por sus riesgos que presentan; los fenómenos ambientales, principalmente los hidrometeorológicos, se vuelven amenazas para la población, puesto que, en ocasiones, no se pueden prever las consecuencias que estos traerían a la población debido a las características presentadas.

Solanas (2010) menciona que "la habitabilidad es signo natural de la aspiración al bien vivir y al bienestar, una búsqueda generacional de un estado de cosas mejor al de los antecesores". Indica un predominio de factores especulativos que desplazan a los factores de habitabilidad, lo que deteriora las características de confort tanto en el espacio individual como en el colectivo. Con base en políticas internacionales, como las de Sustentabilidad de la UNESCO y la ONU, se imponen nuevos límites a la habitabilidad: reducción de la demanda de suelo nuevo, cero emisiones de carbono en el sector energético y por la producción de materiales. "La habitabilidad es una demanda de las personas, no una cualidad de los espacios que hay". Actualmente, señala el autor,

hay un predominio de factores especulativos que han desplazado a los factores de habitabilidad, lo que ha deteriorado la capacidad del bien vivir tanto en el hábitat individual (los edificios) como en el colectivo (el espacio urbano). En la actualidad, las sociedades industrializadas y económicamente desarrolladas se han transformado en productoras de residuos, donde el consumo de masas se encuentra aparejado al crecimiento económico. La relación entre los residuos y la habitabilidad podría no ser aparente a primera vista, sin embargo, la sociedad renueva constantemente sus bienes, entre ellos los bienes duraderos que son en su mayoría artículos que hacen un espacio más habitable, según el concepto vigente de habitabilidad.

El fenómeno de la Isla de Calor Urbana (UHI) tiene consecuencias directas sobre la habitabilidad de los espacios urbanos. Ante esto, diversas disciplinas han desarrollado estrategias de mitigación para reducir su impacto térmico, mejorar la calidad de vida urbana y promover entornos más resilientes y sostenibles, estas estrategias incluyen tanto intervenciones pasivas como activas. Entre las más relevantes se encuentran:

- Incremento de la vegetación urbana, mediante corredores verdes, techos y muros verdes, y parques urbanos que favorecen la evapotranspiración y la sombra (Imran et al., 2019).
- Uso de materiales de alta reflectancia o techos fríos, que reflejan la radiación solar y reducen la acumulación térmica en las superficies (Santamouris, 2014).
- Diseño urbano sensible al clima, que incorpora la orientación de las edificaciones, la ventilación cruzada, la protección solar y la configuración del espacio público como reguladores microclimáticos (Oke et al., 2017).
- Reducción del tráfico vehicular y uso de pavimentos permeables, que disminuyen las emisiones de calor y mejoran la gestión del agua pluvial.

Estas soluciones deben adaptarse al contexto climático, cultural y socioeconómico de cada ciudad. La efectividad de las estrategias depende en gran medida de la escala de implementación, la planificación territorial y la participación comunitaria.

A continuación, en este apartado se plasma una breve introducción al concepto de sistemas de medición térmica como referencia y enlace a la investigación, el cual se desarrollará de manera amplia en el capítulo correspondiente.

Sistemas de medición térmica en entornos urbanos

El análisis de la Isla de Calor Urbana requiere instrumentos precisos que permitan registrar, comparar y visualizar variaciones térmicas en diferentes puntos del entorno urbano. Los sistemas de medición térmica pueden clasificarse en dos grandes grupos: los instrumentos tradicionales y las tecnologías de imagen térmica.

Los sistemas tradicionales incluyen termómetros digitales, estaciones meteorológicas automáticas, *data loggers* y sensores ambientales que miden variables como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento en puntos fijos.

En contraste, la termografía infrarroja permite capturar imágenes térmicas del entorno urbano, identificando patrones de calor en superficies como fachadas, techos, pavimento y vegetación. Estas imágenes son útiles para visualizar la distribución espacial del calor y detectar zonas críticas de acumulación térmica (Yang, 2017). También existen tecnologías satelitales y sistemas LiDAR que, a escala macro, permiten análisis regionales de UHI, aunque con menor resolución que los sistemas a ras de suelo. El uso combinado de tecnologías permite una medición más completa y precisa de la UHI, y proporciona evidencia clave para tomar decisiones en el diseño urbano y la planificación territorial.

Capítulo II

Isla de Calor Urbana

2.1 La Isla de Calor Urbana: contexto y estudios en América Latina

América Latina constituye una de las regiones más vulnerables al fenómeno de la Isla de Calor Urbana (UHI) debido a su acelerado crecimiento urbano, planificación territorial irregular y diversidad climática. Estas características generan condiciones propicias para la intensificación del fenómeno, afectando tanto la habitabilidad como la eficiencia energética y la salud pública (ONU-Hábitat, 2016). Los estudios realizados en la región, aún limitados en comparación con otras zonas del mundo, son fundamentales para entender la magnitud y características específicas del fenómeno en contextos locales, y para diseñar estrategias de mitigación que consideren la realidad socioeconómica y ambiental de cada ciudad.

La Isla de Calor Urbana (UHI) es un fenómeno relacionado con los riesgos del cambio climático global y que está empeorando la habitabilidad en las ciudades, principalmente en aquellas regiones con altas tasas de crecimiento poblacional y urbano, como África y América Central y del Sur (ONU-Hábitat, 2016).

A pesar de que los inicios en el estudio de este fenómeno datan del siglo XIX (Howard, 1833), las investigaciones teóricas y experimentales se han centrado en la mitigación y adaptación al cambio climático (ONU, 2011) así como en la orientación hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ONU, 2015); por lo que las políticas ambientales de los gobiernos se concentran en acciones para combatir los impactos del cambio climático, incluidas políticas de mitigación de la UHI.

Estas políticas afectan a los diversos sectores de la población que, con sus acciones, son responsables del origen y la propagación de la UHI, como el sector de la construcción, con la producción y utilización de materiales diversos, cuyas características promueven la formación del fenómeno en distintos puntos de la ciudad; otros sectores que son involucrados con estas políticas

son el de transporte y el de energía, cuyas emisiones contaminantes contribuyen a la formación de la UHI, con lo que se concluye que hay una conexión directa entre estos sectores y la UHI.

A partir del estudio de las consecuencias del cambio climático se busca la implementación de leyes generales y planes de acción enfocadas en la mitigación y la adaptación de las causas que forman parte del cambio global, entre las cuales se encuentran las UHI; por lo tanto, es necesario el desarrollo de un método de diseño urbano-arquitectónico que permita la reducción de las necesidades energéticas del sector de la construcción para mejorar la habitabilidad del contexto urbano en las diversas ciudades que presenten este fenómeno.

En América Latina existen planes generales de mitigación o adaptación del fenómeno en cuestión, solo que la implementación práctica de este tipo de intervenciones en la infraestructura de las ciudades aún es insuficiente para enfrentar a la UHI. Entre las estrategias propuestas, la ecologización de ciudades y la movilidad pública son las más implementadas, como en Medellín, Colombia (Núñez y Wang, 2020) y Curitiba, Brasil (Pérez y Ziede, 2020); sin embargo, hace falta la implementación de otras acciones para tratar de alcanzar las metas de los objetivos propuestos en el plazo estipulado, por lo que algunos gobiernos han buscado trabajar en colaboración con universidades e institutos de investigación para evaluar la vulnerabilidad climática y cuyos resultados permitan establecer acciones de mitigación y adaptación de un plan público para la ciudad, como en la ciudad de Durán, en Ecuador, un convenio entre el gobierno local y la Universidad Politécnica con el proyecto RESCLIMA (Cornejo et al., 2020).

De acuerdo con la clasificación del clima de KöppeneGeiger, las ciudades latinoamericanas se encuentran en tres macroclimas: clima templado, clima tropical y clima árido, más de la mitad de las ciudades se encuentran en climas tropicales cálidos (Palme, 2021), para cualquiera de estos climas, la UHI puede tener y propagar efectos negativos en el rendimiento energético de los edificios y en la habitabilidad del entorno exterior. En la tabla siguiente se observa un listado de las ciudades que albergan a más de un millón de habitantes con su clasificación climática.

Ciudades de más de 1,000,000 de habitantes y clasificación climática para América Latina y México				
Ciudad	País	Habitantes	Clima	Clasificación
Sao Paulo	Brasil	22,043,028	Subtropical Húmedo	CFA
Ciudad de México	México	21,782,378	Tierras altas subtropicales con invierno seco	Cwb
Buenos Aires	Argentina	15,173,529	Subtropical Húmedo	CFA
Río de Janeiro	Brasil	13,458,075	Sabana tropical con invierno seco	Ay
Bogotá	Colombia	10,978,360	Tierras altas subtropicales con precipitaciones Uniformes	Cfb
Lima	Perú	10,719,188	Cálido árido	Bwh
Santiago	Chile	6,767,223	Verano caluroso Mediterráneo	Csa
Belo Horizonte	Brasil	6,084,430	Subtropical Subhúmedo	CFA
Guadalajara	México	5,179,479	Subtropical subhúmedo con invierno seco	Cwa
Monterrey	México	4,874,095	Cálido semiárido	Bsh
Puebla	México	3,184,948	Tierras altas subtropicales con precipitaciones Uniformes	Cfb
Toluca	México	2,467,241	Tierras altas subtropicales con invierno seco	Cwb
Tijuana	México	2,140,398	Frío semiárido	Bsk
León	México	1,820,127	Cálido semiárido	Bsh

Tabla 2: Ciudades y climas en Latinoamérica.

A diferencia de las diversas ciudades asiáticas en las que se han desarrollado investigaciones y propuestas para la mitigación de la UHI, el acceso que tienen al uso del aire acondicionado para este tipo de climas ha aumentado drásticamente el uso de la energía que se expulsa al exterior, en Latinoamérica, en el contexto urbano presentado, el desarrollo social de la población le ha permitido aspirar a un rango aceptable de desarrollo humano con una baja repercusión en su huella ecológica (Morán et al., 2008); lo que le permitiría a la población vivir en un espacio arquitectónico cuya habitabilidad estaría adoptada para mitigar los estragos de la UHI en las edificaciones.

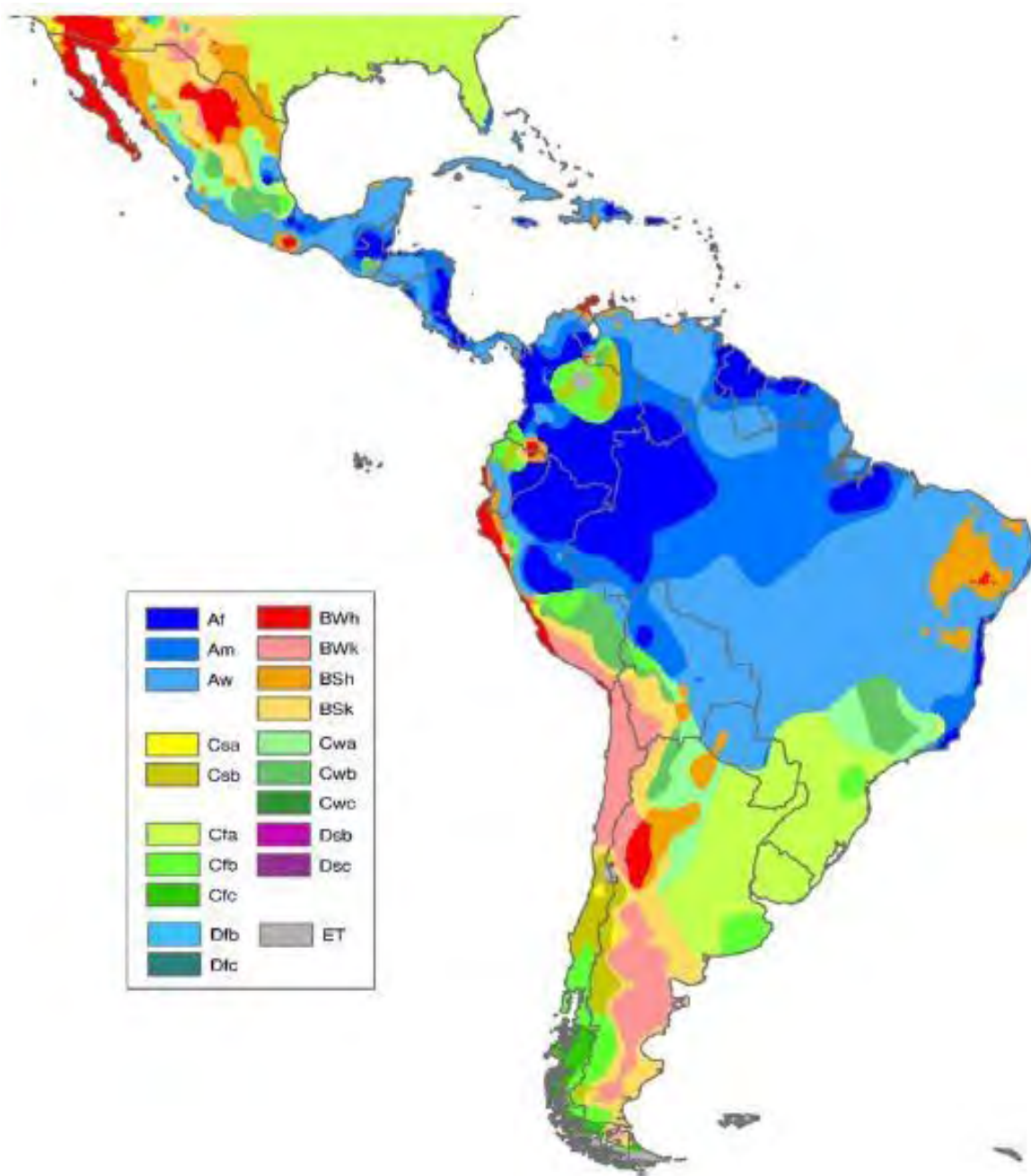


Imagen 7: Climas de Latinoamérica.
Fuente: Palme, 2021.

Las altas tasas de crecimiento poblacional que se tienen en los países latinoamericanos están relacionadas directamente con la expansión urbana y, por tanto, con la dotación de servicios de infraestructura y de transporte (Inostroza et al., 2013), de manera tal que el asentamiento poblacional llega a convertirse en irregular cuando ya no se puede establecer en las delimitaciones

territoriales correspondientes, lo que da origen a los llamados cinturones de miseria; por lo cual existe una mayor exposición de la población más sensible (adultos mayores, niños, personas de escasos recursos) a la falta de factores urbanos que les permitan alcanzar condiciones mínimas de habitabilidad, la capacidad adaptativa de la población se centra en aquellos habitantes que disponen de una mayor cantidad de recursos (De la Barrera et al., 2019).

2.2 Los estudios de UHI en América Latina

Los primeros estudios registrados de este fenómeno fueron realizados por Jáuregui en México a partir de 1970, los más recientes se han desarrollado en Brasil, Chile y Argentina. Sin embargo, una revisión reciente de los últimos cinco años respecto a estudios publicados sobre la UHI (Palme, 2021) identificó cerca de 30 estudios enfocados en climas tropicales y subtropicales y 15 estudios en climas templados; cabe resaltar que dichos estudios utilizaron diferentes conceptos y métodos de evaluación del fenómeno, que van desde el uso de técnicas de detección remota hasta la investigación sobre los impactos sobre el contexto urbano-arquitectónico.

Brasil es el país que más estudios tiene acerca de este fenómeno, esto debido a que la mayor parte del territorio cuenta con clima tropical cálido y que es de suma importancia para las ciudades realizar dichas investigaciones, estos sitios van desde megaciudades como Sao Paulo, hasta ciudades pequeñas como Paranavai; en México, Ciudad de México y Guadalajara; en Chile, Santiago; en Argentina, Buenos Aires y Mendoza; en Colombia, Bogotá y Medellín; en Ecuador, el área metropolitana de Guayaquil, y en Perú, Lima.

En general, los estudios realizados en algunas de las ciudades mencionadas están enfocados en la demostración de la intensidad de la UHI dadas las condiciones presentadas, como el aumento en la población y en la extensión de los límites territoriales, asimismo el cambio en la densificación del uso del suelo y los nuevos desarrollos habitacionales -en especial los verticales-, aumentan la temperatura urbana, en particular por la noche, como lo señala Jáuregui (1992).

Otros autores (Palma et al., 2016) señalan que en ciudades costeras del Océano Pacífico, la liberación de calor antropogénico, principalmente de los vehículos automotores, y el cambio en la morfología urbana por el aumento de la población, son factores determinantes para la propagación de la UHI; por otra parte, el estudio sobre el impacto de la UHI recae en el confort exterior y en las necesidades energéticas de los edificios, cabe señalar que son escasas las investigaciones realizadas sobre el impacto de la UHI en la salud pública.

Los resultados de las investigaciones se han vertido en las propuestas de mitigación de la UHI que mayormente se conocen y en las que se encuentran:

- Techos y muros verdes
- Diseño urbano relacionado con el agua
- Enfriamiento por evaporación
- Materiales frescos para las superficies de las construcciones (pavimentos, fachadas y cubiertas)
- Reducción de la liberación de calor antropogénico
- Diseño urbano para sombra y ventilación
- Soluciones geotérmicas

Estas estrategias no funcionan para todos los casos, cada uno es particular derivado de las circunstancias presentadas y de las características propias del sitio, como la ubicación geográfica y su extensión territorial; sin embargo, las propuestas descritas deben tener la capacidad de adaptarse a cualquier circunstancia.

La Tabla 3 presenta un resumen de las estrategias empleadas para mitigar los efectos de la UHI en los diversos climas existentes para el entorno urbano, dichas estrategias han surgido a partir de las investigaciones realizadas a la UHI desde diversas perspectivas; no obstante, cabe resaltar que existen puntos en común acerca de los factores que originan a este fenómeno, como lo son el cambio en el uso de suelo, la urbanización creciente y no planificada y el uso de la energía para el transporte y la funcionalidad de las edificaciones.

Generalidades de las estrategias de mitigación de la UHI		
Clima	Estrategia	Cualidad
Tropical	Ventilación urbana	Adaptativo/mitigador
	Reverdecimiento	Adaptativo/mitigador
	Planificación abierta	Mitigador
	Cuerpos de agua	Adaptativo
Árido	Ventilación urbana	Adaptativo/mitigador
	Enfriamiento evaporativo	Mitigador
	Materiales	Mitigador
	Refrigeración geotérmica	Mitigador
	Planificación compacta	Mitigador
Templado	Reverdecimiento	Adaptativo/mitigador
	Materiales	Mitigador
	Enfriamiento evaporativo	Mitigador
	Solución geotérmica	Mitigador
Todos los climas	Reducción de calor antropogénico	Mitigador

Tabla 3: Estrategias de mitigación de la UHI.

2.3 Clasificación de la UHI

El fenómeno Isla de Calor Urbana (UHI) puede afectar de manera significativa al entorno cuando las condiciones ambientales son propicias para su formación (Phelan et al., 2015). Son diversos los estudios que se han dado y que muestran las diferentes perspectivas de su análisis: métodos para medir su influencia (Stewart, 2011), relación con la contaminación urbana (Ulpiani, 2020), cómo se manifiesta en el contexto urbano (Kim y Brown, 2021), su intensidad y magnitud (Kim y Brown, 2021b), y medidas de mitigación ecológicas entre otros (Knight et al., 2021).

Las investigaciones muestran cinco tipos de efecto de la UHI con la finalidad de entender su funcionamiento:

1. Isla Seca Urbana (UDI) (Moriwaki et al., 2013)
2. Isla Fría Urbana (UCI) (Theeuwes et al., 2015)
3. Isla de Calor Urbana Superficial (SUHI) (Göndöcs et al., 2017)

4. Isla Eólica Urbana (UWI) (Droste et al., 2018)
5. Isla de Contaminación por Aerosoles Urbanos (UAPI) (Li et al., 2020)

A partir de esta clasificación, se determinan cuatro categorías de presentación de la UHI:

- a) En la superficie (UHI SURF): se trata de la diferencia entre la temperatura de las superficies sólidas urbanas (superficies horizontales, verticales, inclinadas y del suelo) o T_o adyacentes al aire libre y las rurales (Oke et al., 2017).
- b) Debajo de la superficie (UHI SUB): establecida como la diferencia entre la temperatura subterránea (T_g) de las ciudades y las áreas rurales circundantes (Huang et al., 2009).
- c) Dentro de cañones urbanos (UHI UCL): la diferencia de temperatura del aire en la capa de dosel de las ciudades con la del campo (Bonacquisti et al., 2006).
- d) En la capa límite (UHI UBL): la diferencia de temperatura del aire en la UBL de las ciudades con la del campo (Geiß et al., 2017).

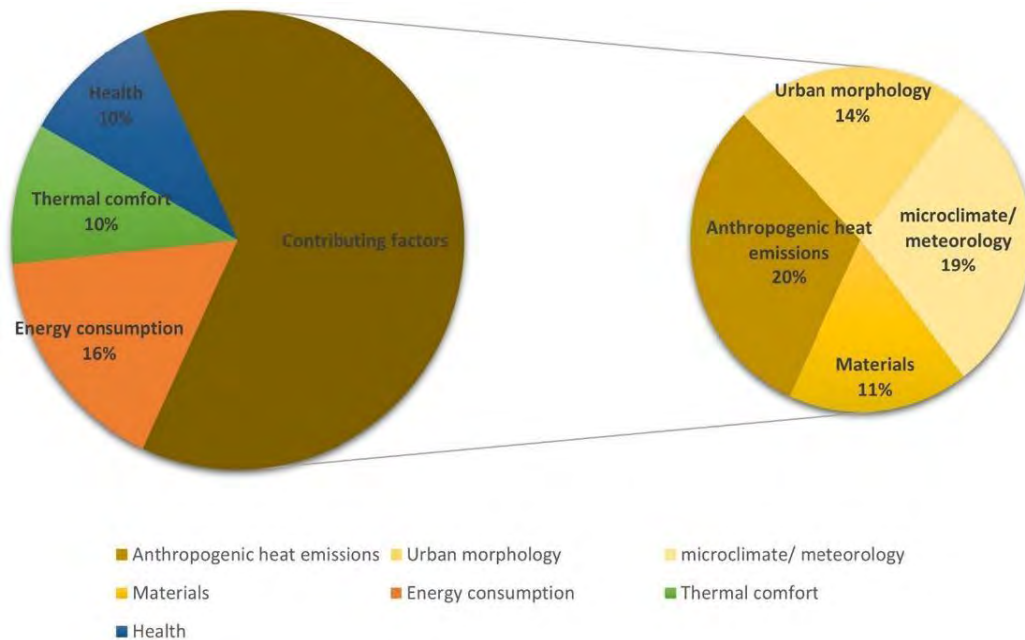


Imagen 8: Factores de estudio de las UHI's.
Fuente: Phelan et al., 2015.

De esta clasificación, se obtienen las siguientes perspectivas desde las cuales se ha estudiado el fenómeno de la UHI: salud, confort térmico, consumo de energía y factores contribuyentes o impulsores. Los factores contribuyentes se dividieron en: emisiones de calor antropogénicas, morfología, meteorología y materiales. A continuación, se presenta una tabla de los diversos estudios que se han realizado del fenómeno UHI bajo esta última clasificación (Mirabi y Davies, 2022):

Tipo de UHI	Factores que intervienen	Cómo contribuyen a la UHI
UHI SURF	Materiales de: Bajo albedo Baja emisividad Baja conductividad Alta capacidad térmica Color oscuro Menos acceso a plantas, agua Más protegido del viento	Menos radiación reflejada Menos radiación emitida Menos calor transferido Más calor absorbido Radiación más absorbida Menos enfriamiento por evaporación Poca turbulencia
UHI SUB	Pavimentos Sistemas enterrados	Más escorrentía, cambio y bloqueo de la penetración de WF al suelo Más penetración de SH liberado al suelo y UW
UHI UCL	Morfología urbana: SVF limitado RA superior Menos cuerpos verdes y de agua Densidad	Menos AF y LW, más atrapadas LW y SH Área menos enfriada Más gases de efecto invernadero
UHI UBL	Capa de dosel urbano: Más contaminantes del aire en UCL Más calor superficial en UCL Condiciones de viento débil Mayores dimensiones de una ciudad Superficie rugosa en UCL Inversión de tapado Cúpula urbana Penacho urbano	Cambiar los patrones de precipitación Más radiación divergente UBL Mayor T_a en UBL UBL calentado más profundo UBL calentado horizontal AF débil en UBL UBL calentado verticalmente Contaminación más concentrada Contaminación más dispersa

Tabla 4: Tipos de UHI y características.

Uno de los factores importantes a considerar dentro del desarrollo de esta investigación es la infraestructura lineal (LI), ya que puede abarcar hasta el 36% del paisaje urbano (Millard-Ball, 2021; Gössling et al., 2016), básicamente esta infraestructura se compone de los sistemas de transporte terrestres (como carreteras) y los servicios públicos (como oleoductos, gasoductos y líneas de transmisión eléctricas) (Chester y Horvath, 2008), estos sistemas hacen que la ciudad funcione ya que conecta a la población con todo el territorio (Kasraian et al., 2016). El papel que desempeña la LI es un factor determinante en el aumento de la temperatura urbana con base en una combinación de elementos como la dimensión del lugar, los tipos de materiales empleados para su construcción y, de manera indirecta, la contaminación generada en los mismos; por tanto, la LI es el detonante para el funcionamiento, el crecimiento y la expansión de una ciudad y de sus consecuencias en la proliferación de la UHI.

El aumento de la población conlleva un crecimiento urbano, no solo de viviendas sino también de la infraestructura necesaria para su funcionamiento, estos factores intervienen en cambios significativos de la estructura urbana como el aumento en la densidad de población y el crecimiento económico (Akgüngör et al., 2011). Dichos cambios alteran los microclimas ya establecidos y contribuyen al UHI, lo que resulta en un aumento de la temperatura ambiente (T_a) (Uddin et al., 2021) debido a, por ejemplo, el incremento de la superficie construida en relación con el decremento de las áreas verdes, a los cambios constantes en las condiciones del entorno: mayor altura de los edificios, mayor ocupación habitacional, cambio en las líneas de transporte, por mencionar algunos, lo que provoca dichas alteraciones ambientales.

2.4 Los métodos de evaluación para la UHI

A partir del análisis de las causas que originan la aparición de la UHI en el contexto urbano, el resultado de la mayoría de las investigaciones recae en dos aspectos: la economía y la salud pública. El primero de estos por el aumento de la demanda energética para el funcionamiento de equipos para enfriamiento de los espacios arquitectónicos al interior de los edificios, estudios sobre ciudades como Singapur y Los Ángeles han demostrado que este aumento se traduce en un gasto económico para la población en general; el segundo aspecto se debe por el aumento de la

contaminación ambiental, lo que contribuye en el aumento de la temperatura del ambiente debido a la imposibilidad de dispersión de los contaminantes (Sailor, 2004), la exposición del cuerpo humano en estos escenarios por un tiempo prolongado comienza a presentar problemas respiratorios, agotamiento por deshidratación, dolor de cabeza, calambres, golpes de calor y, en casos más severos, aparición de enfermedades cardiovasculares. (Ballester et al. 2003).

La UHI se presenta en el clima urbano, el cual se ha definido como el clima de una región que ha sido modificado por las acciones del hombre en el entorno, la principal característica que tiene es el aumento de la temperatura del aire con respecto al entorno rural aledaño. Este proceso de urbanización se da por el aumento de la población y por consiguiente en su extensión territorial y en el cambio en los materiales de las superficies construidas.

Los métodos principales que se utilizan para evaluar el impacto del proceso de urbanización en el clima regional son:

- a) La comparación de datos climatológicos entre estaciones urbanas, suburbanas y rurales: este método utiliza la información climatológica proporcionada por las estaciones meteorológicas instaladas en estos contextos con la finalidad de tomar un punto de referencia (rural) que nos permita describir el comportamiento del fenómeno en el punto de estudio (urbano) con base en los monitoreos de distintos factores como la temperatura, la humedad del aire, la velocidad y la dirección del viento.
- b) La realización de recorridos con vehículos instrumentados en trayectos previamente planificados: son propuestas basadas en mediciones móviles sobre un recorrido establecido (transecto) para analizar las distribuciones de la temperatura del aire dentro de la capa límite de la atmósfera urbana baja, la particularidad de este método es que permite medir la influencia de los parámetros urbanos locales; por lo cual, es posible identificar las distribuciones de la temperatura del aire en áreas urbanas a resoluciones espaciales más altas (Tsin et al., 2016). Las ventajas que se observan en los transectos móviles son: reconocer ubicaciones representativas de diferentes condiciones microclimáticas, esto puede contribuir a la colocación de nuevos sensores en sitios estratégicos, es una opción de bajo costo en comparación con otros métodos

(por ejemplo, la instalación de estaciones meteorológicas), y puede llevarla cualquier persona involucrada en el proyecto o investigación. Se ha analizado en diversos estudios que la mayoría de las mediciones mediante transectos se realizan en automóvil o bicicleta, cabe resaltar que la ruta establecida deberá planificarse cuidadosamente.

- c) **Análisis de series de tiempo para relacionar el crecimiento urbano con el clima de la ciudad en mesoescala:** es una técnica estadística que se ocupa de los datos de series temporales y el análisis de tendencias, los datos de series temporales siguen intervalos de tiempo periódicos que se midieron en intervalos de tiempo regulares o se recopilieron en intervalos de tiempo particulares. Existe una correlación entre el crecimiento de la mancha urbana con respecto al cambio de temperaturas que se va presentando ya que influyen diversos factores como los materiales de construcción, el tipo de edificaciones, los sistemas de transporte, la contaminación ambiental, entre otros.
- d) **El análisis de imágenes satelitales en banda infrarroja para la detección de Islas de Calor Urbanas** implica la selección de imágenes térmicas de satélites como Landsat o Sentinel, seguidas de un preprocesamiento que incluye correcciones radiométricas y geométricas. Posteriormente, se calcula la temperatura superficial terrestre (LST) a partir de la radiancia espectral y se convierte a grados Celsius. Para mejorar la interpretación, se integran índices como el NDVI, que evalúa la cobertura vegetal, y el NDBI, que identifica áreas urbanas. Finalmente, los datos se visualizan mediante mapas térmicos en software GIS como QGIS, ArcGIS o Google Earth Engine, lo que permite identificar patrones térmicos, evaluar la distribución del calor en entornos urbanos y desarrollar estrategias de mitigación.
- e) **Implementación de modelos físicos o numéricos para simular los fenómenos que ocurren dentro de las ciudades,** generalmente en la microescala: representaciones de las situaciones reales en un modelo a escala con las condiciones reales y posteriormente la reelaboración de la investigación y de la posible solución en el modelo.
- f) **La implementación de vehículos aéreos no tripulados (VANT), para el análisis de la UHI mediante imágenes termográficas:** una de las técnicas más modernas en la cual se hace uso de drones equipados para captar imágenes a una escala más específica y de una región más concreta para obtener información detallada de las características del fenómeno estudiado, ya que estos aparatos se pueden manipular a la altura deseada lo que permite una mayor precisión

en las lecturas de los instrumentos.

A partir del análisis de los métodos empleados en las diversas investigaciones sobre la UHI, se hará la propuesta metodológica para estudiar el fenómeno presentado en nuestro sitio de estudio.

2.5 Propuesta metodológica de estudio de la UHI

La presente investigación, de enfoque mixto cuantitativo-cualitativo, tiene como objetivo analizar la presencia de la Isla de Calor Urbana (UHI) mediante la aplicación de termografía, integrando datos estadísticos y observaciones de campo. La metodología se divide en diversas fases que permitirán identificar los factores determinantes en la formación de la UHI y proponer estrategias de mitigación urbano-arquitectónica.

1. Investigación documental: se recopilará información geográfica, ambiental y socioeconómica del sitio de estudio a partir de fuentes oficiales como el INEGI y CONAGUA. Se analizarán indicadores ambientales clave, como temperaturas históricas mínimas y máximas, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura del suelo, con el fin de contextualizar la problemática y establecer una base de referencia.
2. Reconocimiento del sitio de estudio: se realizará un levantamiento fotográfico para documentar las condiciones geográficas y urbano-arquitectónicas del área de estudio. Este reconocimiento incluirá la identificación de patrones de diseño urbano y las características de los materiales empleados en edificaciones, pavimentos y áreas verdes, factores clave en la generación del fenómeno UHI.
3. Identificación de materiales y diseño urbano-arquitectónico: se analizarán los materiales constructivos predominantes en la zona y su capacidad de absorción y retención de calor. Asimismo, se estudiará la organización espacial del entorno urbano para identificar elementos que puedan influir en la distribución térmica.
4. Medición de parámetros ambientales: se establecerán puntos estratégicos de mediciones ambientales a lo largo de transectos urbanos definidos en el levantamiento previo. Las mediciones incluirán:

- a) Captura de imágenes termográficas en horarios estratégicos (día y noche).
 - b) Registro de temperatura superficial y ambiental.
 - c) Monitoreo de condiciones meteorológicas (velocidad del viento, humedad relativa, temperatura del aire).
5. Análisis e interpretación de datos: los datos recolectados serán procesados para identificar patrones térmicos en la zona de estudio. Este análisis permitirá evaluar la influencia de los materiales urbanos, el diseño arquitectónico y la presencia de vegetación en la formación del fenómeno.
6. Validación del método: se compararán los resultados obtenidos mediante termografía con mediciones tradicionales de temperatura para evaluar la fiabilidad del método aplicado. Se realizarán ajustes metodológicos en función de la precisión y repetibilidad de los datos obtenidos.
7. Conclusiones y estrategias de mitigación: con base en los resultados del estudio, se sintetizarán las principales contribuciones al conocimiento de la UHI en el contexto de estudio y se propondrán estrategias de mitigación enfocadas en soluciones urbano-arquitectónicas, como la incorporación de techos verdes, el uso de materiales reflectantes y la ampliación de áreas verdes.

Aunque el enfoque contextual de esta tesis está centrado en América Latina, los estudios de caso se realizaron en otras regiones por limitaciones logísticas y de acceso; sin embargo, la metodología propuesta ha sido diseñada para ser replicable en cualquier ciudad, latinoamericana o de alguna otra parte del mundo, permitiendo su aplicación en futuros estudios regionales.

Capítulo III

Desarrollo metodológico para la detección y evaluación de la UHI

3.1 Introducción

A través de los años, los métodos de medición de los parámetros de la UHI se han modificado con base en el desarrollo tecnológico, desde los primeros monitoreos utilizando los sensores psicrómetros sujetos a vehículos motorizados (Jáuregui) hasta el empleo de los Vehículos aéreos no tripulados (UAVs o VANT), conocidos como drones, a los cuales se les ajusta una cámara termográfica para realizar los recorridos establecidos tomando imágenes del sitio de estudio. La termografía se selecciona como técnica principal debido a su capacidad para capturar de manera no invasiva la distribución térmica superficial y aérea en entornos urbanos, lo que permite detectar diferencias de temperatura en fachadas, pavimentos y vegetación. Esta tecnología resulta especialmente útil para evaluar la intensidad de la UHI, dado que ofrece resultados inmediatos y visualmente interpretables, además de poder aplicarse en condiciones variadas y a diferentes escalas (Yang, 2017; Santamouris, 2014).

La presente investigación, de enfoque mixto cuantitativo-cualitativo, tiene por objetivo principal concebir un método que nos permita determinar la existencia de la UHI y cuantificar su intensidad en un ámbito urbano o semiurbano, así como identificar los parámetros que contribuyen a su formación, como la configuración del cañón urbano, los materiales de construcción, la traza urbana, la vegetación existente, entre otros factores, bajo cualquier tipo de clima.

La termografía es una tecnología que permite la visualización de los patrones de temperatura de los objetos por medio de la radiación de onda que emiten en la frecuencia del espectro infrarrojo, lo que conocemos como calor; al momento de realizar una captura, la radiación infrarroja queda plasmada en una imagen con diversos colores que representan los rangos de temperatura de los objetos.

Una de las principales ventajas que ofrece este tipo de tecnología es la distancia a la cual se puede realizar un diagnóstico o una captura de imagen, ya que el alcance que tiene es amplio debido a la

tecnología infrarroja y al sensor con el que cuenta, lo que permite realizar diagnósticos de instalaciones o elementos a los que no es fácil el acceso o que representen un peligro por la intensidad de calor emitida.

Los aspectos que se deben considerar para este tipo de cámaras son:

1. Resolución: la resolución del sensor termográfico determina la calidad de la imagen representada. Cuanto mayor sea la resolución del sensor, mayor será la nitidez y precisión de cada punto individual de la imagen, lo que permitirá efectuar mediciones más precisas y tomar mejores decisiones. Una mayor resolución permite medir los objetos más pequeños desde más lejos, no debe confundirse la resolución del detector con la resolución de la pantalla.
2. Rango de temperaturas: hay que tener en cuenta el rango de temperatura disponible de un instrumento. No todas las aplicaciones necesitarán un rango de medición capaz de abarcar temperaturas muy elevadas.
3. Sensibilidad: representa la diferencia de temperatura más pequeña que puede distinguir el sensor infrarrojo. Los dispositivos con una sensibilidad térmica más elevada pueden detectar diferencias de temperaturas más pequeñas para ofrecer una imagen más precisa. Se mide en miliKelvins (mK), y cuanto menor sea la cifra de mK de una cámara, mayor será su sensibilidad. Esta cifra más baja de mK significa que la cámara detectará un mayor número de diferentes temperaturas y mostrará más colores en la pantalla.

3.2 Instrumentos

Existen diversos instrumentos que sirven para valorar y determinar la existencia de una UHI en una zona determinada, para alcanzar el objetivo de la investigación se proponen los siguientes instrumentos que nos apoyarán para la obtención de datos y estadísticas del muestreo; no obstante, cabe señalar que se siguió la recomendación del Dr. Valerdi, de utilizar estos instrumentos ya que cumplen con la normatividad establecida para este tipo de estudio.

a) UleFone Power Armor 18T

Se trata de un teléfono celular con cámara termográfica que funciona con la aplicación FLIR Lepton 3.5, este sensor de calidad profesional tiene una resolución térmica óptima por su cámara de 108 megapíxeles de Samsung ISOCELL HM2, lo que permite captar imágenes de alta resolución. Esta cámara termográfica permite captar la temperatura radiante de los diversos elementos que aparecen en un escenario de carácter urbano-arquitectónico -cañón urbano-: superficies, materiales constructivos y de acabados, vegetación, entre otros; asimismo, permitirá realizar estudios nocturnos para conocer el comportamiento que tiene la radiación solar bajo estas condiciones climatológicas y que se pudieran presentar en este tipo de contexto. Las características del dispositivo en funcionamiento se presentan a continuación.



Imagen 9: UleFone Power Armor 18T.

Fuente: UleFone, 2022.

En la imagen 9 se puede apreciar la interfaz de la cámara al abrir la aplicación MyFLIR, en la parte superior está el menú de opciones que permiten ajustar las características de la imagen que

queremos, el primero de los íconos es un menú que permite navegar en la web en el sitio oficial de FLIR, el segundo ícono permite realizar tres tipos de encuadre: percepción del calor, percepción del calor con imagen definida (Imagen 10) e imagen en modo natural (sin muestra de calor, imagen 11).



Imagen 10: Interfaz de UleFone Power Armor 18T.

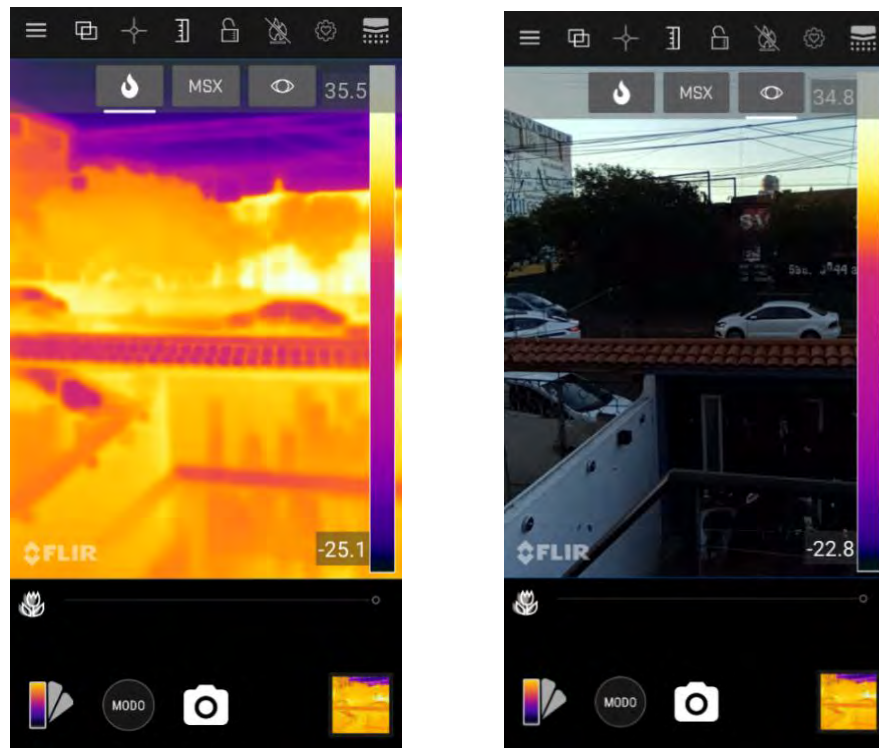


Imagen 11 y 12: Calor radiante y contexto en modo natural.

El tercero de los íconos permite encuadrar la escena para obtener la temperatura promedio en el sitio, se coloca un recuadro cuyas dimensiones son ajustables con base en lo requerido, como se aprecia en las siguientes imágenes.

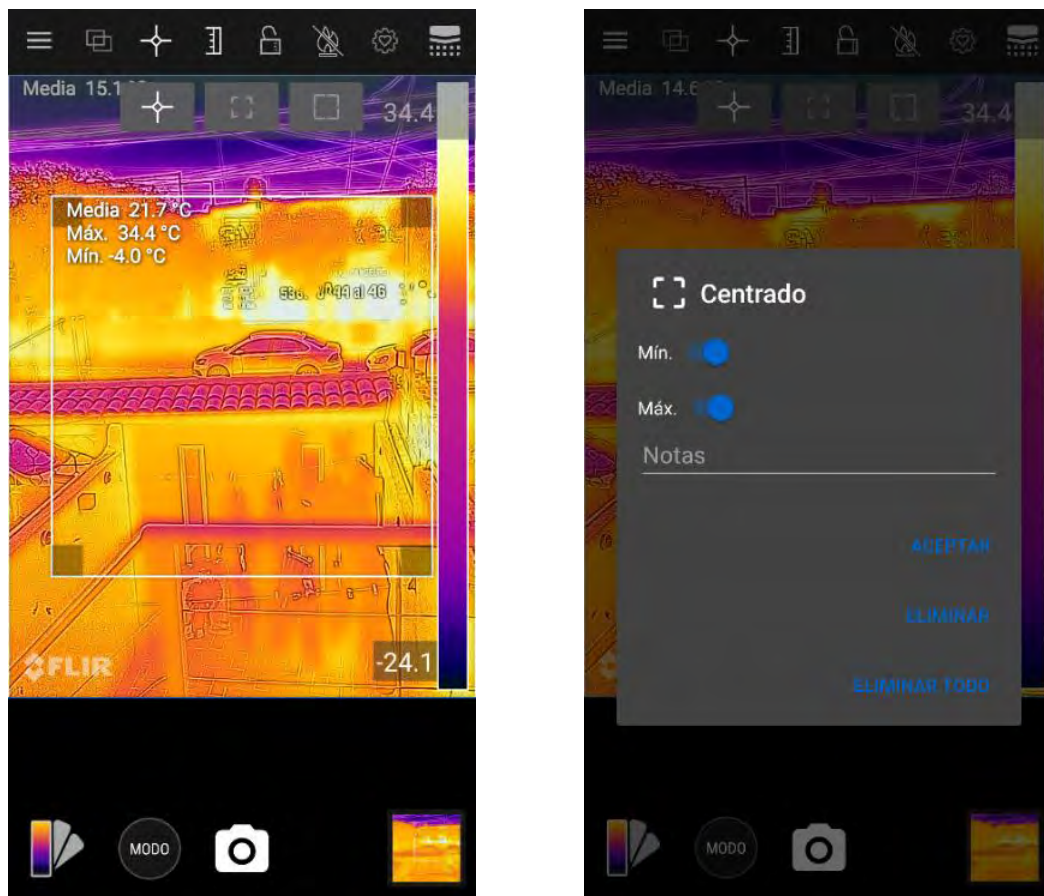


Imagen 13 y 14: Encuadre de la imagen y ajuste de datos de observación.

Este recuadro tiene la opción de mostrar la temperatura media, mínima y máxima que se detecta en la imagen como se ve en las imágenes anteriores, además existe la posibilidad de colocar puntos específicos en los objetos que en esta aparecen para obtener también la temperatura específica de cada uno (media, mínima y máxima) con la opción de colocar hasta cinco puntos sobre cada imagen, característica que enriquece nuestro estudio termográfico para observar y realizar la comparativa de temperaturas en un mismo sitio.

Cabe recordar que este instrumento de medición cuenta con un rango para la captación de la temperatura de acuerdo con los diversos parámetros ambientales del momento, por tal motivo la presencia de la escala de colores es fundamental para analizar las lecturas termográficas capturadas.

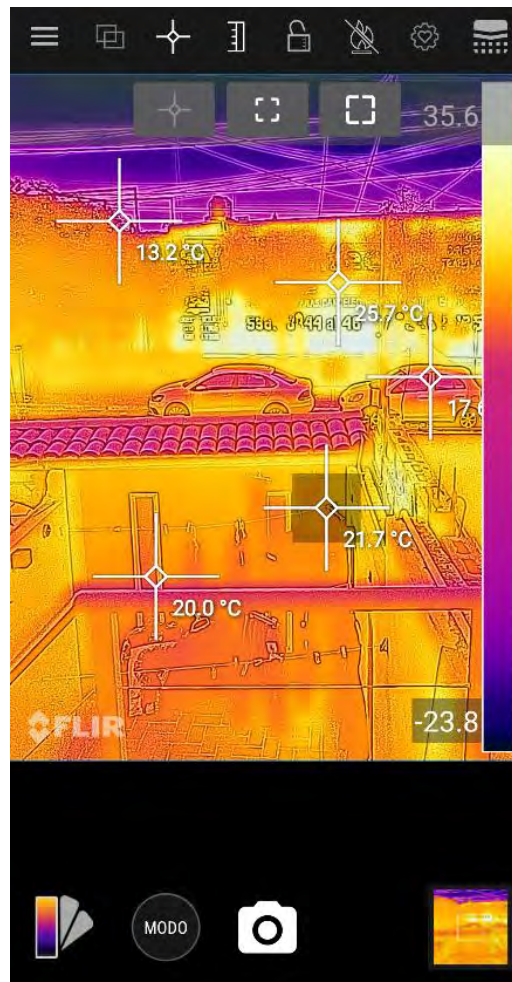


Imagen 15: Puntos específicos de medición.

Por último, cabe señalar que, de la escala que tiene el instrumento para mostrar la temperatura, se tomará la más conveniente con base en el entorno en estudio, ya que cualquiera permite apreciar la emisión de la radiación solar ya convertida en temperatura en los elementos que se captan en la imagen, esta escala está dada por los colores fríos para mostrar la temperatura mínima y por los colores cálidos para indicar la temperatura máxima pasando por una transición entre las dos escalas termográficas que determina la temperatura media del lugar.

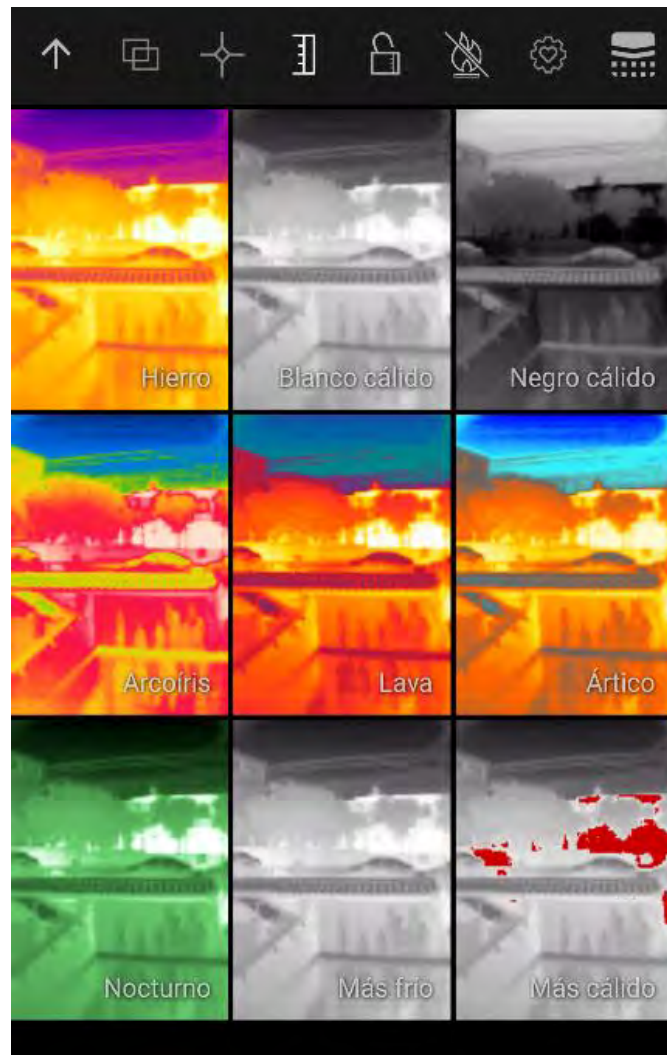


Imagen 16: Paleta de colores.

b) Software de análisis termográfico

Este software permite analizar las características de la fotografía termográfica, desde los parámetros del instrumento con el cual fue obtenida la imagen hasta datos ambientales. El software por utilizar se llama *FLIR Thermal Studio*, la misma marca de la cámara termográfica, y permite realizar análisis de cada imagen en diferentes interfaces y bajo diversos parámetros termográficos, además, el enfoque desde una perspectiva más centrada en la concentración de calor atmosférico nos permitirá detectar si existe o no el fenómeno atmosférico de la investigación.

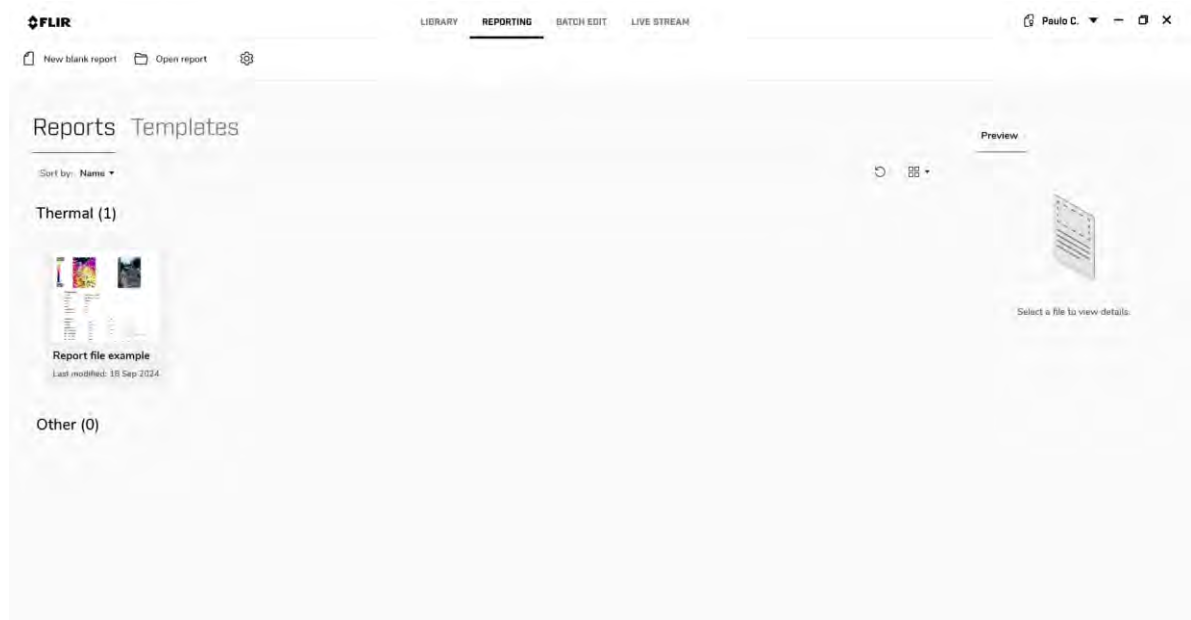


Imagen 17: Interfaz de inicio del software *FLIR Thermal Studio*.

El software cuenta con cuatro opciones para su inicio, colocadas al centro y en la parte superior de la interfaz: acceder a la biblioteca de imágenes termográficas, realizar un reporte termográfico, ajustar las opciones del análisis para el reporte y, por último, conectar la cámara a la laptop o PC para trabajar en tiempo real.



Imagen 18: Opciones de la interfaz.

En la opción “Library” tenemos acceso a la colección de imágenes termográficas de los diversos experimentos o recorridos realizados, de cada imagen se puede obtener información acerca de la imagen (nombre de la imagen, fecha de captura, resolución de la imagen y tamaño), de la cámara termográfica (modelo, número de serie, tipo de lente, filtro y rangos de temperatura) y la geolocalización de la imagen (coordenadas de ubicación).

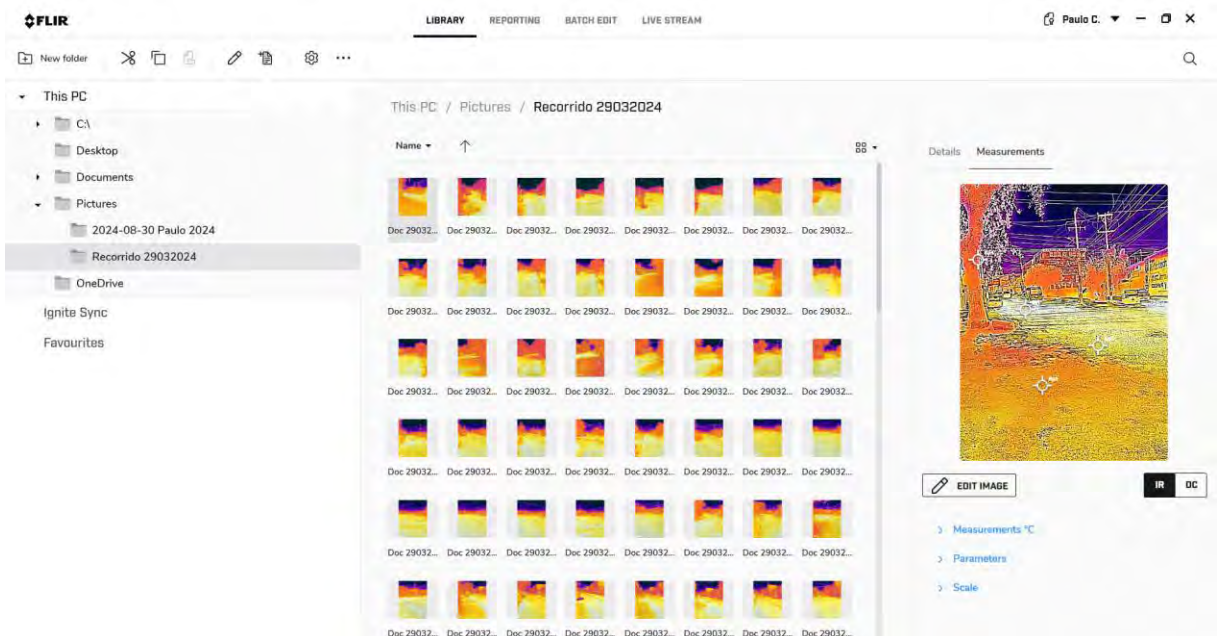


Imagen 19: Interfaz de la opción “Library”.

Además, de cada imagen podemos ver las medidas de los siguientes parámetros: a) los máximos y mínimos de temperatura de la imagen, además de los puntos de control ubicados en la misma, b) parámetros de: emisividad, temperatura reflejada, distancia, temperatura atmosférica, temperatura óptica exterior, transmitancia óptica externa, humedad relativa, temperatura de referencia, y c) escala de temperatura, con un valor máximo y un valor mínimo detectado en la imagen.

La opción “Reporting” nos muestra el historial de reportes realizados para su consulta posterior y las plantillas disponibles para la realización de un nuevo reporte, estas plantillas varían de acuerdo con la cantidad de datos que se quieren analizar con base en la situación presentada.

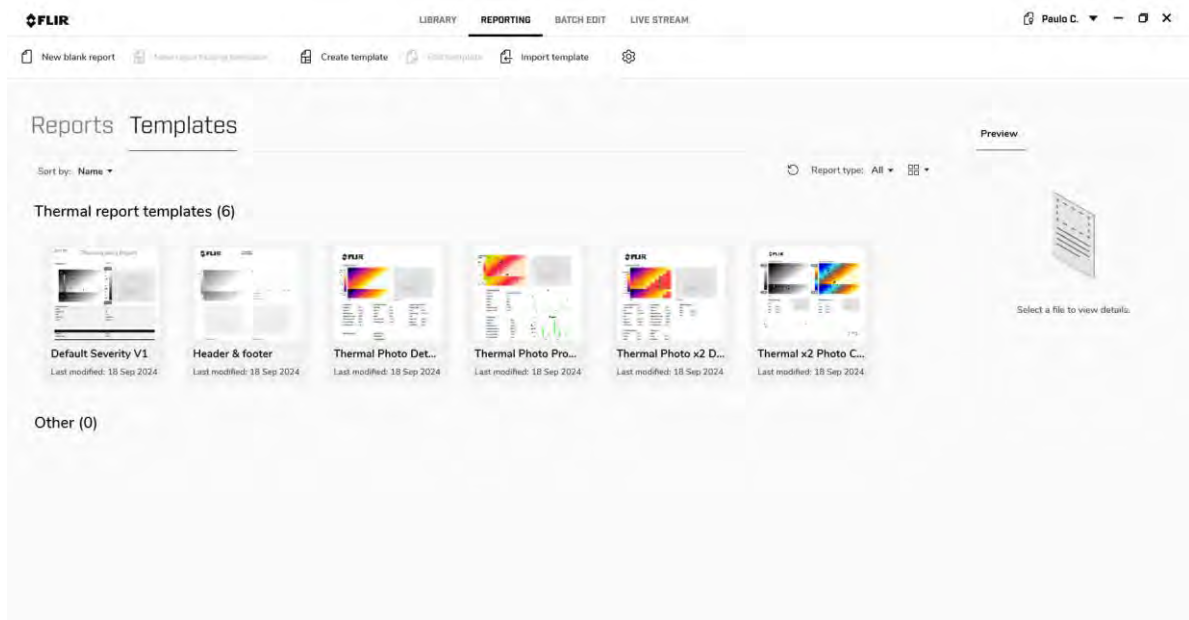


Imagen 20: Plantillas en la opción “Reporting”.

La tercera opción, “Batch Edit”, permite seleccionar las opciones disponibles para la selección de la imagen, “Panorama”, y el ajuste de los parámetros a analizar de cada imagen, “Adjust palettes”.

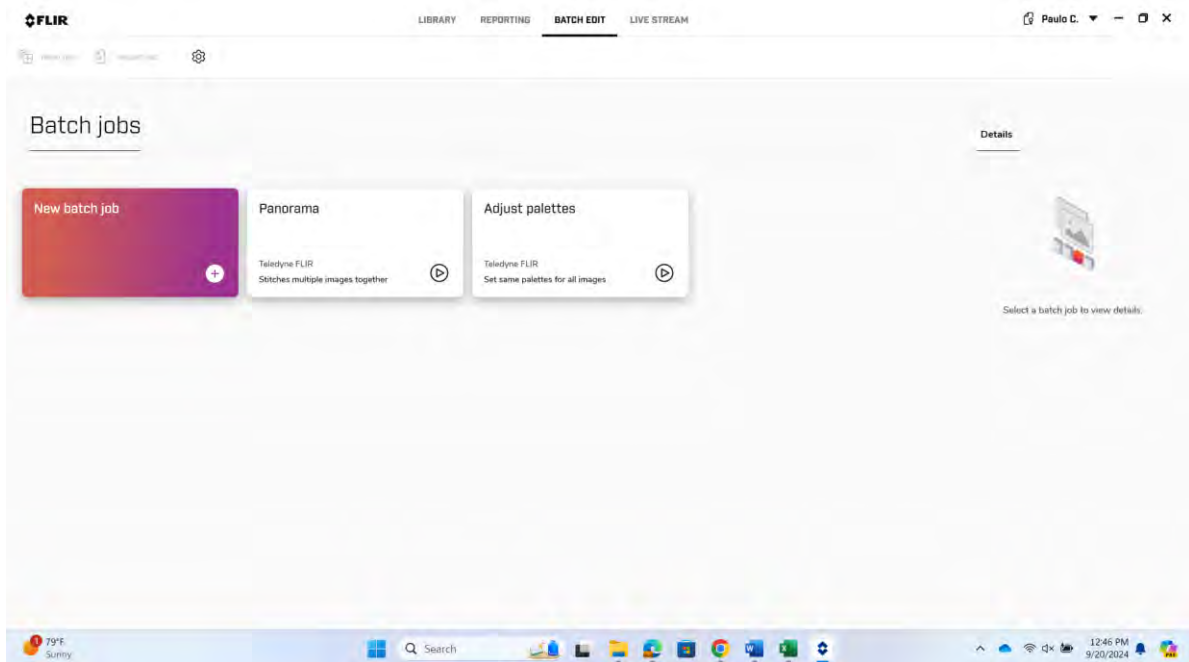


Imagen 21: Plantillas en la opción “Batch Edit”.

En “Panorama”, se presenta la siguiente lista de opciones:

- 1) Sketch: reemplazar la imagen por otra.
- 2) Add measurement: agregar formas de mediciones de temperatura en la imagen.
- 3) Add new shape: agregar símbolos para identificar elementos importantes de la imagen.
- 4) Select palette: la escala de colores con la que se analice la imagen termográfica.
- 5) Fusion mode: opción de escoger el modelo de la imagen, si es natural, con la paleta de colores, la imagen termal o una fusión de estos elementos.
- 6) Color distribution: la muestra de la escala de colores, con o sin graduación.
- 7) Isotherms control: se elige entre las capas principales de la temperatura, la más alta, la más baja o la media.
- 8) Crop image: recortar para ajustar la imagen.
- 9) Image rotation: girar la imagen.
- 10) Barra de ajuste de la imagen con porcentaje: ajustar el porcentaje de la característica seleccionada para su análisis.
- 11) Adjust fusión alignent: seleccionar un recuadro de la imagen para destacar sus características.

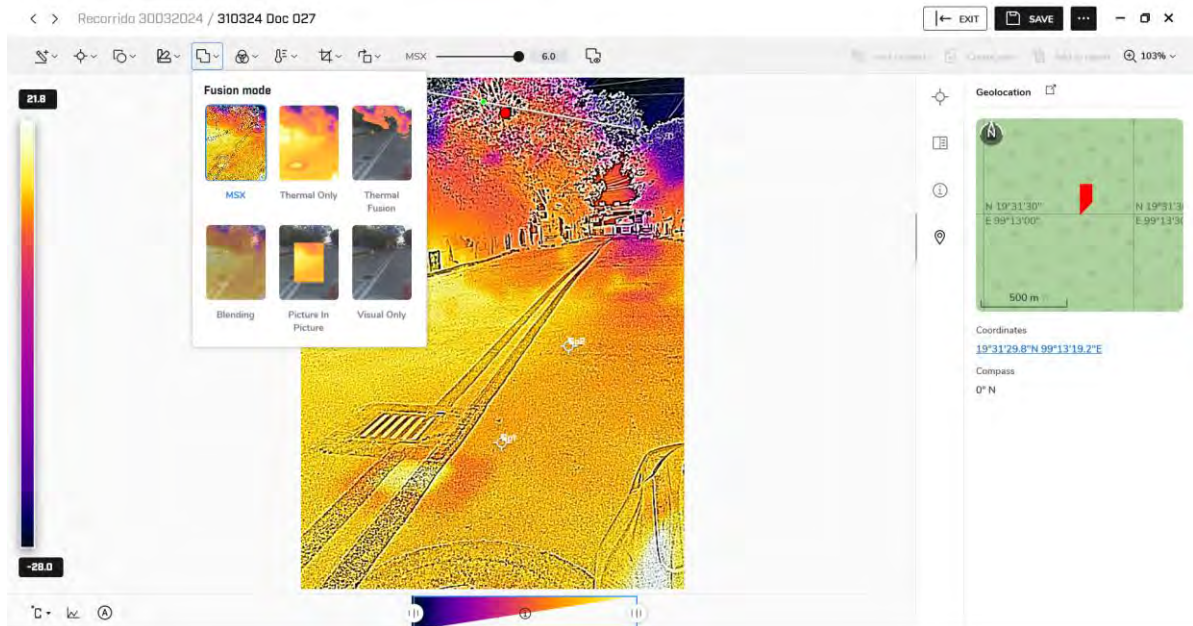


Imagen 22: Pantalla de la opción “Adjust palette”.

Por último, se tiene la opción de trabajar en tiempo real conectando la cámara termográfica a la laptop o PC para obtener las imágenes al momento y editarlas si es necesario.

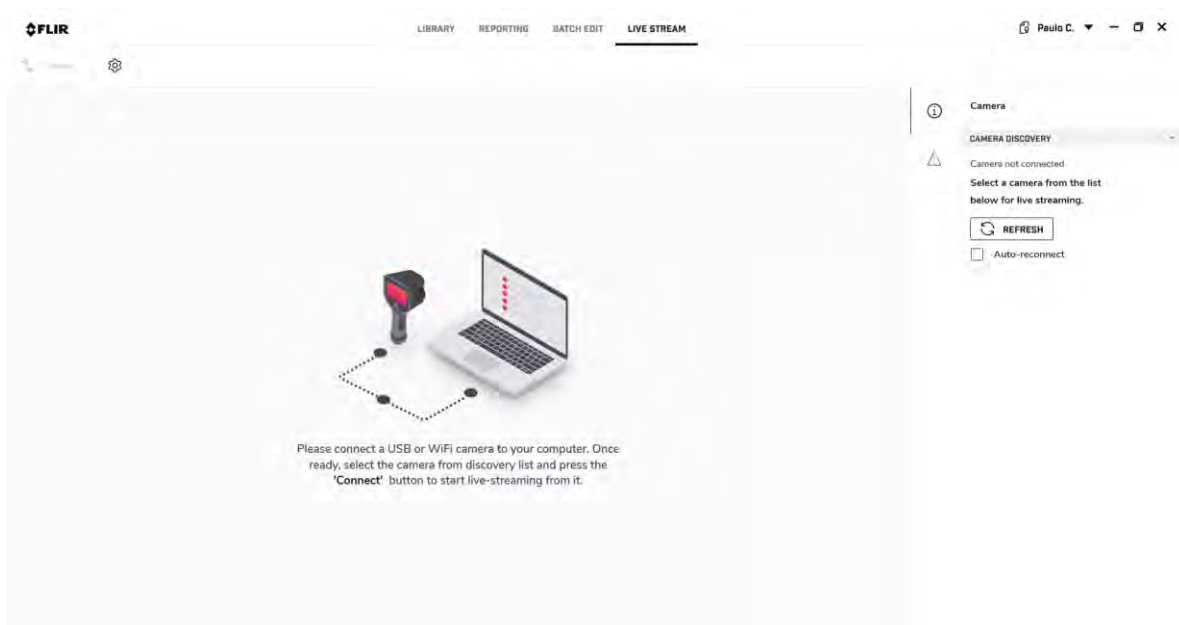


Imagen 23: Interfaz de “Live Stream”

Este software es el que se utilizara para el análisis de las imágenes termográficas obtenidas en los diferentes recorridos realizados para el desarrollo de nuestro método de detección y cuantificación.

c) EL-USB-2 Data logger

Se trata de un instrumento en forma de USB que puede registrar tres parámetros ambientales: la temperatura, la humedad relativa y el punto de rocío, por medio de un software descargable a una PC o laptop con el que se obtienen los datos registrados por el dispositivo en un periodo de tiempo establecido.



Imagen 24: Registrador de datos EL USB 2.
Fuente: EasyLog, 2022.

El software EasyLogUSB registra los tres parámetros descritos y presenta la información ya procesada en una tabla de Excel y en una gráfica de puntos, la interfaz inicial del software nos muestra tres opciones: programar al dispositivo para un nuevo registro, detener el dispositivo después de realizar una lectura y por último consultar los datos recabados de los experimentos anteriores en tablas o en gráficas.

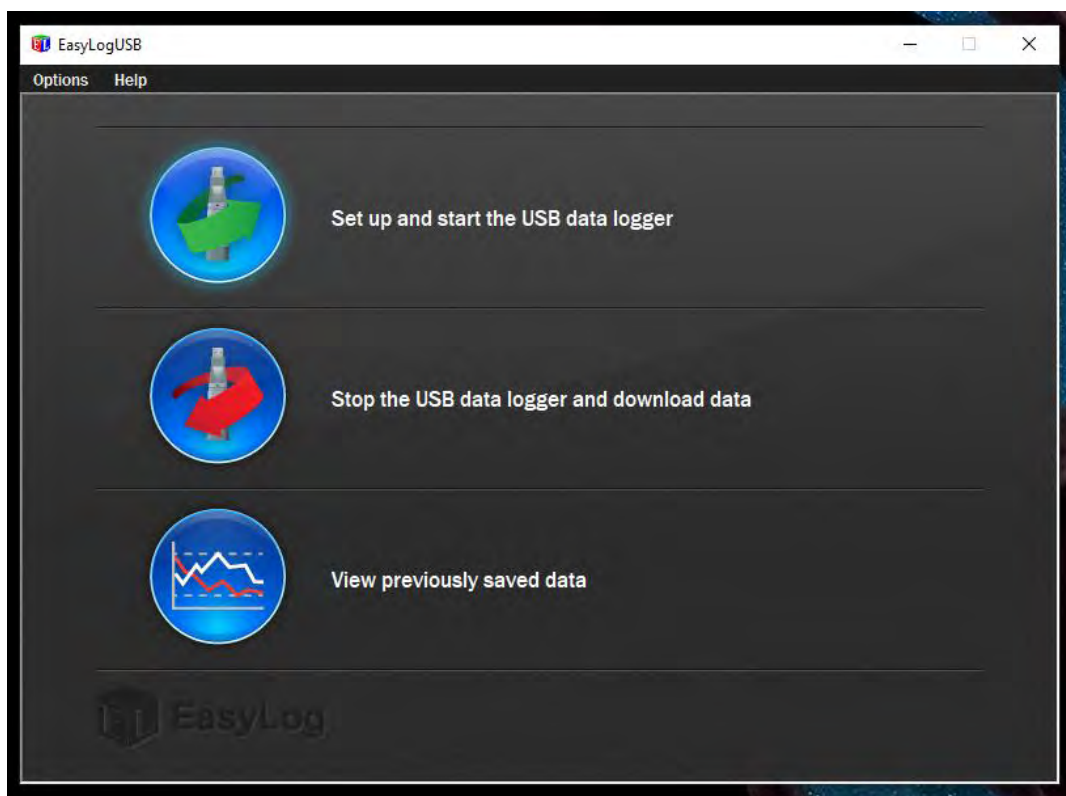


Imagen 25: Interfaz inicial del software EasyLogUSB.

En la primera opción se le puede asignar un nombre al dispositivo en uso, además de indicar las unidades de la temperatura (centígrados o Fahrenheit) y los intervalos de tiempo de medición

(desde los 10 segundos hasta 2 horas).

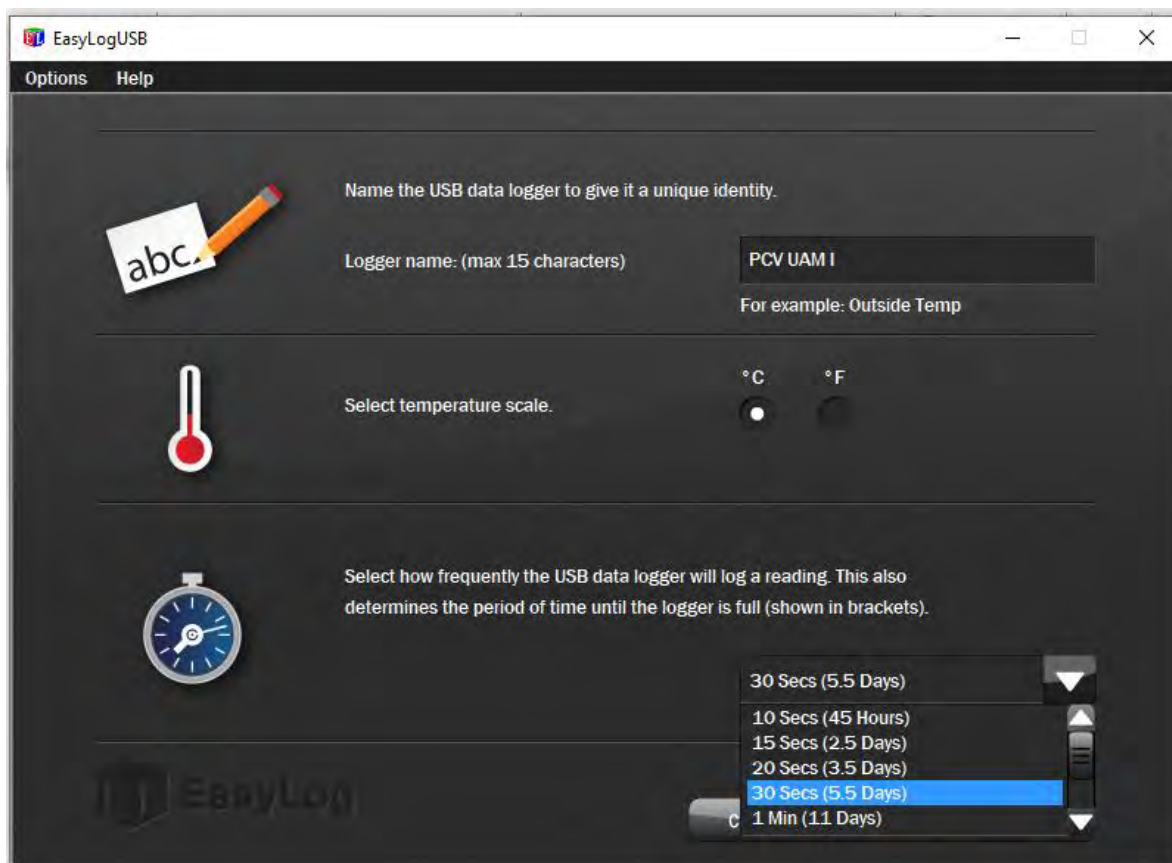


Imagen 26: Opciones iniciales del software.

La siguiente interfaz del software permite realizar ajustes entre los parámetros máximos y mínimos de la escala de la temperatura, así como de una opción de alarma para indicar el momento en el que se llega a estos límites; para este parámetro el rango está implementado desde los -35 a +80 °C (-31 a 176 °F) con un margen de apreciación del $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

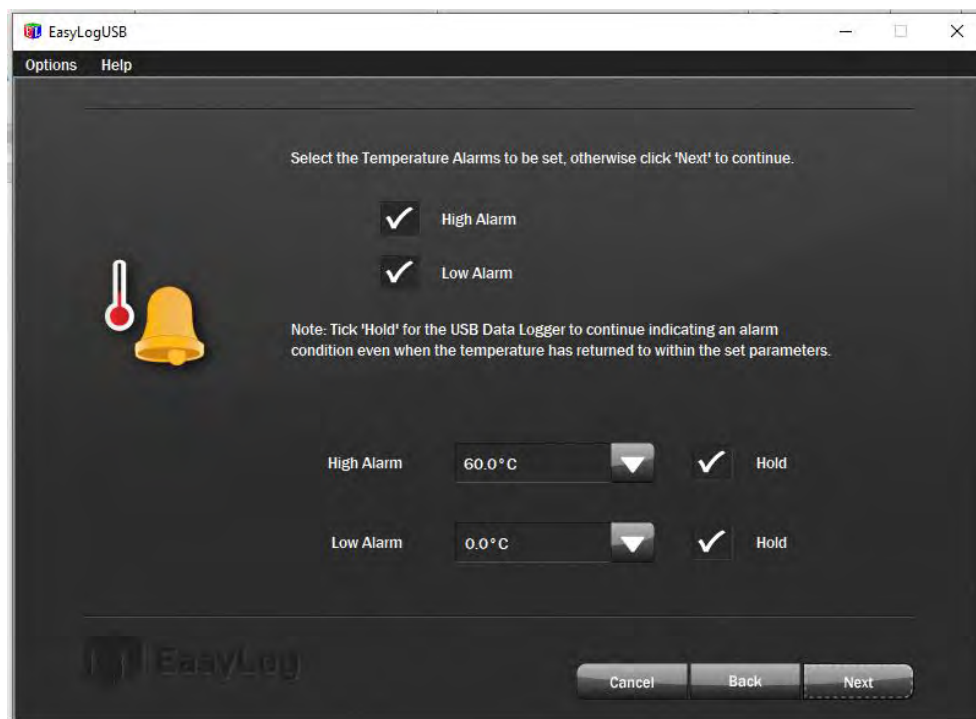


Imagen 27: Interfaz de los parámetros de Temperatura.

A continuación, la interfaz de los ajustes paramétricos a la humedad relativa (de 0 a 100%).

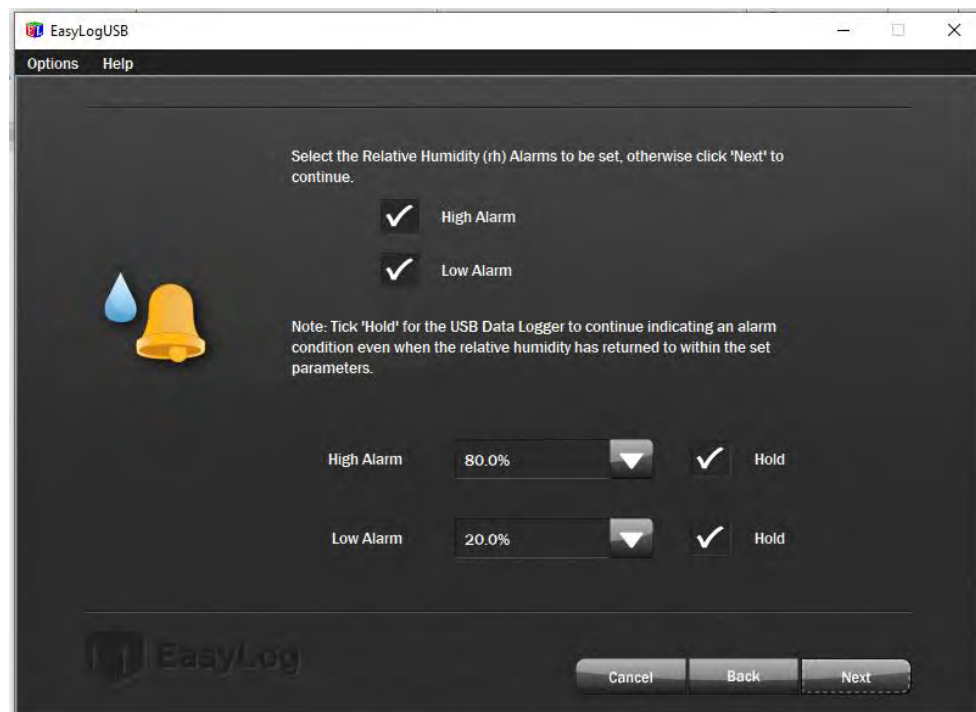


Imagen 28: Interfaz de los parámetros de Humedad relativa.

En la interfaz siguiente se encuentra la opción del ajuste de inicio de la toma de datos del instrumento, puede ser inmediata o programada con ajuste de la hora de inicio y la fecha.

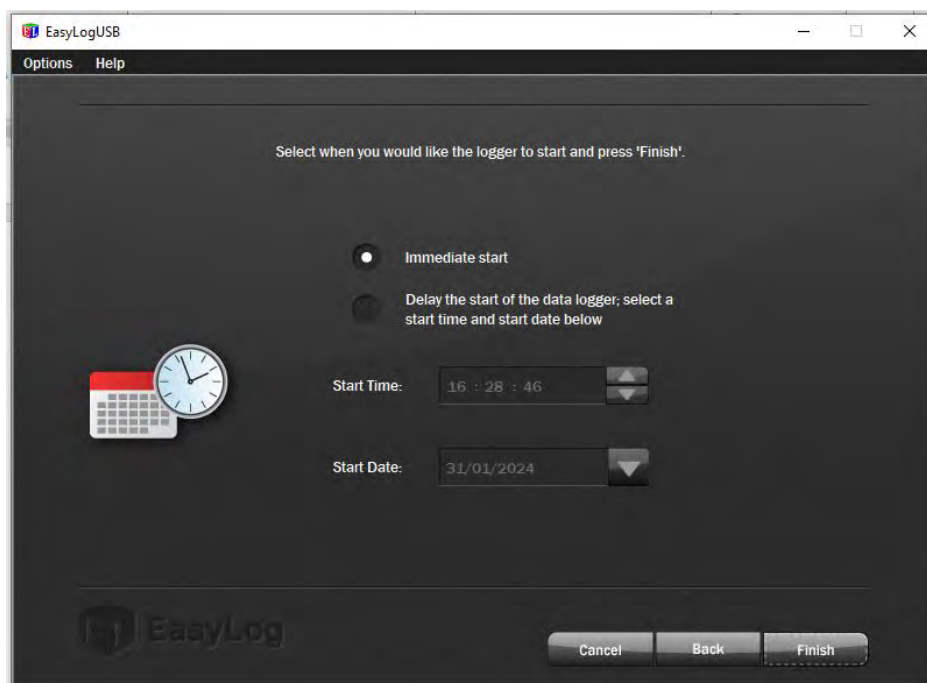


Imagen 29: Interfaz del encendido del instrumento.

Por último, se nos avisa de la correcta configuración del instrumento para su utilización.

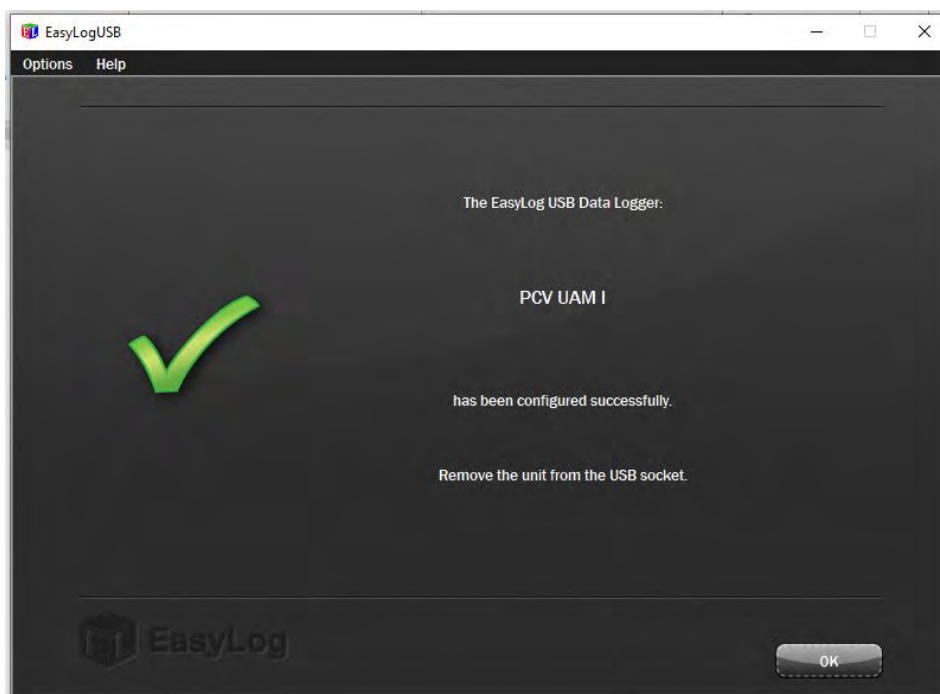


Imagen 30: Interfaz de la configuración terminada del instrumento.

Cuando se termina de utilizar el instrumento, se procede al registro de la información recabada mediante el software, se inserta la USB en la PC o laptop y se selecciona la segunda opción de la interfaz inicial.

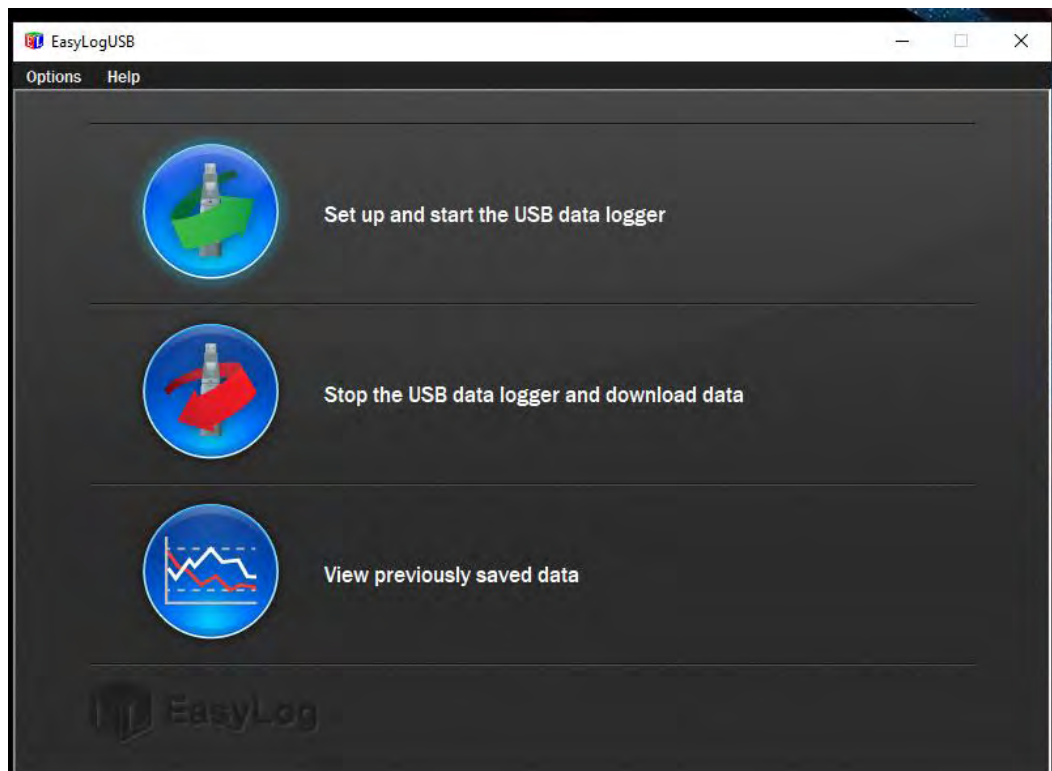


Imagen 31: Interfaz inicial del software.

Por último, se indica que se detuvo el *data logger* y se descargaron los registros obtenidos durante el periodo programado, posteriormente estos datos se pueden revisar en cualquier momento con la opción “View previously saved data” en la que se mostrarán diversas opciones para la visualización de los registros, ya sean como tabla de valores o como gráficas de puntos.

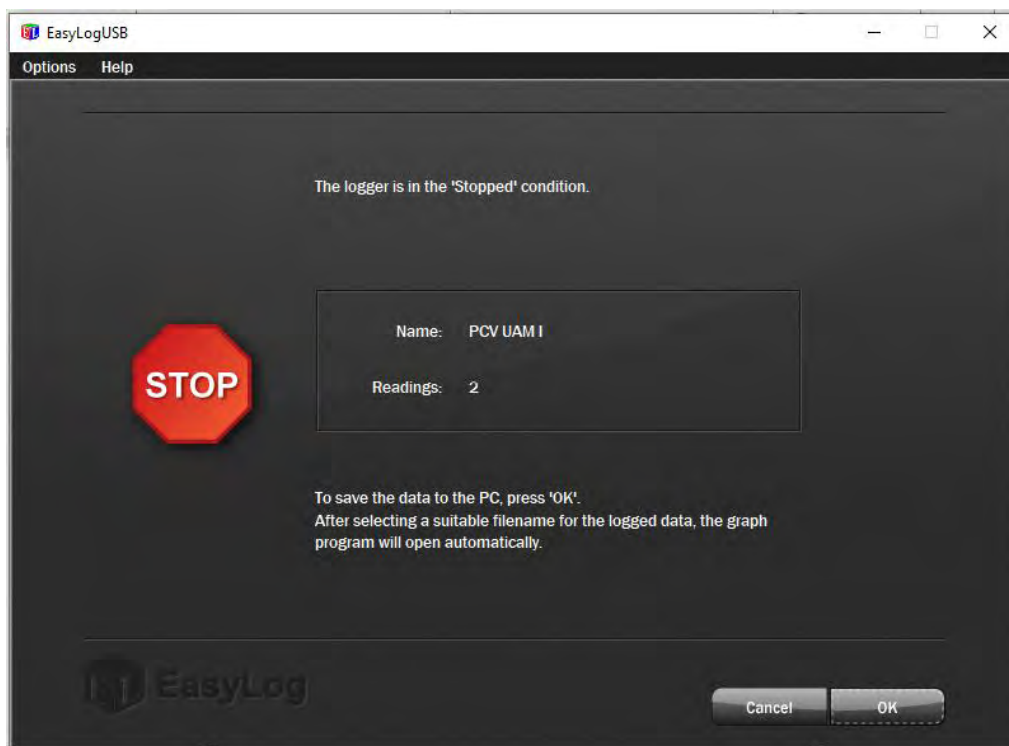


Imagen 32: Interfaz de los registros descargados.



Imagen 33: Interfaz de la opción de visualización de los registros descargados.

3.3 Preliminares

El objetivo principal del trabajo de investigación planteado es la concepción y el desarrollo de un método que nos permita identificar y cuantificar el fenómeno ambiental conocido como Isla de Calor Urbana (UHI en inglés) en cualquier entorno o contexto de carácter rural o urbano, por lo cual, este método se desarrolló en la zona Habitacional Viveros de la Loma, localizada en el municipio de Tlalnepantla de Baz, en el Estado de México, ya que se encuentra en la zona metropolitana de la Ciudad de México.



Imagen 34: Habitacional Viveros de la Loma, Tlalnepantla de Baz, Estado de México.
Fuente: Google Maps, 2023.

Se trata de un ambiente urbano con características topográficas muy peculiares, en lo alto de un monte, con pendientes o bajadas de más del 10%; por tratarse de una zona de fácil acceso vial sus características permiten realizar el desarrollo de la propuesta.

3.3.1 Propuesta de Transecto

Para ilustrar la estrategia de recorrido y la selección de puntos de medición, se define un transecto específico en el área de estudio. La siguiente imagen muestra el trazado propuesto que será utilizado para los experimentos preliminares y la validación de instrumentos.

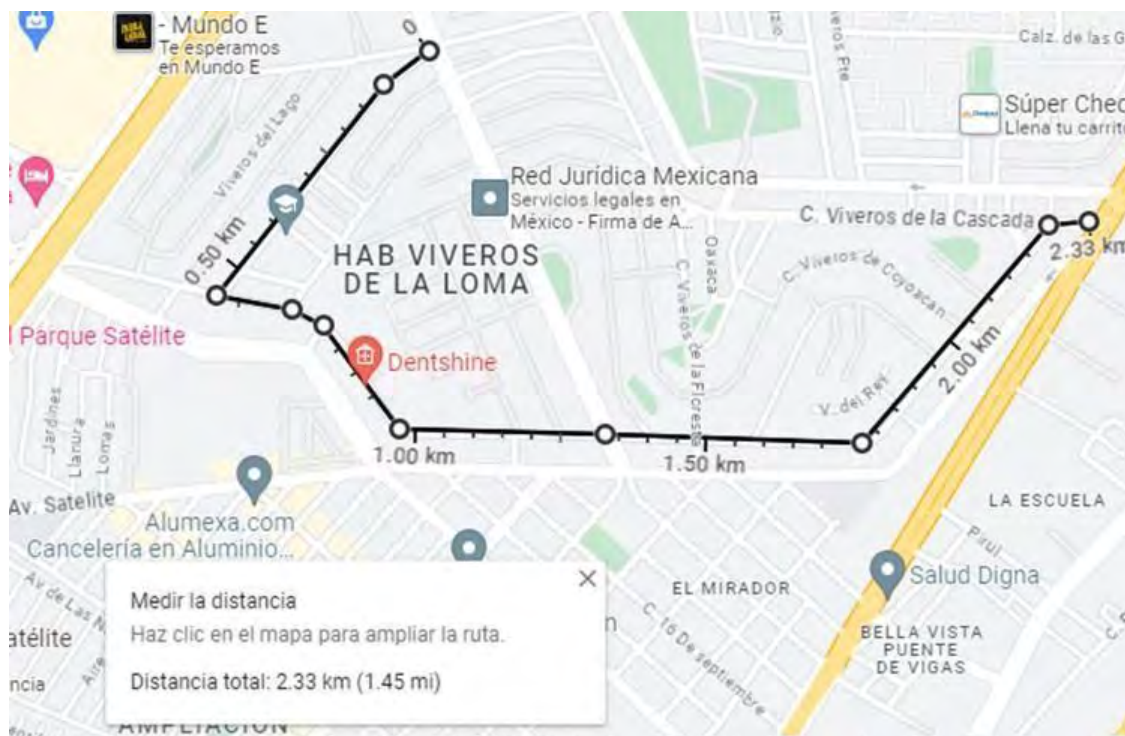


Imagen 35: Habitacional Viveros de la Loma, Tlalnepantla de Baz, Estado de México.
Fuente: Google Maps, 2023.

La ruta establecida para el recorrido parte del cruce entre las avenidas Viveros de Atizapán, Viveros de Tlalnepantla y la calle Sor Juana Inés de la Cruz, cruce importante ya que esta avenida se conecta con el Anillo Periférico y alberga una gran cantidad de vehículos provenientes de este y otros municipios hacia la Ciudad de México, entrando por la Alcaldía de Azcapotzalco. Este cruce de avenidas se tomó como el punto de control para realizar la comparativa de datos entre este punto y los diferentes puntos del transecto, como sugerencia realizada por el Dr. Fuentes. Se inicia la toma de mediciones en la calle Viveros de Tlalnepantla hasta la calle Viveros de Asís, hasta llegar a la avenida Gustavo Baz, con un recorrido aproximado de 2.33 Km

A continuación, se describen los diferentes experimentos realizados de la toma de mediciones para tratar de encontrar la existencia de la Isla de Calor Urbana (UHI) en nuestro sitio de desarrollo de la metodología, cabe recalcar que este sitio solo sirvió para probar las mediciones realizadas con los instrumentos empleados en la investigación y para verificar los métodos usados para esta captura de información, encontrar las ventajas y desventajas que nos permitan concebir una nueva metodología para el análisis de este fenómeno ambiental.



Imagen 36: Propuesta de transecto de estudio en Habitacional Viveros de la Loma.
Fuente: Google Maps, 2023.

Para estos trabajos se adicionó un sustento fotográfico y de video para captar imágenes de la temperatura de los diversos elementos que componen el cañón urbano y determinar si se trata de un factor importante que influye en la formación y presencia de la Isla de Calor Urbana, asimismo estas imágenes muestran la temperatura que presentan debido a la radiación solar sobre éstos.

En este trabajo se revisarán todos los aspectos que se involucran en la medición del recorrido con la finalidad de obtener un método que sea de lo práctico posible y que nos permita tratar de obtener los datos sin la influencia de factores que nosotros mismos proporcionemos, como el realizar los recorridos a pie o en vehículo, llevar el instrumento de medición en la mano o el bolsillo de la camisa, si se pone en el techo o en el espejo retrovisor del vehículo, entre otras variables.

3.3.2 Recorrido vehicular

El primero de los experimentos que se realizó fue el recorrido del transecto en vehículo para la captura de datos ambientales. Se realizaron tres recorridos para la medición de la temperatura, utilizando un vehículo Kia Río 2021, al que se le colocó en la antena de la radio (ubicada en la parte posterior del toldo del vehículo) una EL-USB 2 para la obtención de los datos ambientales, el *data logger* se programó con intervalos de lectura a cada 10 segundos; por otra parte, se colocó un dispositivo de iguales características físicas y de programación en el punto de control como

referencia climática para la comparativa de datos. El recorrido se realizó a una velocidad de 10 Km/h aproximadamente, con pequeñas variaciones debido a los reductores de velocidad de las calles, así como algunos semáforos durante el trayecto.



Imagen 37: Tablero del vehículo indicando el velocímetro.

Por otra parte, en la siguiente imagen se puede apreciar el dispositivo EL USB 2 colocado en la antena del automóvil, ubicada en la parte superior trasera, para la toma de lecturas del recorrido realizado; cabe señalar que se evaluará la lectura del dispositivo ya que hay que tomar en cuenta si la radiación emitida sobre la superficie del vehículo, en este caso el toldo, puede afectar de manera indirecta el registro de la investigación.



Imagen 38: Colocación del dispositivo EL USB 2 en la antena del auto

Durante el recorrido se realizó la toma de video con la cámara termográfica en puntos estratégicos del transecto para ver y analizar la forma en que la radiación solar se presenta en el cañón urbano, a partir de los diversos videos se tomarán fotogramas para anexarlos en este trabajo con el objetivo de determinar la temperatura existente en la superficie de los materiales y su contribución en la formación de la UHI en nuestro sitio de estudio.

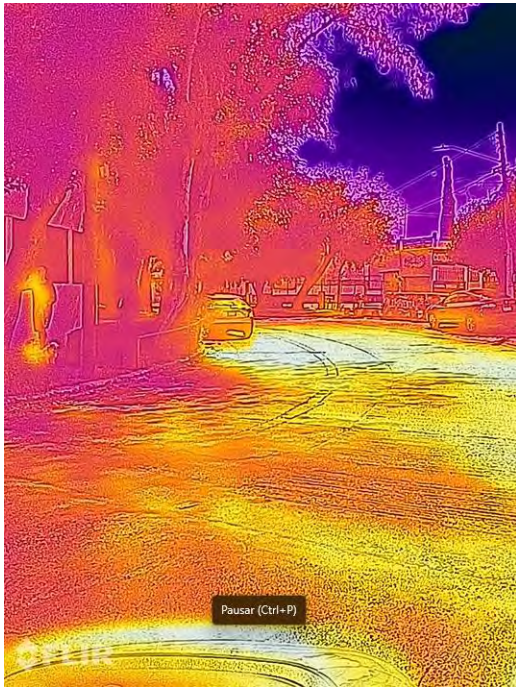


Imagen 39 y 40: Imágenes termográficas del recorrido.

En estos fotogramas se anexarán las tablas de temperatura correspondientes para conocer los registros térmicos obtenidos durante los diversos recorridos realizados, indicar mediante la paleta de colores la temperatura registrada; cabe señalar que la cámara termográfica fue calibrada y puesta en punto para realizar los registros en grados Celsius o centígrados, además de que se están explorando las diversas opciones que nos presenta ya en la práctica, es decir, se requiere de muchos ensayos que nos permitan manejar este instrumento de manera óptima para que el estudio tenga una base sólida respecto a la información obtenida y nos permita determinar las condiciones ambientales que se presentan durante la formación de este fenómeno ambiental.

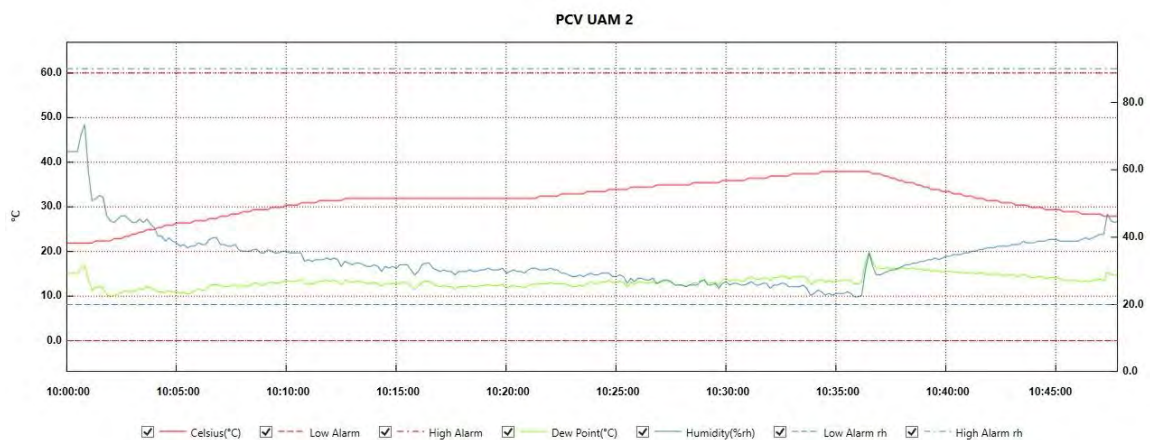
La siguiente imagen muestra la escala térmica que detecta el sensor de la aplicación de la cámara térmica, se puede apreciar la paleta de colores donde la temperatura máxima registrada es de 54.4 °C y la temperatura mínima de -24.7 °C.



Imagen 41: Imagen termográfica con escala de temperatura.

A continuación, se presentan los resultados de los tres recorridos realizados el día 22 de octubre del año 2023, a las 10:03, 12:03 y 14:03 horas, con sus gráficas y datos en tablas en Excel.

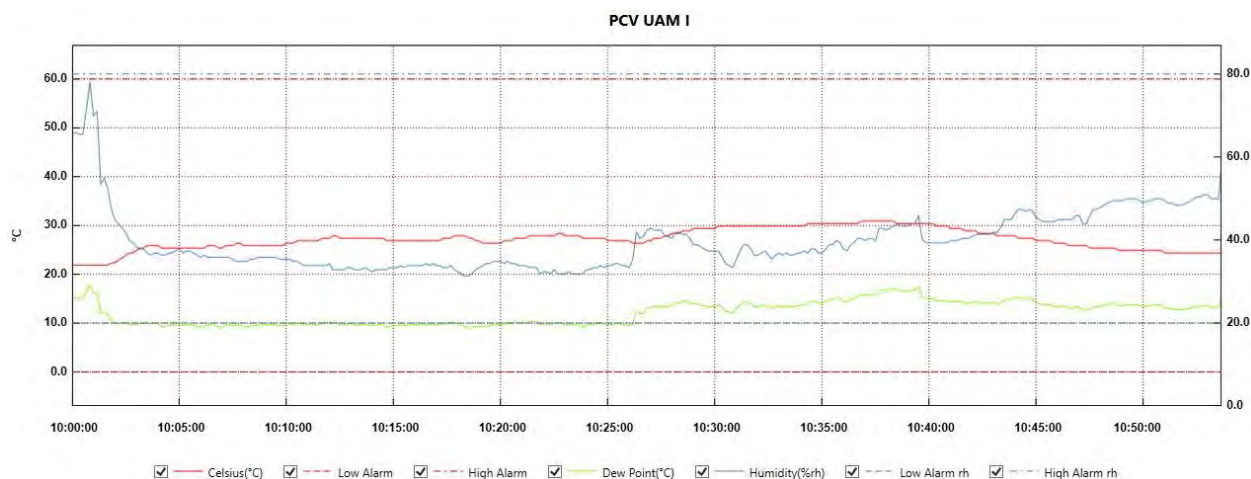
Experimento no. 01 - 10:03 hr - Punto de control



From: domingo, 22 de octubre de 2023 10:00:00 a. m. - To: domingo, 22 de octubre de 2023 10:47:50 a. m.

Imagen 42: Grafica del *data logger* del punto de control.

Recorrido



From: domingo, 22 de octubre de 2023 10:00:00 a. m. - To: domingo, 22 de octubre de 2023 10:53:40 a. m.

Español (España, internacional)
Teclado Latinoamérica

Imagen 43: Grafica del *data logger* del recorrido.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA								
UNIDAD AZCAPOTZALCO								
POSGRADO EN DISEÑO								
DOCTORADO EN DISEÑO BIOCLIMÁTICO								
REGISTRO COMPARATIVO DE LOS DATA LOGGERS PARA LA DETERMINACIÓN DE								
LA PRESENCIA DE LA UHI EN LA ZONA EXPERIMENTAL DE ESTUDIO								
	Fecha	Data Logger Punto de Control			Data Logger Recorrido			
	22/10/2023	(No. de serie 65051885)			(No. de serie 65058456)			Diferencia
Registro	Hora	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%rh)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%rh)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)
1	10:00:00 a. m.	22.0	65.5	15.2	22.0	65.5	15.2	0.0
2	10:00:10 a. m.	22.0	65.5	15.2	22.0	66.0	15.4	0.0
3	10:00:20 a. m.	22.0	65.5	15.2	22.0	65.5	15.2	0.0
4	10:00:30 a. m.	22.0	65.5	15.2	22.0	65.5	15.2	0.0
5	10:00:40 a. m.	22.0	70.5	16.4	22.0	71.5	16.6	0.0
6	10:00:50 a. m.	22.0	73.5	17.0	22.0	78.0	18.0	0.0
7	10:01:00 a. m.	22.0	59.5	13.8	22.0	70.0	16.3	0.0
8	10:01:10 a. m.	22.0	51.0	11.4	22.0	71.0	16.5	0.0
9	10:01:20 a. m.	22.5	51.5	12.0	22.0	53.5	12.1	0.5
10	10:01:30 a. m.	22.5	52.5	12.3	22.0	55.0	12.5	0.5
11	10:01:40 a. m.	22.5	52.0	12.2	22.0	52.5	11.8	0.5
12	10:01:50 a. m.	22.5	46.5	10.5	22.5	47.5	10.8	0.0
13	10:02:00 a. m.	22.5	45.0	10.0	22.5	45.0	10.0	0.0
14	10:02:10 a. m.	23.0	44.5	10.3	23.0	44.0	10.1	0.0
15	10:02:20 a. m.	23.0	45.5	10.6	23.5	43.0	10.2	-0.5
16	10:02:30 a. m.	23.0	46.5	10.9	24.0	42.0	10.3	-1.0

Tabla 5: Fragmento de la tabla de valores en Excel.

Experimento no. 02 - 12:03 hr - Punto de control

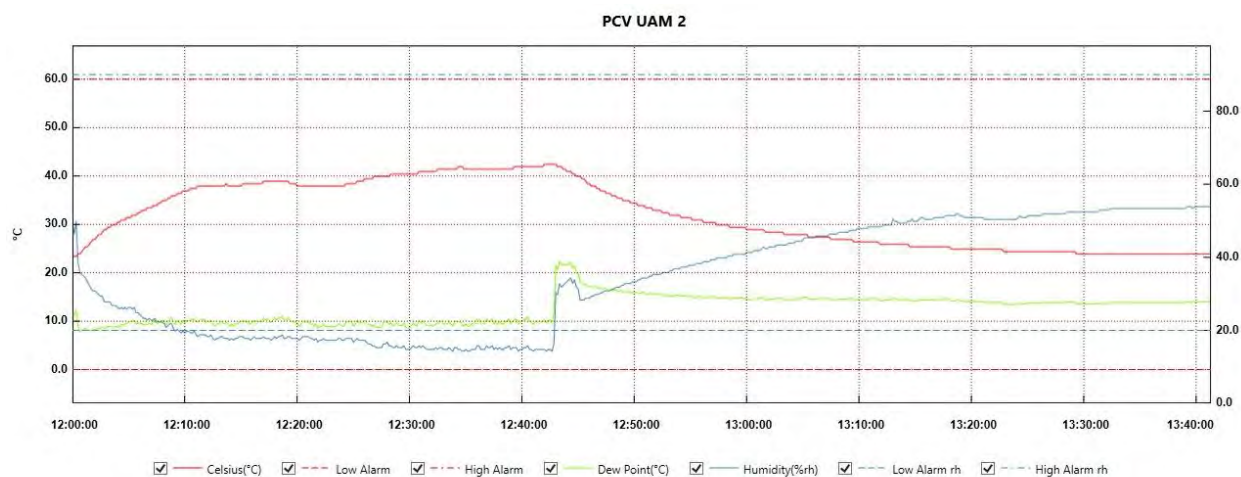


Imagen 44: Grafica del *data logger* del punto de control.

Recorrido

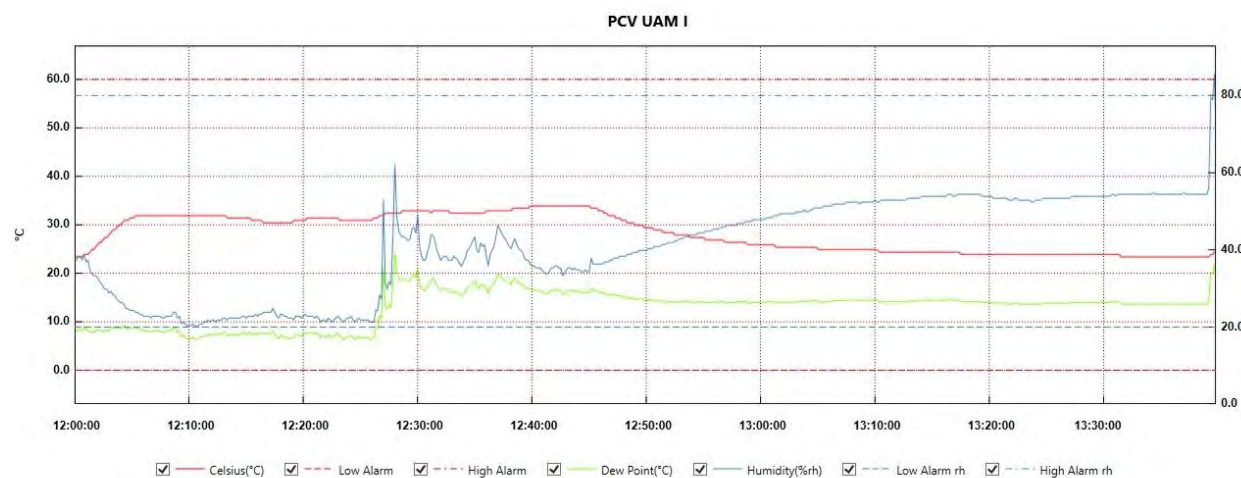
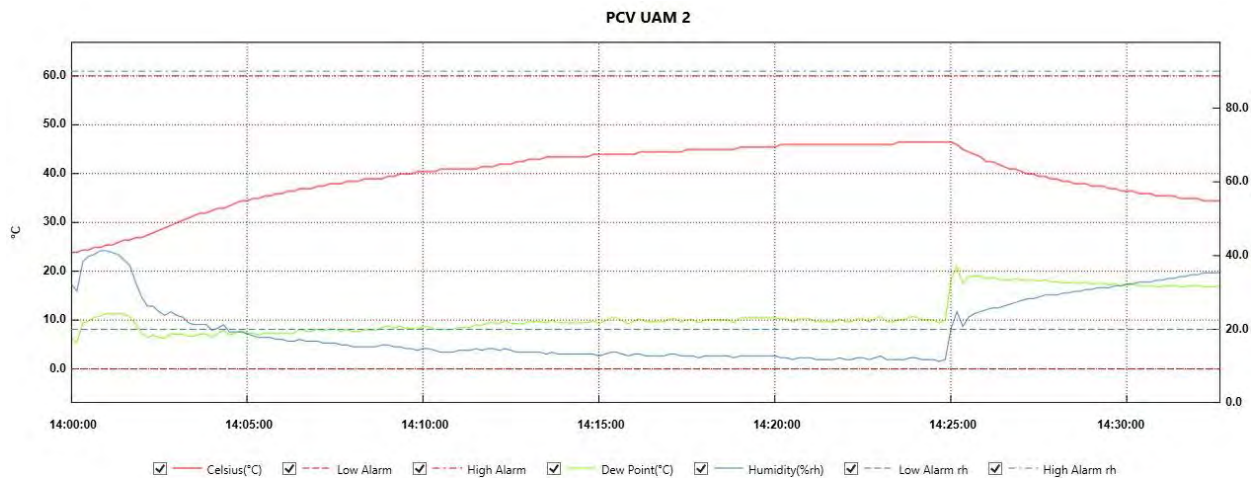


Imagen 45: Grafica del *data logger* del recorrido.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA								
UNIDAD AZCAPOTZALCO								
POSGRADO EN DISEÑO								
DOCTORADO EN DISEÑO BIOCLIMÁTICO								
REGISTRO COMPARATIVO DE LOS DATA LOGGERS PARA LA								
LA PRESENCIA DE LA UHI EN LA ZONA EXPERIMENTAL DE ESTUDIO								
	Fecha	Data Logger Punto de Control			Data Logger Recorrido			
	22/10/2023	(No. de serie 65051885)			(No. de serie 65058456)			Diferencia
Registro	Hora	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%rh)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%rh)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)
1	12:00:00 p. m.	23.5	49.5	12.3	23.5	37.5	8.2	0.0
2	12:00:10 p. m.	23.5	46.5	11.4	23.5	37.5	8.2	0.0
3	12:00:20 p. m.	23.5	50.0	12.5	23.5	38.5	8.6	0.0
4	12:00:30 p. m.	24.0	38.5	9.0	23.5	38.5	8.6	0.5
5	12:00:40 p. m.	24.0	36.0	8.0	23.5	37.5	8.2	0.5
6	12:00:50 p. m.	24.5	35.5	8.3	24.0	39.0	9.2	0.5
7	12:01:00 p. m.	25.0	35.0	8.5	24.0	37.0	8.4	1.0
8	12:01:10 p. m.	25.5	34.5	8.7	24.0	37.5	8.6	1.5
9	12:01:20 p. m.	25.5	33.5	8.3	24.5	35.0	8.0	1.0
10	12:01:30 p. m.	26.0	32.5	8.3	25.0	34.0	8.1	1.0
11	12:01:40 p. m.	26.5	31.5	8.2	25.0	33.5	7.8	1.5
12	12:01:50 p. m.	27.0	31.0	8.4	25.5	33.5	8.3	1.5
13	12:02:00 p. m.	27.0	31.0	8.4	26.0	33.0	8.5	1.0
14	12:02:10 p. m.	27.5	30.5	8.6	26.5	32.0	8.5	1.0
15	12:02:20 p. m.	28.0	30.0	8.8	26.5	31.5	8.2	1.5
16	12:02:30 p. m.	28.0	29.5	8.6	27.0	30.5	8.2	1.0

Tabla 6: Fragmento de la tabla de valores en Excel.

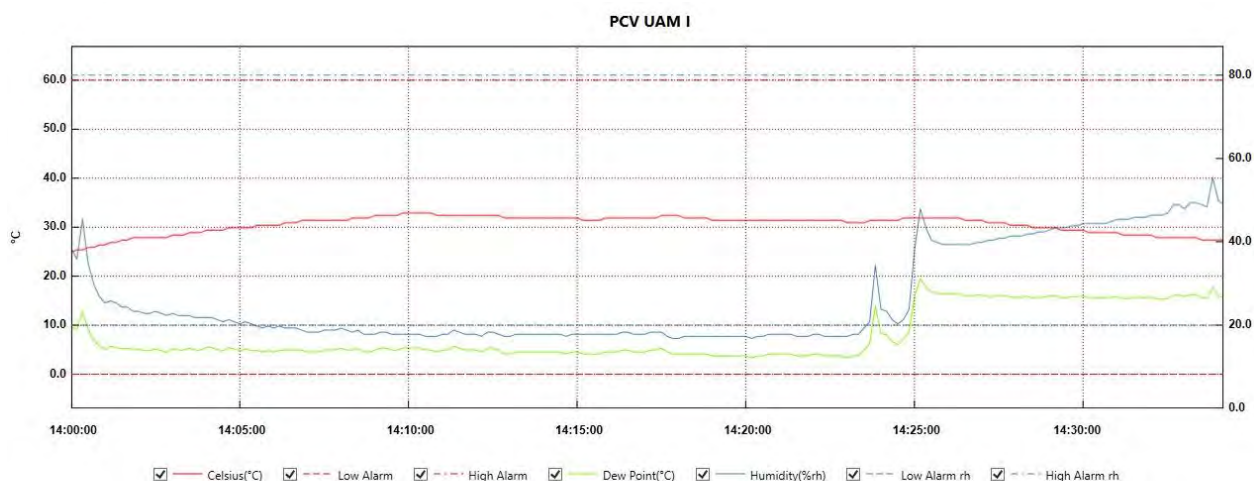
Experimento no. 03 - 14:03 hr - Punto de control



From: domingo, 22 de octubre de 2023 02:00:00 p. m. - To: domingo, 22 de octubre de 2023 02:32:40 p. m.

Imagen 46: Grafica del *data logger* del punto de control.

Recorrido



From: domingo, 22 de octubre de 2023 02:00:00 p. m. - To: domingo, 22 de octubre de 2023 02:34:10 p. m.

Imagen 47: Grafica del *data logger* del recorrido.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA								
UNIDAD AZCAPOTZALCO								
POSGRADO EN DISEÑO								
DOCTORADO EN DISEÑO BIOCLIMÁTICO								
REGISTRO COMPARATIVO DE LOS DATA LOGGERS PARA LA								
LA PRESENCIA DE LA UHI EN LA ZONA EXPERIMENTAL DE ESTUDIO								
	Fecha	Data Logger Punto de Control			Data Logger Recorrido			
	22/10/2023	(No. de serie 65051885)			(No. de serie 65058456)			Diferencia
Registro	Hora	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%rh)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%rh)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)
1	02:00:00 p. m.	24.0	32.5	6.5	25.0	38.5	9.9	-1.0
2	02:00:10 p. m.	24.0	30.5	5.6	25.5	36.0	9.3	-1.5
3	02:00:20 p. m.	24.5	38.5	9.5	25.5	45.5	12.9	-1.0
4	02:00:30 p. m.	24.5	40.0	10.0	26.0	35.0	9.4	-1.5
5	02:00:40 p. m.	25.0	40.5	10.7	26.0	30.0	7.1	-1.0
6	02:00:50 p. m.	25.0	41.5	11.0	26.5	27.0	6.0	-1.5
7	02:01:00 p. m.	25.5	41.5	11.5	26.5	25.5	5.2	-1.0
8	02:01:10 p. m.	25.5	41.0	11.3	27.0	26.0	5.9	-1.5
9	02:01:20 p. m.	26.0	40.5	11.5	27.0	25.5	5.6	-1.0
10	02:01:30 p. m.	26.5	39.0	11.4	27.5	24.5	5.4	-1.0
11	02:01:40 p. m.	26.5	37.5	10.8	27.5	24.5	5.4	-1.0
12	02:01:50 p. m.	27.0	33.0	9.4	28.0	23.5	5.3	-1.0
13	02:02:00 p. m.	27.0	29.0	7.5	28.0	23.5	5.3	-1.0
14	02:02:10 p. m.	27.5	26.5	6.6	28.0	23.0	5.0	-0.5
15	02:02:20 p. m.	28.0	26.5	7.0	28.0	23.0	5.0	0.0
16	02:02:30 p. m.	28.5	25.0	6.6	28.0	23.5	5.3	0.5
17	02:02:40 p. m.	29.0	24.0	6.4	28.0	23.0	5.0	1.0
18	02:02:50 p. m.	29.5	25.0	7.4	28.0	22.5	4.6	1.5

Tabla 7: Fragmento de la tabla de valores en Excel.

Los registros observados marcan una diferencia de hasta 9°C entre el punto de control y el *data logger* del recorrido, se analizarán los factores que determinan esta diferencia y la composición urbano-arquitectónica del cañón urbano.

En el experimento vehicular encontramos las siguientes dificultades para la realización del registro de los datos ambientales:

1. La radiación solar que recibe el *data logger* por el toldo del vehículo provoca un incremento en la lectura del instrumento, lo que se ve reflejado en las diferencias de temperaturas de los dispositivos utilizados en el experimento.
2. La velocidad del vehículo es un poco difícil de mantener ya que se entorpece el tránsito por ir a baja velocidad, además de llegar casi a velocidad 0 cuando se pasa por un reductor de velocidad.
3. El registro de la temperatura se ve influenciada por la velocidad del viento ya que esta se incrementa por el movimiento vehicular, lo que altera la lectura de las muestras recogidas.
4. Debido al proceso de salvado de la información, el *data logger* se apagó 20 minutos después de concluido el recorrido, lo que amplió el número de registros que posteriormente se depuraron.

Por otra parte, en el punto de control se observaron las siguientes circunstancias:

1. El *data logger* se colocó sobre un muro, por lo que recibió la radiación solar de manera más directa hasta el punto de calentarlo en su superficie, lo que alteró el registro realizado.
2. El *data logger* no recibió la debida ventilación natural por estar colocado directamente sobre la superficie del muro.
3. Al igual que el *data logger* vehicular, el dispositivo se apagó después de unos 25 minutos debido al tiempo que tardé en llegar al punto de control para desactivarlo.

Este experimento nos fue muy útil ya que la experiencia que nos deja permite practicar más en cuanto a la utilización de los instrumentos empleados, la colocación del *data logger* en el vehículo

debe ser en un sitio que no reciba tanta radiación solar para que el registro no se vea alterado; asimismo en el punto de control, deberá colocarse en un lugar alto y alejado de una superficie que refleje la radiación solar, además, colocarse a la sombra para que el dispositivo no se caliente por la radiación recibida. El uso de la cámara termográfica para este caso fue incipiente, los primeros intentos que se realizaron fueron para obtener un par de videos sobre el vehículo en movimiento con la intención de conocer su funcionamiento y de conocer las imágenes termográficas de los diferentes elementos que componen al cañón urbano.

3.3.3 Recorrido a pie

Se realizaron un par de recorridos a pie para verificar este método y hacer una comparativa con respecto al método en vehículo, se prepararon dos *data logger* para este experimento, uno en el punto de control y el otro para el recorrido. Los recorridos se realizaron a las 11:00 y 13:00 horas respectivamente, los preparativos que se hicieron fueron los siguientes:

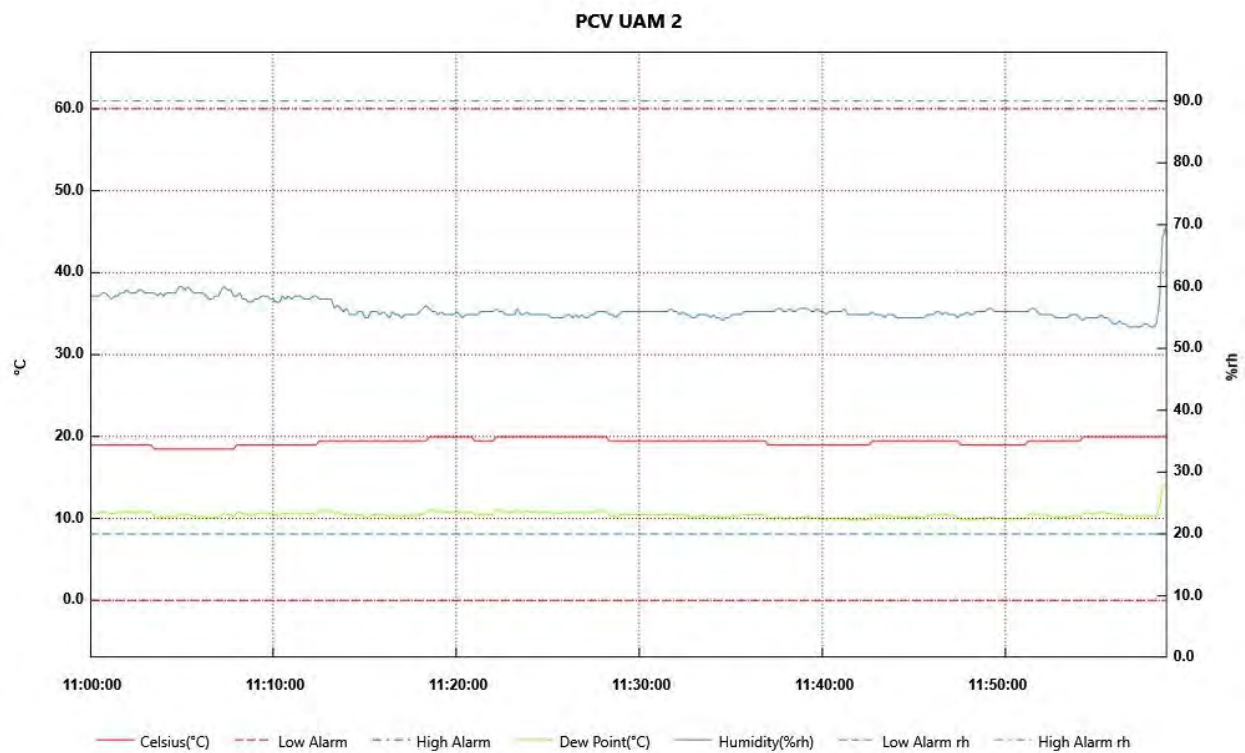
En el punto de control se colocó el *data logger* sobre un palo de escoba para alcanzar una altura de 3.50 m y en un sitio que estaba a la sombra para evitar el calentamiento del instrumento.



Imagen 48: *Data logger* en el punto de control.

El *data logger* del recorrido se colocó sobre una canaleta y esta a su vez sobre la espalda del investigador para realizar el trayecto correspondiente. A continuación, los resultados obtenidos.

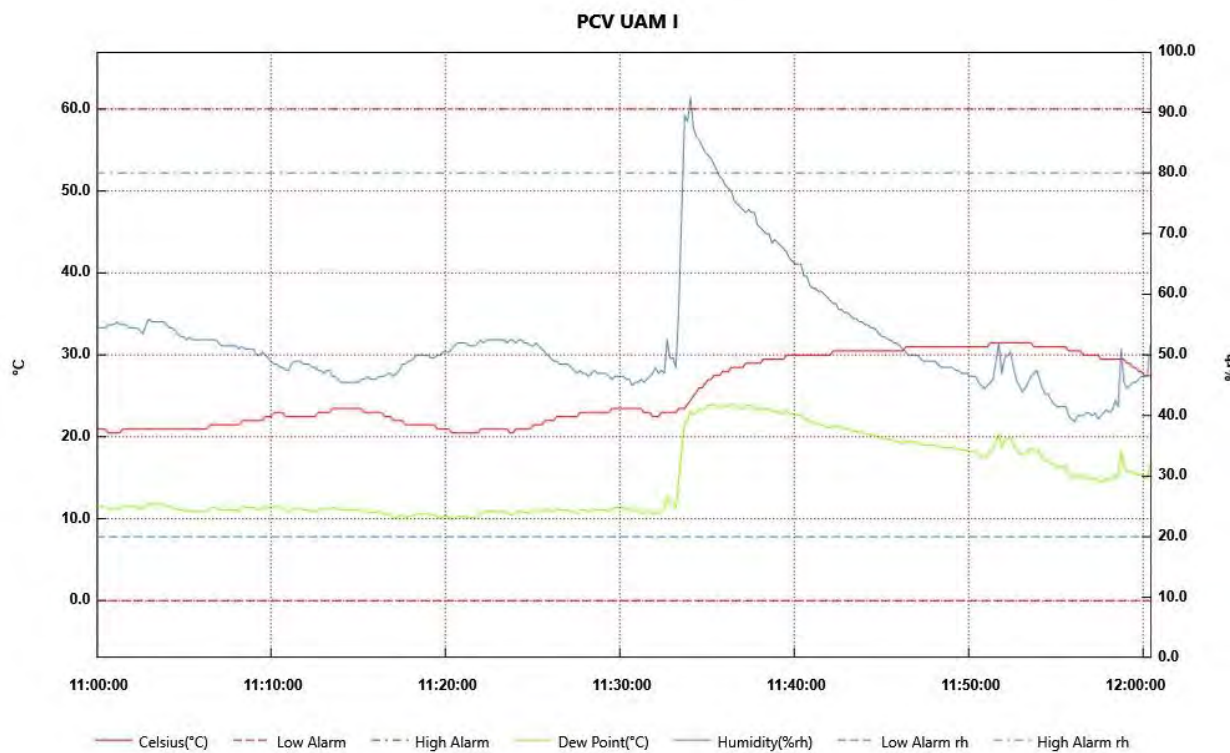
Punto de control no. 01 - 11:04 hr



From: martes, 5 de diciembre de 2023 11:00:00 a. m. - To: martes, 5 de diciembre de 2023 11:58:50 a. m.

Imagen 49: Grafica del *data logger* del punto de control.

Recorrido no. 01 - 11:04 hr



From: martes, 5 de diciembre de 2023 11:00:00 a. m. - To: martes, 5 de diciembre de 2023 12:00:30 p. m.

Imagen 50: Grafica del *data logger* del recorrido.

Tabla de registro

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA								
UNIDAD AZCAPOTZALCO								
POSGRADO EN DISEÑO								
DOCTORADO EN DISEÑO BIOCLIMÁTICO								
REGISTRO COMPARATIVO DE LOS DATA LOGGERS PARA LA								
PRESENCIA DE LA UHI EN LA ZONA EXPERIMENTAL DE ESTUDIO								
	Fecha	Data Logger Punto de Control			Data Logger Recorrido			
	22/10/2023	(No. de serie 65051885)			(No. de serie 65058456)			Diferencia
Registro	Hora	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%rh)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%rh)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)
1	11:00:00 a. m.	19.0	58.5	10.7	21.0	54.5	11.5	-2.0
2	11:00:10 a. m.	19.0	58.5	10.7	21.0	54.5	11.5	-2.0
3	11:00:20 a. m.	19.0	58.5	10.7	21.0	54.5	11.5	-2.0
4	11:00:30 a. m.	19.0	58.5	10.7	21.0	54.5	11.5	-2.0
5	11:00:40 a. m.	19.0	59.0	10.8	20.5	55.0	11.2	-1.5
6	11:00:50 a. m.	19.0	59.0	10.8	20.5	55.0	11.2	-1.5
7	11:01:00 a. m.	19.0	58.5	10.7	20.5	55.0	11.2	-1.5
8	11:01:10 a. m.	19.0	58.0	10.6	20.5	55.5	11.3	-1.5
9	11:01:20 a. m.	19.0	58.5	10.7	20.5	55.0	11.2	-1.5
10	11:01:30 a. m.	19.0	58.5	10.7	21.0	55.0	11.6	-2.0
11	11:01:40 a. m.	19.0	59.0	10.8	21.0	55.0	11.6	-2.0
12	11:01:50 a. m.	19.0	59.0	10.8	21.0	54.5	11.5	-2.0
13	11:02:00 a. m.	19.0	59.5	10.9	21.0	54.5	11.5	-2.0
14	11:02:10 a. m.	19.0	59.0	10.8	21.0	54.5	11.5	-2.0
15	11:02:20 a. m.	19.0	59.0	10.8	21.0	54.5	11.5	-2.0
16	11:02:30 a. m.	19.0	59.0	10.8	21.0	54.0	11.3	-2.0
17	11:02:40 a. m.	19.0	59.5	10.9	21.0	53.5	11.2	-2.0
18	11:02:50 a. m.	19.0	59.5	10.9	21.0	55.0	11.6	-2.0
19	11:03:00 a. m.	19.0	59.0	10.8	21.0	56.0	11.9	-2.0
20	11:03:10 a. m.	19.0	59.0	10.8	21.0	55.5	11.8	-2.0
21	11:03:20 a. m.	19.0	59.0	10.8	21.0	55.5	11.8	-2.0
22	11:03:30 a. m.	18.5	59.0	10.3	21.0	55.5	11.8	-2.5
23	11:03:40 a. m.	18.5	58.5	10.2	21.0	55.5	11.8	-2.5
24	11:03:50 a. m.	18.5	59.0	10.3	21.0	55.5	11.8	-2.5
25	11:04:00 a. m.	18.5	58.5	10.2	21.0	55.0	11.6	-2.5
26	11:04:10 a. m.	18.5	59.0	10.3	21.0	54.5	11.5	-2.5
27	11:04:20 a. m.	18.5	59.0	10.3	21.0	54.5	11.5	-2.5
28	11:04:30 a. m.	18.5	59.0	10.3	21.0	54.0	11.3	-2.5
29	11:04:40 a. m.	18.5	59.0	10.3	21.0	53.5	11.2	-2.5
30	11:04:50 a. m.	18.5	60.0	10.6	21.0	53.0	11.1	-2.5
31	11:05:00 a. m.	18.5	60.0	10.6	21.0	53.0	11.1	-2.5
32	11:05:10 a. m.	18.5	59.5	10.5	21.0	52.5	10.9	-2.5
33	11:05:20 a. m.	18.5	60.0	10.6	21.0	53.0	11.1	-2.5
34	11:05:30 a. m.	18.5	59.5	10.5	21.0	52.5	10.9	-2.5
35	11:05:40 a. m.	18.5	59.0	10.3	21.0	52.5	10.9	-2.5
36	11:05:50 a. m.	18.5	59.0	10.3	21.0	52.5	10.9	-2.5
37	11:06:00 a. m.	18.5	59.0	10.3	21.0	52.5	10.9	-2.5
38	11:06:10 a. m.	18.5	59.0	10.3	21.0	52.5	10.9	-2.5

Tabla 8: Fragmento de la tabla de valores en Excel.

Punto de control no. 02 - 13:04 hr

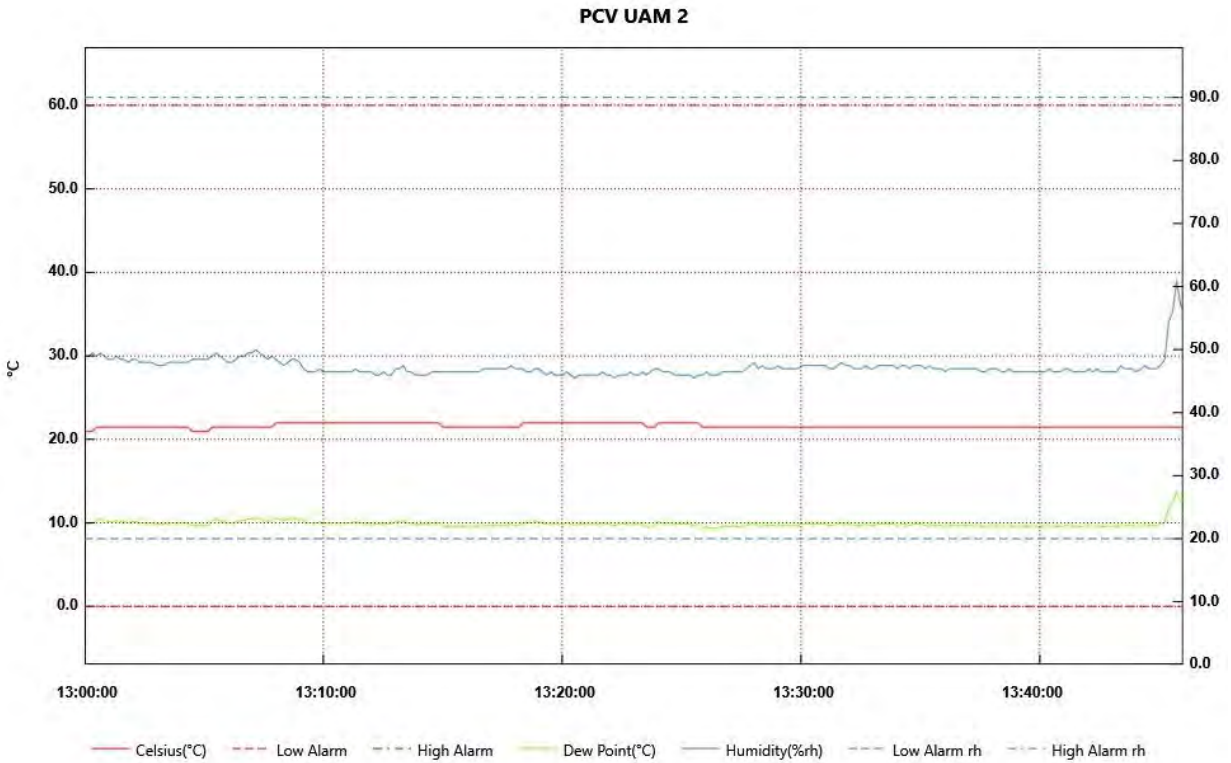


Imagen 51: Grafica del *data logger* del punto de control.

Recorrido no. 02 - 13:04 hr

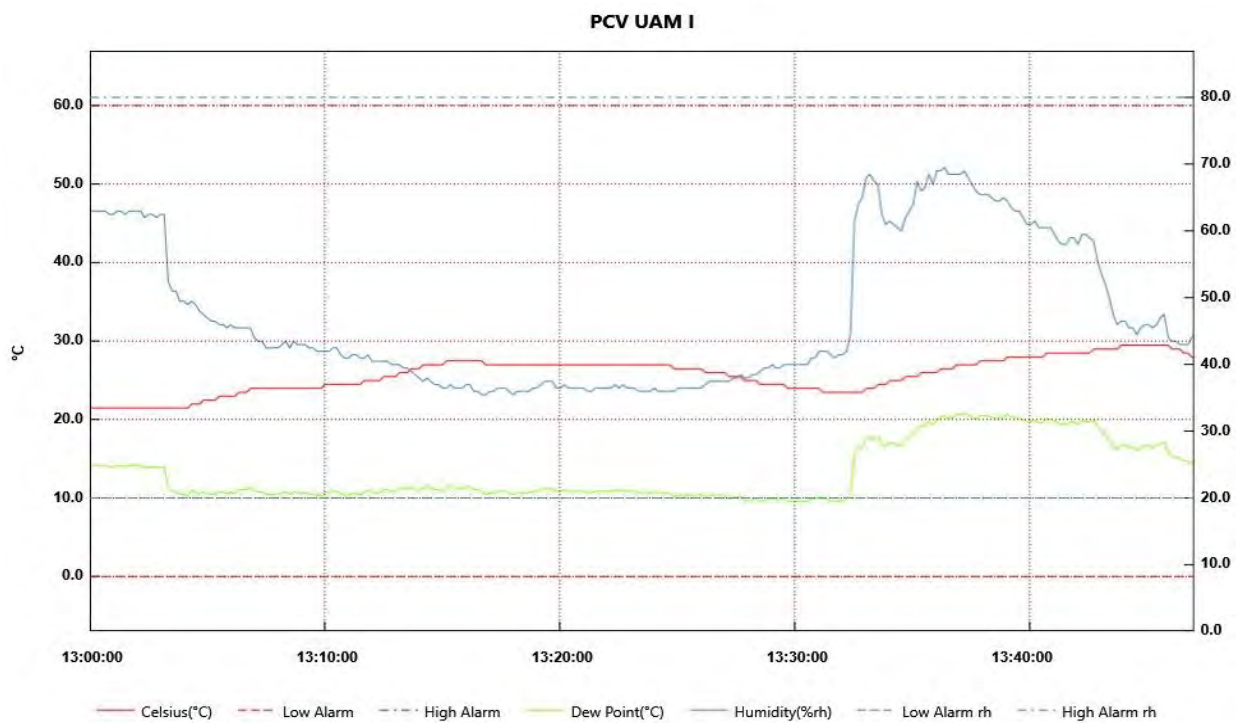


Imagen 52: Grafica del *data logger* del recorrido.

Tabla de registro

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA								
UNIDAD AZCAPOTZALCO								
POSGRADO EN DISEÑO								
DOCTORADO EN DISEÑO BIOCLIMÁTICO								
REGISTRO COMPARATIVO DE LOS DATA LOGGERS PARA LA								
PRESENCIA DE LA UHI EN LA ZONA EXPERIMENTAL DE ESTUDIO								
	Fecha	Data Logger Punto de Control			Data Logger Recorrido			
	22/10/2023	(No. de serie 65051885)			(No. de serie 65058456)			Diferencia
Registro	Hora	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%rh)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%rh)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)
1	01:00:00 p. m.	21.0	49.0	9.9	21.5	63.0	14.2	-0.5
2	01:00:10 p. m.	21.0	49.0	9.9	21.5	63.0	14.2	-0.5
3	01:00:20 p. m.	21.0	49.5	10.0	21.5	63.0	14.2	-0.5
4	01:00:30 p. m.	21.5	49.0	10.3	21.5	63.0	14.2	0.0
5	01:00:40 p. m.	21.5	49.5	10.5	21.5	63.0	14.2	0.0
6	01:00:50 p. m.	21.5	49.0	10.3	21.5	62.5	14.0	0.0
7	01:01:00 p. m.	21.5	48.5	10.2	21.5	62.5	14.0	0.0
8	01:01:10 p. m.	21.5	48.5	10.2	21.5	63.0	14.2	0.0
9	01:01:20 p. m.	21.5	49.0	10.3	21.5	63.0	14.2	0.0
10	01:01:30 p. m.	21.5	48.5	10.2	21.5	62.5	14.0	0.0
11	01:01:40 p. m.	21.5	48.5	10.2	21.5	63.0	14.2	0.0
12	01:01:50 p. m.	21.5	48.0	10.0	21.5	63.0	14.2	0.0
13	01:02:00 p. m.	21.5	48.5	10.2	21.5	63.0	14.2	0.0
14	01:02:10 p. m.	21.5	48.5	10.2	21.5	63.0	14.2	0.0
15	01:02:20 p. m.	21.5	48.0	10.0	21.5	62.0	13.9	0.0
16	01:02:30 p. m.	21.5	48.0	10.0	21.5	62.5	14.0	0.0
17	01:02:40 p. m.	21.5	48.0	10.0	21.5	62.5	14.0	0.0
18	01:02:50 p. m.	21.5	48.0	10.0	21.5	62.0	13.9	0.0
19	01:03:00 p. m.	21.5	47.5	9.9	21.5	62.5	14.0	0.0
20	01:03:10 p. m.	21.5	47.5	9.9	21.5	62.5	14.0	0.0
21	01:03:20 p. m.	21.5	47.5	9.9	21.5	52.5	11.4	0.0
22	01:03:30 p. m.	21.5	48.0	10.0	21.5	51.0	10.9	0.0
23	01:03:40 p. m.	21.5	48.0	10.0	21.5	51.0	10.9	0.0
24	01:03:50 p. m.	21.5	48.0	10.0	21.5	49.5	10.5	0.0
25	01:04:00 p. m.	21.5	48.0	10.0	21.5	49.5	10.5	0.0
26	01:04:10 p. m.	21.5	48.0	10.0	21.5	49.0	10.3	0.0
27	01:04:20 p. m.	21.5	48.0	10.0	22.0	49.5	11.0	-0.5
28	01:04:30 p. m.	21.0	48.5	9.7	22.0	49.0	10.8	-1.0
29	01:04:40 p. m.	21.0	48.5	9.7	22.0	48.0	10.5	-1.0
30	01:04:50 p. m.	21.0	48.5	9.7	22.5	47.5	10.8	-1.5
31	01:05:00 p. m.	21.0	48.5	9.7	22.5	47.0	10.6	-1.5
32	01:05:10 p. m.	21.0	48.5	9.7	22.5	46.5	10.5	-1.5
33	01:05:20 p. m.	21.5	49.0	10.3	22.5	46.5	10.5	-1.0
34	01:05:30 p. m.	21.5	49.5	10.5	23.0	46.0	10.8	-1.5
35	01:05:40 p. m.	21.5	49.0	10.3	23.0	46.0	10.8	-1.5
36	01:05:50 p. m.	21.5	48.5	10.2	23.0	45.5	10.6	-1.5
37	01:06:00 p. m.	21.5	48.0	10.0	23.0	46.0	10.8	-1.5

Tabla 9: Fragmento de la tabla de valores en Excel.

De acuerdo con los registros obtenidos, se puede observar una diferencia de hasta 6°C entre la temperatura del punto de control y la temperatura de la *data logger* del recorrido.

Las incidencias sobre el *data logger* del punto de control del experimento a pie se describen a continuación:

1. Se utilizó un palo de escoba envuelto con una tela negra para colocar el *data logger*, este se ubicó a una altura aproximada de 3.5 m
2. El tiempo de funcionamiento de la *data logger* se amplió debido a la tardanza en llegar al punto de control y desactivarlo.
3. El sitio del punto de control se vio favorecido con la proyección de la sombra de la misma construcción, lo que evitó el calentamiento del dispositivo empleado.

Respecto al *data logger* del recorrido se observó lo siguiente:

1. Se utilizó una canaleta plástica en la que se colocó en un extremo el *data logger*, posteriormente se ajustó sobre la espalda quedando a una altura de 2.5 m aproximadamente.
2. Se trató de caminar por el centro del cañón urbano para captar la temperatura del centro geométrico.
3. Por cuestiones de tránsito, se caminó del lado de la calle donde el cañón urbano no proyectara sombra con la idea de que el resultado obtenido no estuviera influenciado por este factor.
4. Se realizaron algunas paradas durante el recorrido debido a los semáforos vehiculares y por algunos cruces de las calles cuando se atravesaba algún vehículo.

En este segundo experimento se observaron mejorías notables respecto al experimento con vehículo en cuanto a la utilización y manejo de los instrumentos, la lectura por parte de la *data logger* fue más fidedigna ya que se trató de caminar a la misma velocidad sin tanta influencia del viento; solo hubo una interrupción al cruzar un semáforo, en ese momento se obtuvo una foto del

cronómetro para recordar en qué minuto se realizó esta detención y poder revisarla en los datos finales.

A partir del análisis de los experimentos realizados, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

1. La Isla de Calor Urbana (UHI) sí se presenta en el sitio de estudio ya que los resultados obtenidos de los diversos experimentos nos muestran una diferencia entre las temperaturas obtenidas en el punto de control con respecto a las temperaturas de los recorridos.
2. Los instrumentos pueden ser manipulados de distintas formas que podrían arrojar datos alterados para la investigación, por ejemplo, colocarlos directamente al sol elevaría la escala de los registros; por tanto, se debe anticipar algunos factores que influyan en el resultado de la investigación.
3. Se recabaron datos más fidedignos en los recorridos a pie ya que se puede controlar de una mejor forma el tiempo de duración del trayecto y, por ejemplo, evitar la incidencia del viento y la radiación de los vehículos.
4. El método empleado, el recorrido por transectos, solo sirvió para practicar el uso de los instrumentos empleados para esta investigación, cabe recordar que se desarrollará una propuesta de método para determinar la existencia de la Isla de Calor Urbana en el sitio de estudio señalado para la investigación.

Con base en estas conclusiones, se preparará la propuesta de método para la detección y cuantificación de la intensidad de la Isla de Calor Urbana, principalmente se buscará integrar la tecnología termográfica para este método debido a lo innovador que se pretende que sea; además, se buscará cómo incluir la influencia de la temperatura de los elementos urbano-arquitectónicos que conforman el cañón urbano en la formación de la Isla de Calor Urbana que se pueda presentar.

Capítulo IV

Análisis del sitio de estudio

4.1 Introducción

El sitio elegido para el desarrollo del método propuesto fue Tlalnepantla de Baz, en el Estado de México, como el lugar de trabajo para la continuación del proyecto; se evaluaron diversos factores para elegir este municipio, entre los cuales se encuentran: el desplazamiento de la población que cada día viaja a sus centros de trabajo o de estudio, generando una gran movilidad de transporte público y particular para cubrir dichas necesidades, esta situación aumenta la emisión de gases contaminantes al ambiente, contribuyendo al calentamiento del entorno por el aumento de temperatura en la zona.

Asimismo, el uso de suelo mixto en la región (habitacional, comercial e industrial) provoca el aumento de la actividad antropogénica tanto al interior de los espacios arquitectónicos como al exterior de los espacios urbanos; en cuanto al diseño urbano, la carencia de espacios verdes adecuados para la oxigenación de la mancha urbana mantienen los altos índices de contaminación ambiental y, en varias ocasiones, las actividades que pueden realizarse en este tipo de espacios deben cancelarse; estas razones son consideradas determinantes para la formación de la Isla de Calor Urbana en cualquier lugar, por tanto, permiten la justificación de la elección del sitio para el desarrollo metodológico del proyecto, el cual pertenece a la colonia Viveros de la Loma, situado entre Anillo Periférico Norte y Av. Gustavo Baz Prada a la altura del centro comercial conocido como Mundo E, dichas vialidades son importantes porque permite el ingreso a la Ciudad de México en la alcaldía de Azcapotzalco a los habitantes de Tlalnepantla de Baz, Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Tultitlan de Mariano Escobedo y Naucalpan de Juárez.

Por otra parte, con base en los lineamientos de movilidad del Posgrado, se obtuvo una estancia doctoral en el extranjero, la institución receptora es Juniata College, Universidad en Artes Liberales, ubicada en la ciudad de Huntingdon, en el estado de Pennsylvania, Estados Unidos, con lo cual se amplía el campo de la investigación hacia un contexto urbano-arquitectónico totalmente

distinto y en el que se pretende aplicar el método de detección de la UHI por desarrollar en los capítulos siguientes.

4.2 Tlalnepantla de Baz, Estado de México

El municipio de Tlalnepantla de Baz se localiza en las coordenadas 19°30" y 19°35" de latitud norte y los meridianos 99°05" y 99°15" de longitud oeste, tiene una altitud entre 2 200 y 2 800 msnm, colinda al norte con los municipios de Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Tultitlán, Ecatepec de Morelos y la Ciudad de México; al este con el municipio de Ecatepec de Morelos y Ciudad de México; al sur con la Ciudad de México y el municipio de Naucalpan de Juárez, y al oeste con los municipios de Naucalpan de Juárez y Atizapán de Zaragoza, este municipio tiene la particularidad de que se encuentra dividido en dos partes debido a la ampliación de la Ciudad de México en 1899, por orden del entonces presidente de México, Porfirio Díaz.

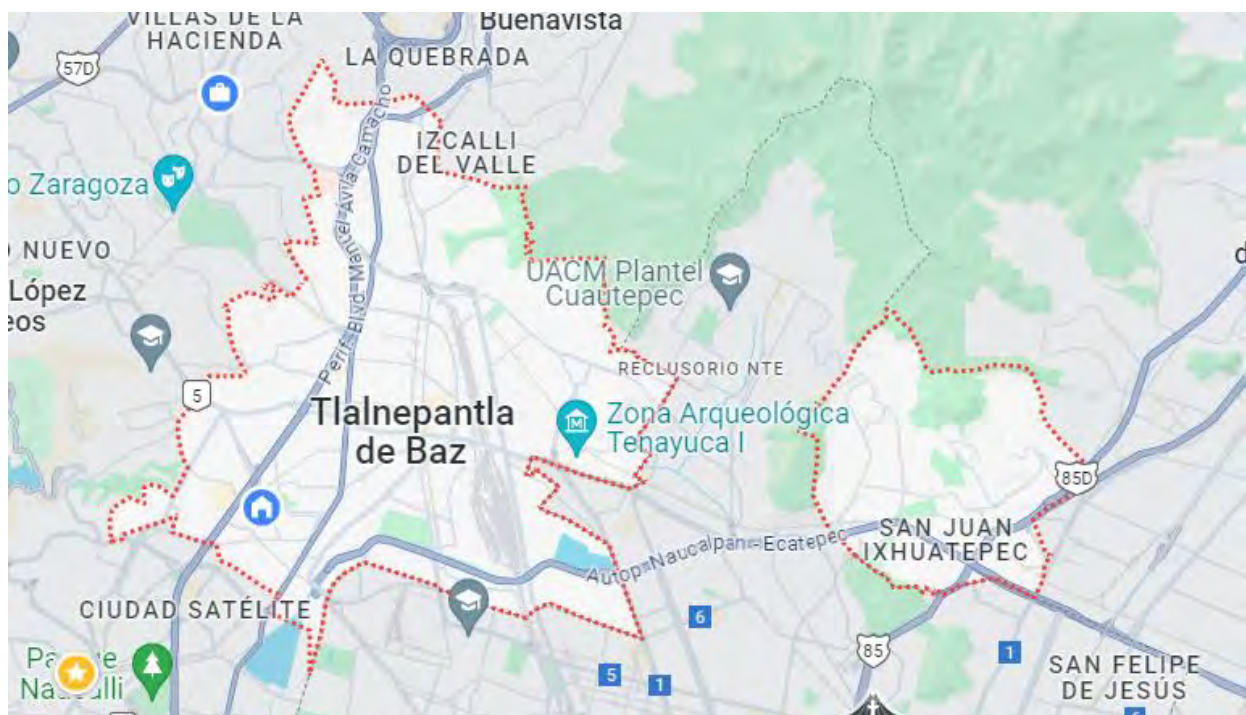


Imagen 53: Tlalnepantla de Baz, Estado de México.
Fuente: Google Maps, 2023.

El municipio cuenta con un rango de temperatura media entre los 12°C y los 18°C, el clima predominante es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), de menor humedad (83.29%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (16.71%), la precipitación pluvial oscila entre los 500 – 800 mm Con base en el censo del 2020, la población en Tlalnepantla de Baz fue de 672,202 habitantes (48.6% hombres y 51.4% mujeres), en comparación al censo de 2010, la población en Tlalnepantla de Baz creció un 1.2%. Los rangos de edad que concentraron la mayor parte de la población fueron de 25 a 29 años (52,176 habitantes), 20 a 24 años (51,623 habitantes) y 45 a 49 años (50,114 habitantes), los cuales concentraron el 22.9% de la población total (INEGI, 2021).



Imagen 54: Vista satelital de Tlalnepantla de Baz, Estado de México.

Fuente: Google Maps, 2023.

Respecto al uso de suelo en el municipio, casi el 85% corresponde a infraestructura urbana, mientras el porcentaje restante se divide en actividades agrícolas y pecuarias, las zonas urbanas crecen sobre extractos rocosos ígneos, la configuración topográfica del terreno se compone principalmente por llanuras, lomeríos y sierras (INEGI, 2021).

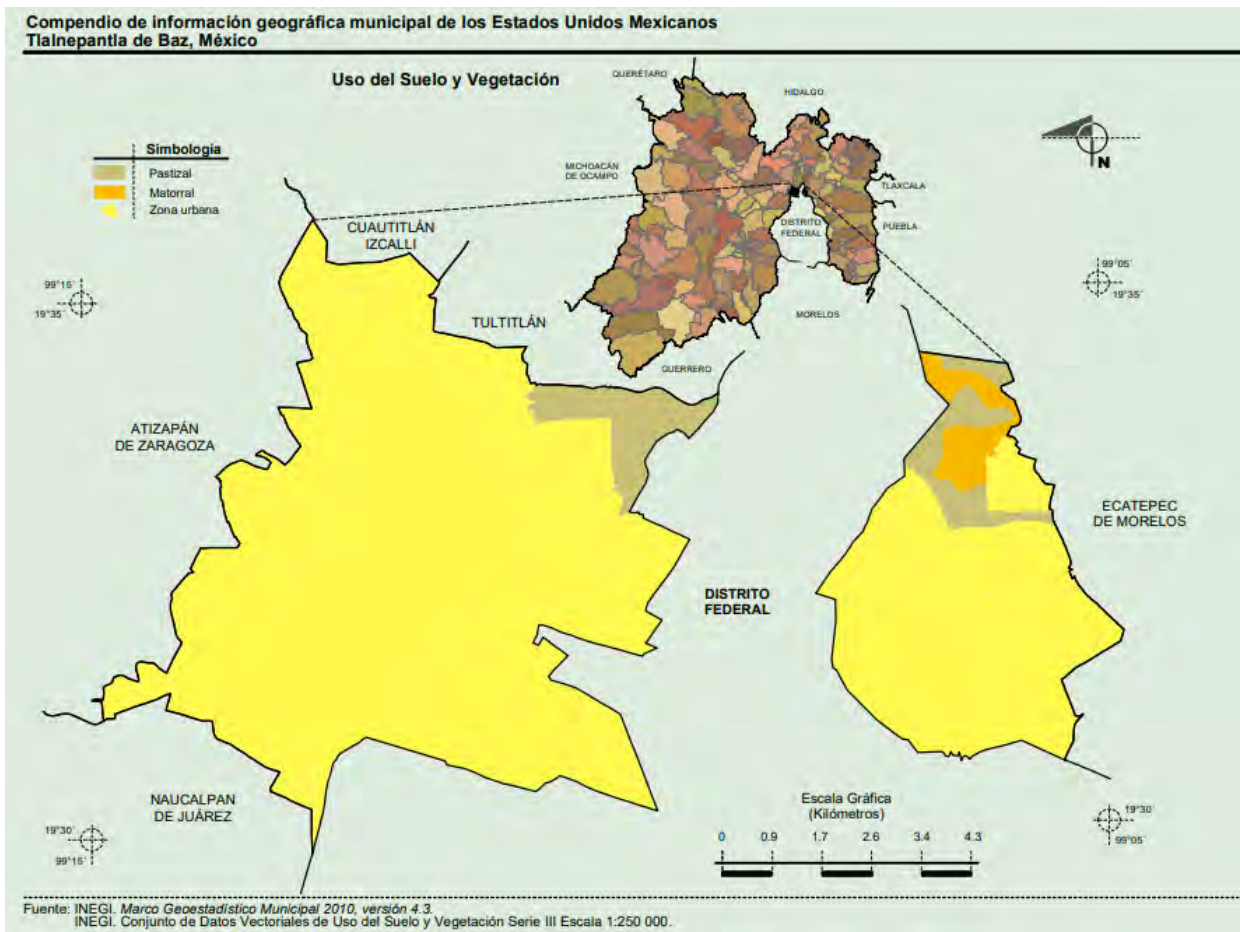


Imagen 55: Uso de suelo, Tlalnepantla de Baz, Estado de México.
 Fuente: INEGI, 2021.

4.3 Análisis climático

Para la realización de este análisis, los datos climatológicos se obtuvieron de la estación meteorológica “Las Arboledas” (15047), propiedad de CONAGUA, en el periodo de 1991-2020 (CONAGUA 2024), la información de dicha estación se muestra a continuación.

Estación: 15047
 Nombre: LAS ARBOLEDAS
 Estado: MÉXICO
 Municipio: TLALNEPANTLA DE BAZ
 Situación: OPERANDO
 CVE-OMM:

Latitud: 19.56277778 °
Longitud: -99.21583333 °
Altitud: 2270 msnm

La distancia que presenta esta EMA con respecto al sitio de estudio es de 4.27 Km aproximadamente, y se encuentran a la misma altitud, por lo cual cumple con los parámetros requeridos (un máximo de 10 Km y una diferencia de altitud máxima de 100 m) para ser considerada como una referencia para la comparativa de datos climatológicos obtenidos en nuestra investigación.

4.3.1 Clasificación climática

Con base en el sistema de clasificación climática de Köppen, Tlalnepantla de Baz cuenta con un clima **Cwb**, (Templado subhúmedo), donde **C** corresponde a templado, **w** para invierno seco. La interpretación de la clasificación es la siguiente:

Clima C - Templado o mesotérmico

Cuando la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C, las precipitaciones son mayores a la evaporación. Se trata de climas moderados, el invierno y el verano son variables, pero no extremos.

La segunda letra, nos explica el régimen de lluvias en invierno:

w: el invierno es seco, el mínimo de precipitaciones coincide con el periodo de temperaturas más bajas.

La tercera letra muestra el comportamiento de las temperaturas en verano:

b: el verano es fresco, no se superan los 22 °C de media en el mes más cálido, esta temperatura supera los 10° al menos en cuatro meses del año.

		TLALNEPANTLA DE BAZ, ESTADO DE MEXICO																											
		CLIMA		Cwb																									
		BIOCLIMA		Templado																									
		LATITUD		19.56277778 °																									
		LONGITUD		-99.21583333 °																									
		ALTITUD		2270 msnm																									
TEMPERATURA MÁXIMA																													
MESES		UNIDAD		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		ANUAL	
NORMAL		°C		23.1		25.2		27.1		28.3		27.7		26		24.6		24.6		23.7		23.9		23.7		23.7		25.1	
MÁXIMA MENSUAL		°C		25		27.9		29.5		30.7		31.2		29		27.2		27		25.4		28.4		29.1		32.1			
AÑO DE MÁXIMA				2011		2003		2020		2005		2011		1998		2009		2009		2006		1992		1992		1992			
MÁXIMA DIARIA		°C		31.5		33		39.5		34		33.5		34		31		30		30		32		34		35			
FECHA MÁX DIARIA				24/2010		18/2019		02/2014		30/2010		24/2010		04/2005		01/1992		14/2009		15/2006		29/1992		25/1992		21/1992			
AÑOS CON DATOS				27		29		29		29		29		29		29		29		28		28		28		27			
TEMPERATURA MINIMA																													
MESES		UNIDAD		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		ANUAL	
NORMAL		°C		5.1		6.5		8.2		10.4		11.7		12.8		12.1		12.3		12.2		10.1		7.4		5		9.5	
MINIMA MENSUAL		°C		2.8		4.3		6.4		8.7		9.6		11.2		10.9		11.5		11		7.9		5.2		0.4			
AÑO DE MINIMA				1996		1998		1993		1993		1992		1992		1992		1991		1992		2020		1999		2004			
MINIMA DIARIA		°C		-3		-2		-3		0.5		0.5		1.5		1.5		8.5		4.5		1		-2.5		-6.8			
FECHA MIN DIARIA				12/1997		18/2004		03/2013		13/2017		23/2014		23/2013		20/2018		03/2002		10/2011		23/1999		23/2002		26/2004			
AÑOS CON DATOS				27		29		29		29		29		29		29		29		28		28		28		27			
TEMPERATURA MEDIA																													
MESES		UNIDAD		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		ANUAL	
NORMAL		°C		14.1		15.8		17.6		19.4		19.7		19.4		18.3		18.5		17.9		17		15.5		14.4		17.3	
AÑOS CON DATOS				28		29		29		29		29		29		29		29		28		28		28		27			
HUMEDAD RELATIVA																													
MESES		UNIDAD		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC			
TEMP BULBO HUM		°C		9.3		10.3		11.3		12.2		13.7		15.5		15.5		15.7		15.4		14		11.9		9.9			
MÁXIMA		%		65		60		52		49		62		76		85		85		89		81		75		64			
MEDIA		%		56		52		47		43		52		68		77		77		79		75		68		59			
MINIMO		%		47		44		42		37		42		60		69		69		69		69		61		54			
PRECIPITACION PLUVIAL																													
MESES		UNIDAD		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		ANUAL	
NORMAL		mm		8.2		9.3		12.3		28.4		48.5		145.5		174.4		167.6		167.6		81.8		16.2		5.2		9.5	
MÁXIMA MENSUAL		mm		50.5		68.3		75.3		94.7		124.8		383.2		320.9		372.7		372.7		207.2		61.7		35.2			
AÑO DE MÁXIMA				1992		2010		2015		2018		2015		2014		2010		2009		2009		2019		2018		1995			
MÁXIMA DIARIA		mm		19.0		38.0		33.0		35.5		43.5		113.3		63.0		109.5		109.5		67.0		41.5		27.3			
FECHA MÁX DIARIA				30/1995		22/1992		12/2009		26/2001		25/1995		24/2012		31/2007		06/2009		06/2009		05/1996		01/2004		06/2018			
AÑOS CON DATOS				28		29		29		29		29		29		29		29		28		28		28		27			
EVAPORACION																													
MESES		UNIDAD		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC			
VALOR MAXIMO		mm		7.07		10.2		11.1		11.2		15.6		12.7		14.1		15.7		14.5		12.7		8.75		5.9			
FECHA MAXIMO		mm		18/01/1991		19/02/2003		30/03/1986		15/04/1979		22/05/1979		17/06/1988		26/07/1986		1/8/1979		13/09/1997		28/10/1977		24/11/1995		29/12/1982			
VALOR MINIMO				0.1		0.1		0.5		0.4		0.4		0.2		0.2		0.1		0.07		0.05		0.1		0.02			
FECHA MINIMO		mm		17/01/1981		12/2/2002		10/3/1981		13/04/1977		15/05/1982		23/06/1978		27/07/1987		23/08/1981		15/09/1989		6/10/1999		4/11/1976		7/12/1989			
VALOR MEDIO				3.0		4.0		4.9		5.2		5.0		4.4		3.8		3.8		3.4		3.2		2.8		2.5			
AÑOS CON DATOS				33		36		35		36		35		34		34		35		34		35		34		34			
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA																													
MESES		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC					
DIAS		1.7		1.9		2.3		5		9.1		13		15.7		14.7		12.1		7		2.1		1					
AÑOS CON DATOS		23		23		23		23		22		22		23		1/22/1900		22		21		22		19					
NUMERO DE DIAS CON NIEBLA																													
MESES		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC					
DIAS		1.7		0.9		0.4		0.1		0.4		0.6		0.9		0.9		2		3.8		2.3		2.3					
AÑOS CON DATOS		18		18		18		18		17		17		18		18		17		16		17		15					
VIENTO																													
MESES		UNIDAD		ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC			
DIRECCION DOMINANTE				N		S		SO		SO		S		S		E		E		S		N		N		N			
VELOCIDAD MEDIA		km/hr		2.4		2.5		2.6		2.6		2.3		1.9		2.2		2.1		2.1		2.1		2.3		2.3			
VELOCIDAD MAXIMA		km/hr		4.6		4.8		5.3		5.3		4.3		3.9		3.9		3.8		3.8		4.1		4.1		4.3			

4.3.2 Análisis Paramétrico

El objetivo de este análisis es entender el comportamiento presentado de cada uno de los parámetros climáticos a lo largo del año, a partir de este conocimiento se toman decisiones para mejorar las condiciones urbano-arquitectónicas presentadas en la zona de estudio, generalmente estas mejoras se realizan al interior de las construcciones para crear el ambiente de confort necesario para las personas. El conocer estos parámetros de referencia nos servirán como una guía para saber que esperar de los posibles resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación.

Este análisis se realizó con información obtenida de la estación meteorológica Las Arboledas, entre los años 2010 y 2020, perteneciente a CONAGUA, y con el software de Meteonorm v.8.2, las gráficas son de elaboración propia con los datos recabados en dichas fuentes.

4.3.2.1 Temperatura ambiental

Para la temperatura, el parámetro de referencia es la “temperatura neutra” (T_n), también conocida como “termopreferendum” o preferencia térmica, se utiliza la Para definirla, se propone obtenerla con la ecuación de Richard De Dear (ASHRAE, 2017):

$$T_n = 17.8 + 0.31 T_{med}$$

El confort se mide dentro de un rango de temperatura en el cual las personas se sienten bien, este rango se conoce como “zona de confort” y no se delimita solamente a la temperatura neutra. Con base en el modelo de confort de De Dear, esta zona se define a partir de la temperatura neutra y con un límite superior de 2.5 °C, y un límite inferior de 2.2 °C, a partir de estos rangos se establece la zona ideal para personas aclimatadas al lugar.

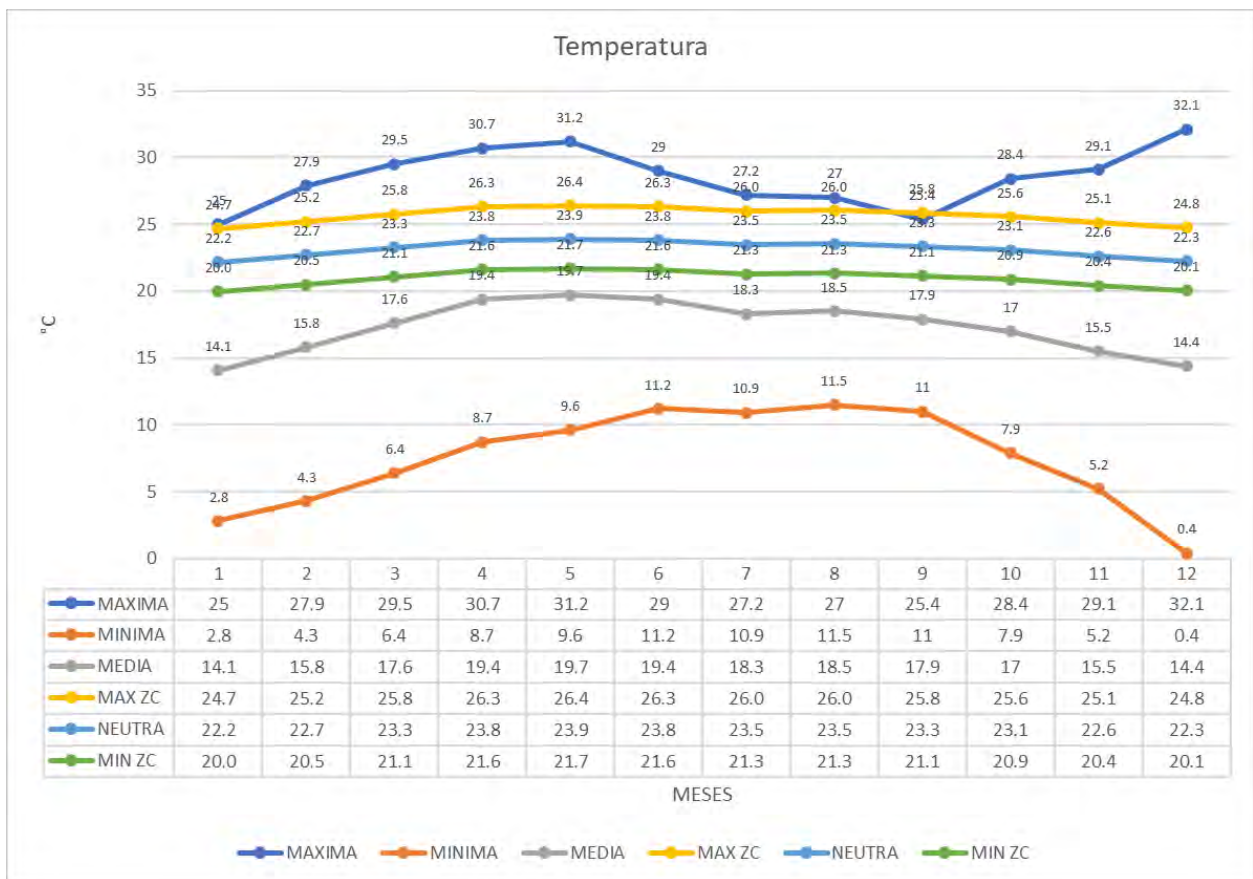


Imagen 56: Análisis de Temperatura ambiental.

Como se aprecia en la imagen 56, la temperatura máxima registrada se observa en el mes de diciembre con 32.1 °C, asimismo también cuenta con la temperatura más baja registrada, con 0.4 °C, dos comportamientos muy extremos y que denotan el cambio de clima en general a consecuencia de diversas circunstancias, entre las cuales se encuentra el cambio climático que afecta al planeta en general. La temperatura media oscila entre los 14.1 °C y los 19.7 °C, el dato menor registrado ocurre en el mes de enero y el dato mayor registrado durante el mes de mayo. La zona de confort se presenta entre los 26.4 °C y los 20 °C, siendo el mes de enero con la zona de confort en el rango mínimo y el mes de mayo con el rango máximo, la mayor parte del año se observa que la temperatura de la zona de confort está por encima de la temperatura media, debido al clima predominante de la región, templado, pero con un límite claramente establecido.

Con base en estos resultados, se necesitaría de un equipo especializado como un aire acondicionado que permita modificar las condiciones ambientales del sitio para tratar de alcanzar el rango establecido para la zona de confort, esta situación ocurre casi todo el año ya que, como se mencionó anteriormente, la zona de confort se encuentra por encima de la temperatura media. Este análisis de temperatura ambiental se realizó con datos de la estación Las Arboledas durante el periodo 2010-2020.

4.3.2.2 Humedad relativa

Para este parámetro, se considera el margen de la zona de confort que aparece en la gráfica siguiente, por tanto, se establece que la humedad relativa se encuentra entre el 42% y el 69% para que las personas realmente se sientan más cómodas en su entorno.

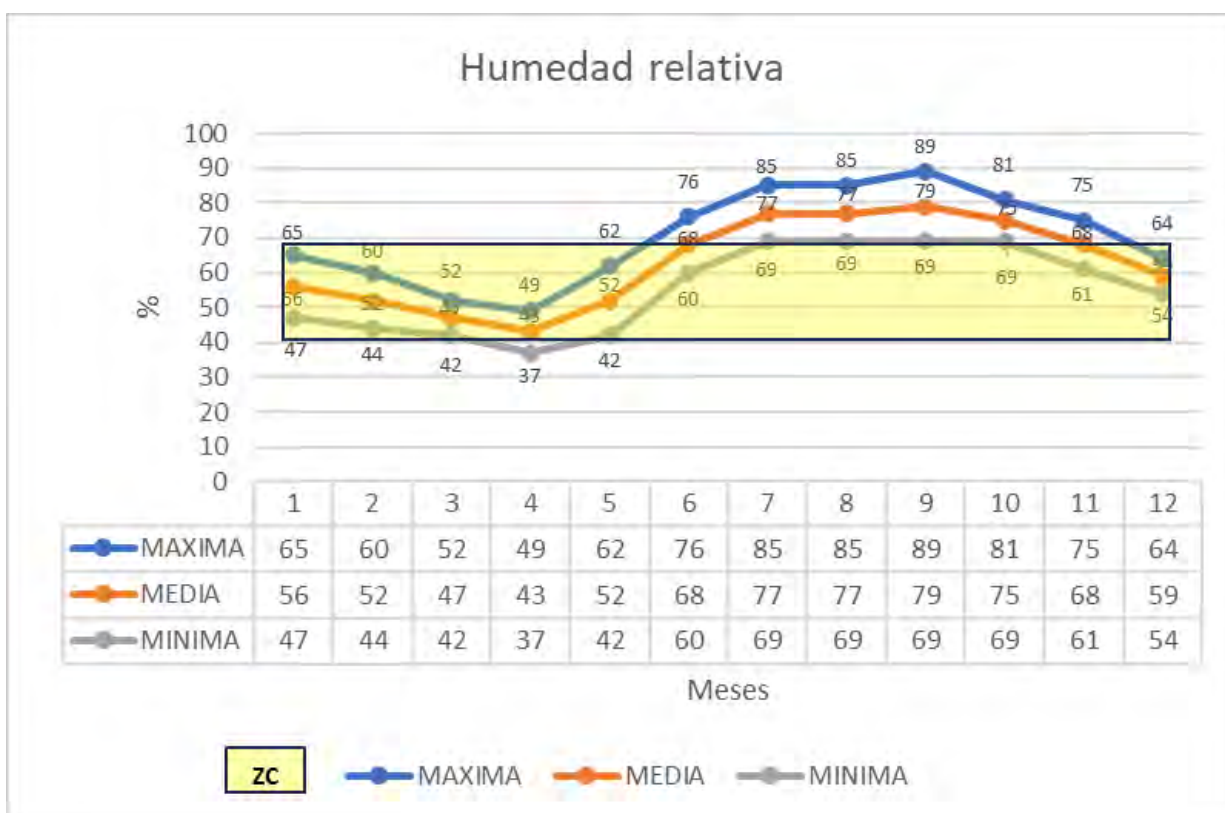


Imagen 57: Análisis de Humedad relativa.

Este factor está relacionado de manera directa con la temperatura, la combinación de ambos factores puede repercutir en la salud de las personas, tanto cuando hay alta temperatura como baja temperatura, las personas pueden tener dolores de cabeza, mareos y náuseas, respecto a los espacios arquitectónicos, la aparición de moho en las paredes por la humedad alta provoca enfermedades respiratorias por la inhalación de estas bacterias. Por otro lado, se puede apreciar que, un poco más de la mitad del año, los datos registrados muestran que la humedad relativa se encuentra por encima de la zona de confort ya que está relacionada directamente con la precipitación pluvial, por tanto, los meses de junio a noviembre son los que presentan los mayores parámetros.

Los parámetros de los primeros meses del año son más bajos que en el resto del país por estar adentro de la zona de confort, sin embargo, para nuestra investigación, se tomarán los días que presenten la mayor temperatura posible, por tanto, serán los días de menor humedad relativa.

4.3.2.3 Precipitación pluvial

En la imagen 58, el mayor periodo de precipitación se presenta en los meses de junio a septiembre, y el periodo de menor precipitación ocurre de diciembre a mayo.

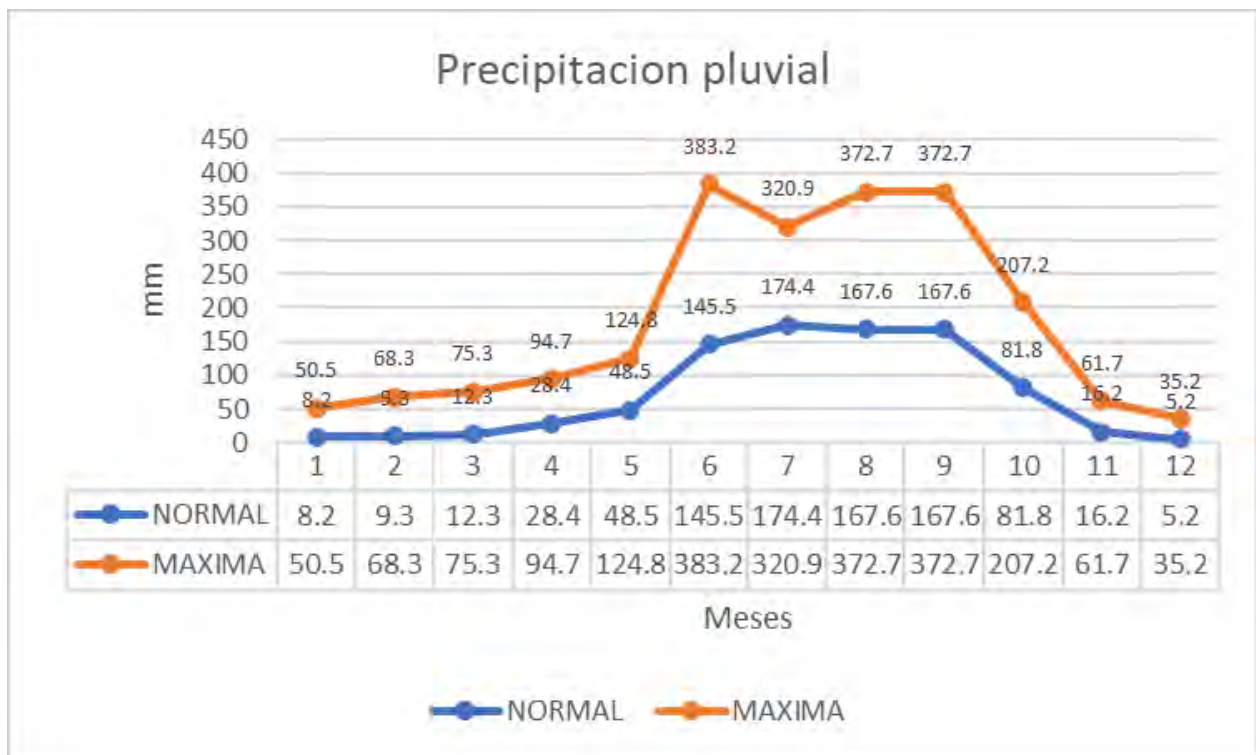


Imagen 58: Análisis de Precipitación pluvial.

La precipitación pluvial es muy alta para la zona de estudio, debido a las condiciones urbano-arquitectónicas con las que se cuenta, el riesgo de inundaciones es muy latente, principalmente en las zonas bajas, que presentan un mayor escurrimiento de agua y cuya obstrucción del drenaje municipal por desechos sólidos es una situación que ocurre con regularidad.

Podemos señalar tres clases de precipitación:

- Precipitación baja: solamente el mes de diciembre presenta una precipitación inferior a los 40 mm (35.2), con una mínima de 5.2 mm
- Precipitación media: Comprende los meses de enero a mayo y noviembre, con precipitaciones entre los 40 mm y 150 mm
- Precipitación alta: Ocurren entre los meses de junio a octubre, rebasando el límite de 150 mm, por lo que se puede decir que se presentan precipitaciones intensas.

La precipitación pluvial es un factor determinante para la disipación de las Islas de Calor Urbanas, ya que regula la temperatura ambiental y disminuye la temperatura de los materiales de construcción, tanto de pavimentos como de muros y banquetas, elementos que conforman el cañón urbano.

4.3.2.4 Evaporación

Para nuestro sitio de estudio, la evaporación ocurre de manera lenta con respecto a la precipitación pluvial, en otros sitios de clima más cálido, la evaporación es igual o mayor a la precipitación, pero no ocurre lo mismo en un clima templado dadas las condiciones atmosféricas que se presentan. La evaporación presentada no es suficiente en relación con la precipitación pluvial, esta ocurre en una relación 1/30 en el mes de junio, el mes que presenta la mayor precipitación pluvial registrada, debido a esta situación la humedad relativa es alta como se vio en la gráfica correspondiente. En promedio, se necesita una mayor cantidad de tiempo para que la evaporación alcance a disipar la precipitación ocurrida, por tanto, el suelo y el ambiente permanecen húmedos la mayor parte del tiempo, generando problemas al interior de las viviendas, principalmente en los muros por el escurrimiento de la precipitación y después en la salud en general, situación descrita en el apartado correspondiente.



Imagen 59: Análisis de Evaporación.

En ocasiones, la utilización de equipos especializados, como deshumidificadores, es necesaria por los altos porcentajes de humedad relativa que se presenta. La función de un deshumidificador es eliminar la humedad de aire existente dentro del espacio arquitectónico, al absorber el aire, el equipo condensa la humedad y se va a un depósito, el aire sale del equipo con la temperatura necesaria para crear el ambiente de confort que se busca al interior del espacio. El empleo de este tipo de equipamiento se vuelve necesario cuando las condiciones presentadas -alta precipitación, baja evaporación- ocurren la mayor parte del año.

4.3.2.5 Radiación solar

Para nuestra investigación, la radiación solar es el factor más importante a analizar ya que, la recepción que se tiene por parte de los materiales constructivos tanto arquitectónicos como urbanos, aumenta su temperatura transformándola en calor: durante el día, este calor es almacenado

por los materiales y por la noche, lo segregan de forma paulatina, manteniendo un ambiente térmico alto y diferente al resto de la comunidad, este fenómeno se da en lugares cuyo alto índice de superficie construida es mucho mayor que el índice de superficie libre. En la gráfica se observa que la mayor cantidad de radiación solar recibida es directa, como ocurre en los meses de octubre a agosto, salvo el mes de septiembre, en cuyo periodo la radiación solar directa es menor que la radiación difusa, esto se debe también a que es el mes con la mayor cantidad o porcentaje de humedad relativa y uno de los más altos en cuanto a la precipitación pluvial se refiere.

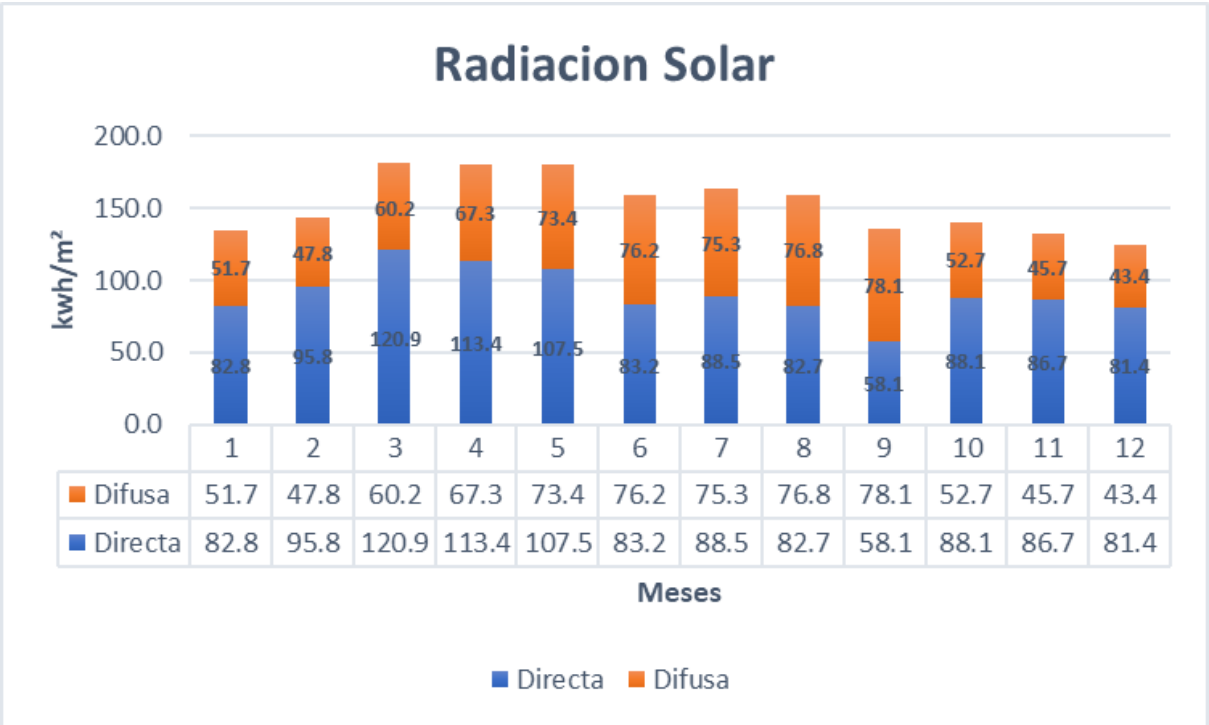


Imagen 60: Análisis de Radiación solar.

En los meses de junio a agosto, existe una diferencia corta entre los dos tipos de radiaciones, esto se debe a que son meses que presentan una alta precipitación pluvial, la nubosidad persiste de tal forma que no permite el paso de la radiación solar directa, por tanto, la nubosidad ayuda a que no aumente de forma considerable la temperatura ambiental en el entorno.

4.3.2.6 Viento

El rango de la velocidad media del viento se encuentra entre 1.9 y 2.6 Km/h El mes que presenta la menor cantidad de viento es junio, el mes de mayor precipitación pluvial, ambos parámetros se relacionan entre si ya que no es suficiente el viento como para dispersar la nubosidad que se establece en el lugar.

Los meses que presentan la mayor velocidad media del viento son marzo y abril, con 2.6 Km/h, ambos meses también presentan la velocidad máxima alcanzada, con 5.3 Km/h El mes de junio presenta la velocidad mínima registrada, con 1.9 Km/h, el resto del año permanece moderado, con un rango de velocidades entre 2.1 y 2.3 Km/h.

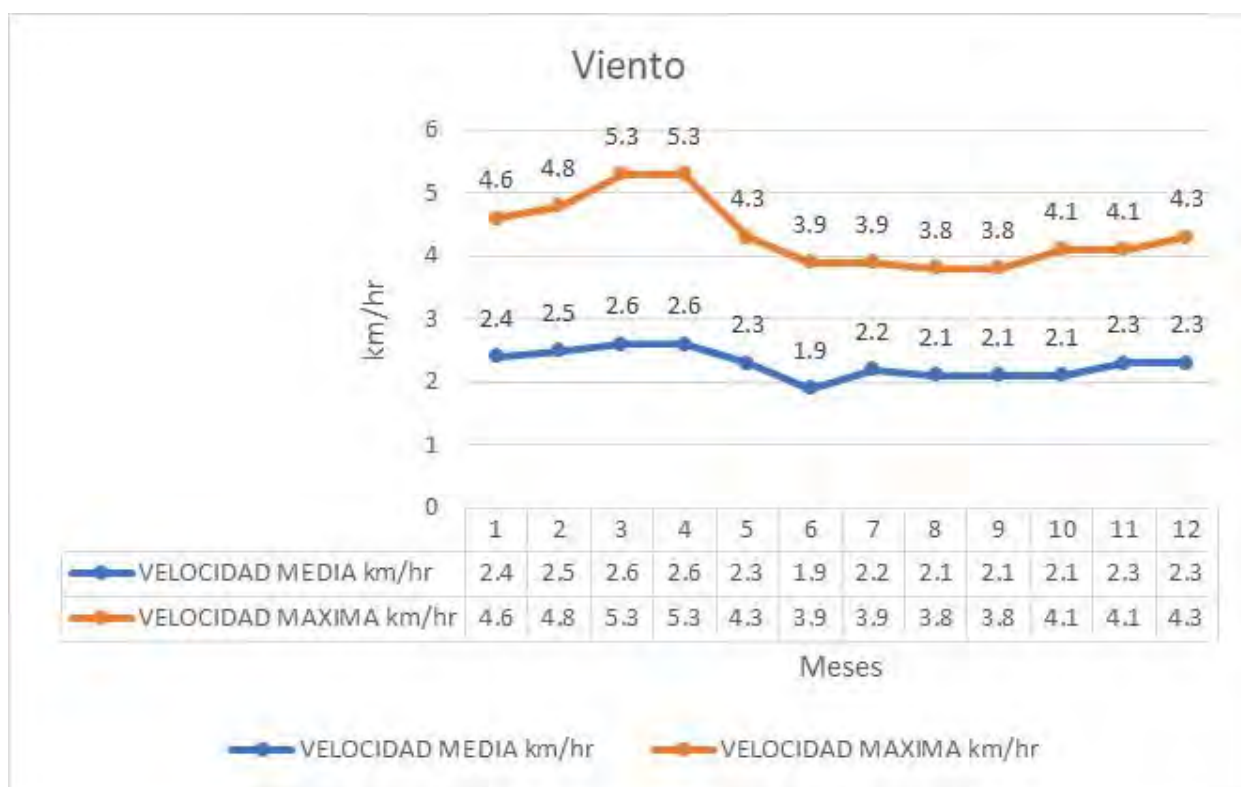


Imagen 61: Análisis del Viento.

La dirección predominante en los meses de marzo y abril es suroeste, en la mayor parte del año la dirección es sur, esto implica que, dadas las condiciones topográficas de la región, este viento no

sea suficiente para despejar la nubosidad presentada, principalmente en los meses de mayor cantidad de precipitación pluvial, de junio a septiembre.

4.4 Delimitación de la zona de estudio

La colonia Viveros de la Loma se encuentra en la parte poniente del municipio de Tlalnepantla de Baz, en las coordenadas 19°31'20"N 99°13'11"W, a una altitud de 2300 msnm, situada entre las vialidades Anillo Periférico (cuyo nombre oficial es Boulevard Manuel Ávila Camacho) y Av. Gustavo Baz Prada, como referencia tenemos el centro comercial Mundo E y la particularidad de la avenida Viveros de Atizapán, cuya pendiente es muy pronunciada en dirección poniente-orienté.

El uso de suelo de la colonia es mixto, habitacional-comercial, cuenta con diversos centros de enseñanza a nivel preescolar, primaria, secundaria y preparatoria, distribuidos principalmente en las avenidas principales; respecto al equipamiento urbano, se tiene un centro comercial Bodega Aurrera, diversas tiendas de abarrotes, tiendas Oxxo y 7Eleven, farmacias, consultorios médicos, salones de belleza, una ferretería, varios restaurantes y taquerías que ofrecen todo tipo de comidas, salones de fiestas, paleterías, comercios de artículos para la limpieza y el mantenimiento del hogar, además, cuenta con un par de parques y un centro deportivo.

La intención de mencionar dicho equipamiento es reiterar que la actividad antropogénica al interior de la colonia es alta y diversificada, lo que contribuye en parte al aumento de la temperatura del sitio de estudio. Cabe mencionar que, al interior de la colonia, se tienen un par de avenidas por las cuales transitan rutas de transporte provenientes de la Ciudad de México y que se dirigen hacia el norte del Estado de México, por tanto, este es otro factor por considerar para determinar la presencia de la Isla de Calor Urbana en el lugar. Por último, la utilización de materiales de construcción, cuyo coeficiente de emisividad es alto, contribuye al aumento de la temperatura en su superficie, provocando que los espacios arquitectónicos y urbanos presenten altas temperaturas en sus entornos; además, la falta de áreas verdes aumenta la concentración de la temperatura en distintos puntos urbanos al no encontrar medios por los cuales se disipe el calor ambiental en el transcurso del día.

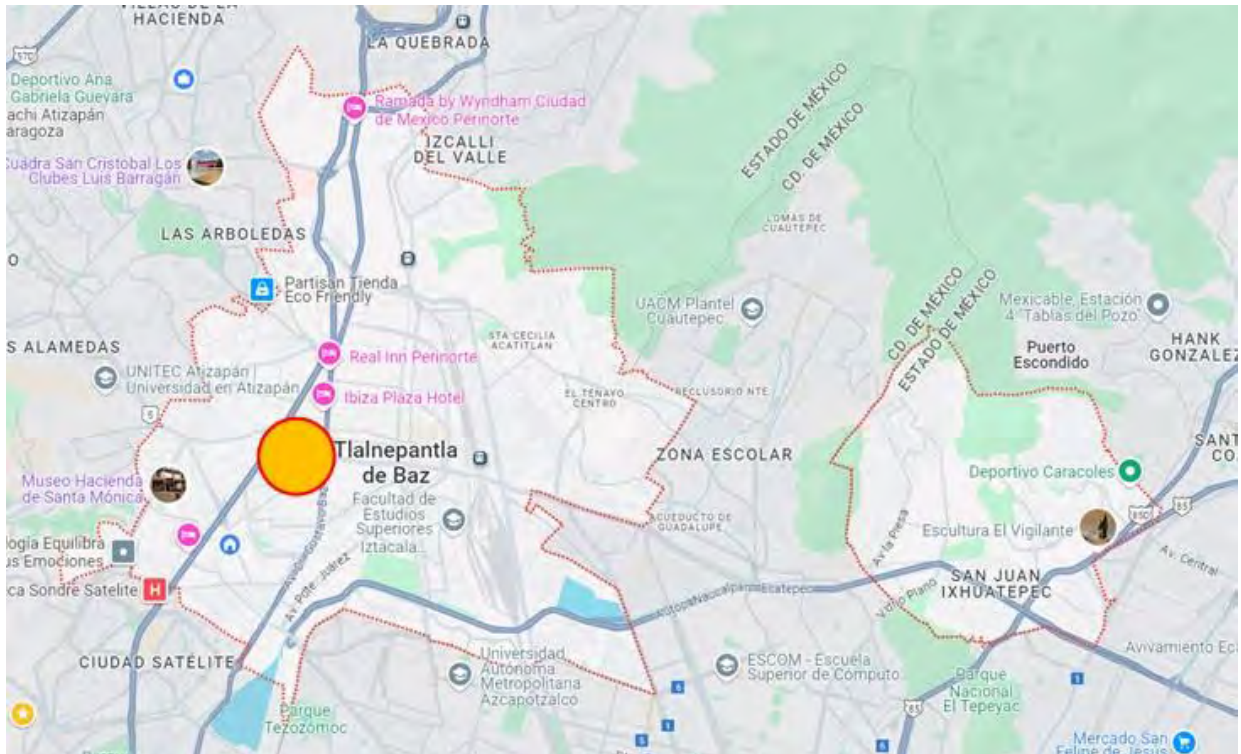


Imagen 62: Ubicación de la zona de estudio dentro del municipio.
Fuente: Google Maps, 2023.

Con base en la información anterior, la zona de estudio se delimito a una sección de la colonia, en la cual se colocó una trayectoria a seguir llamada transecto, este transecto está determinado por la importancia de las avenidas o calles, considerando también el flujo peatonal de las personas, las rutas establecidas por el transporte público, además de que se pretende recorrer la mayor parte de este para que el área cubierta por estudiar sea la mayor posible.



Imagen 63: Vista satelital de Viveros de la Loma, Tlalnepantla de Baz.

Fuente: Google Maps, 2023.

La trayectoria señalada dentro de la zona de estudio comprende una distancia aproximada de 2.3 Km aproximadamente, el transecto comenzara en el lado del Anillo Periférico, en el cruce de las calles Viveros de Tlalnepantla y Viveros de Atizapán, de ahí se llegará a la calle Viveros de Asís y se continuara hasta llegar a la calle Viveros de la Cascada para concluir en la Av. Gustavo Baz Prada. El uso de suelo es Habitacional-Comercial, las viviendas son unifamiliares, de tipo Dúplex y algunos edificios de departamentos.

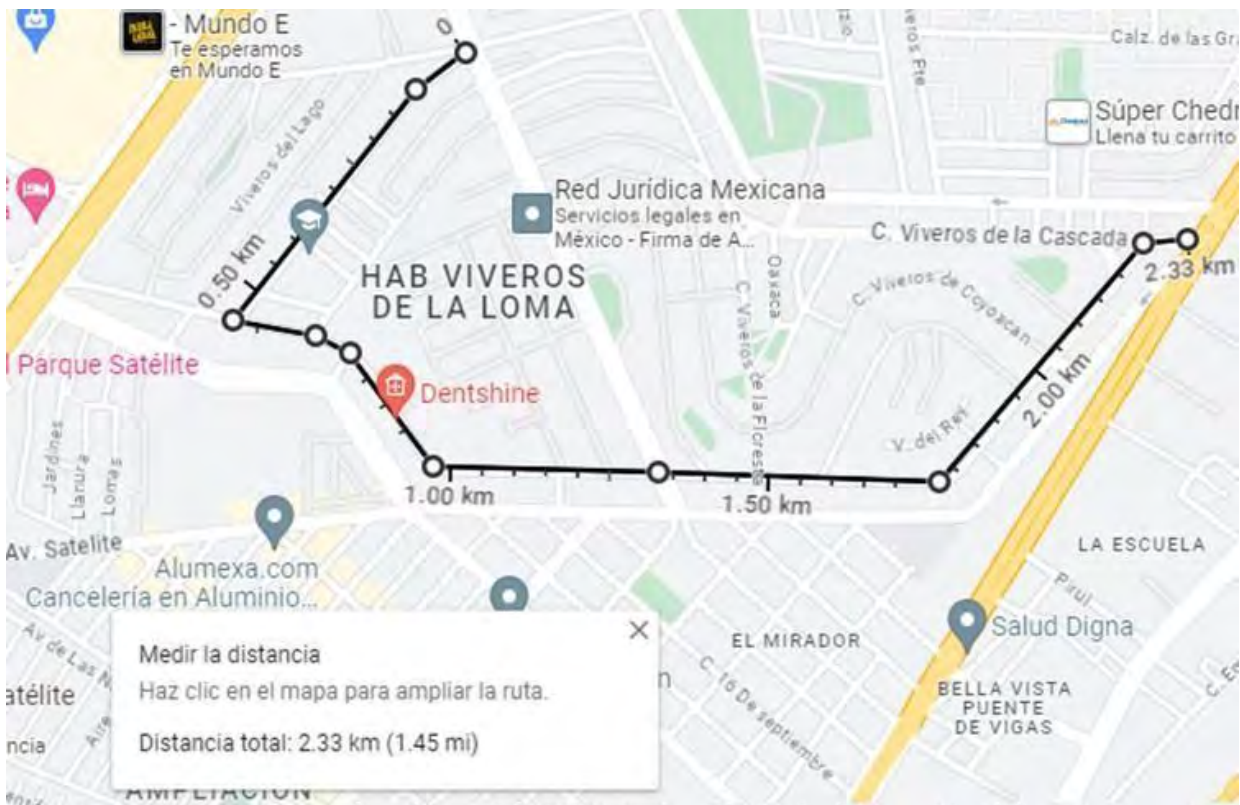


Imagen 64: Propuesta de transecto para el desarrollo del método.
Fuente: Google Maps, 2023.

Esta trayectoria fue definida a partir de recorridos in situ y observación directa en los años 2022-2023, considerando la accesibilidad, el flujo peatonal y la dinámica urbana.

4.5 El cañón urbano

En este apartado, se analiza el tipo de construcción que prevalece en la zona de estudio, los materiales de construcción tanto arquitectónicos como urbanos de las superficies o elementos de diseño predominantes, el tipo de vegetación que existe en la zona y la altura de las edificaciones.

Se trata principalmente de una zona con uso de suelo mixto, habitacional y comercial, que se observa de una forma más clara en el momento en el cual uno transita por las avenidas importantes, Viveros de Tlalnepantla y Viveros de Asís, situación que nos da una pauta acerca de la cantidad de

habitantes con los que se cuenta y de las actividades comerciales que se desarrollan ahí, si son de prestación de algún servicio o de venta en general.

Existen tres modelos de vivienda: unifamiliar, tipo dúplex de dos viviendas unifamiliares que comparten el mismo terreno, y multifamiliar, en las cuales, los materiales de construcción mayormente utilizados son:

- a) Muros: tabique rojo recocido, block de concreto, aplanado de mortero de cemento-arena, pintura vinílica, recubrimiento de piedra.
- b) Pisos: firme de concreto, loseta de cerámica, mosaico de mármol, piedra de cantera, baldosa de barro.
- c) Techos: Teja de barro, impermeabilizante, losa de concreto armado, tezontle para relleno, ladrillo de barro.

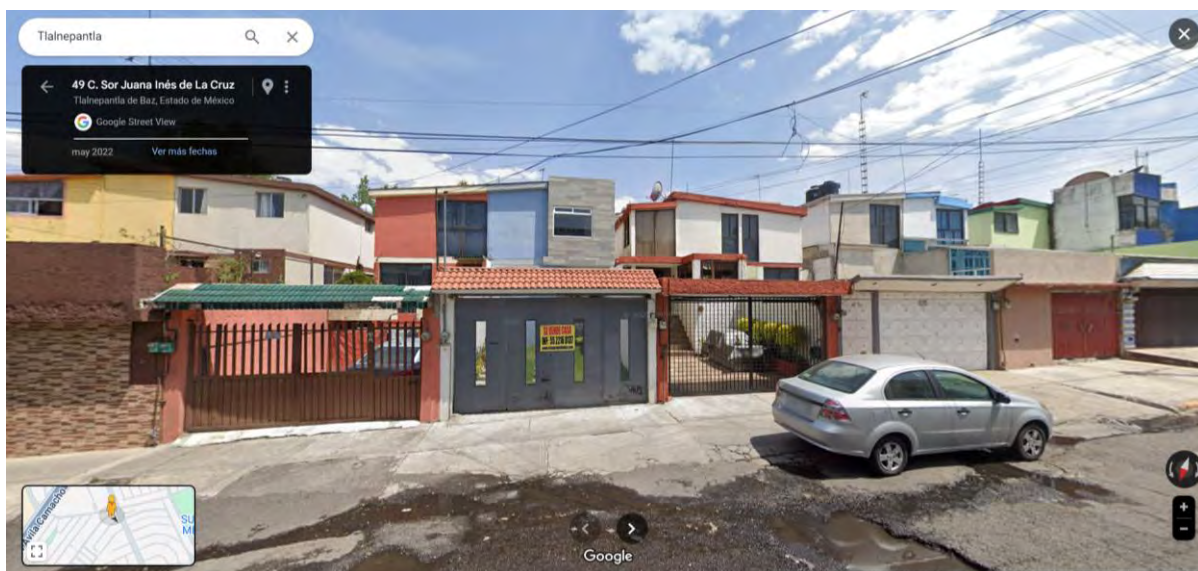


Imagen 65: Ejemplo de vivienda en la zona de estudio.

Fuente: Google Maps, 2023.

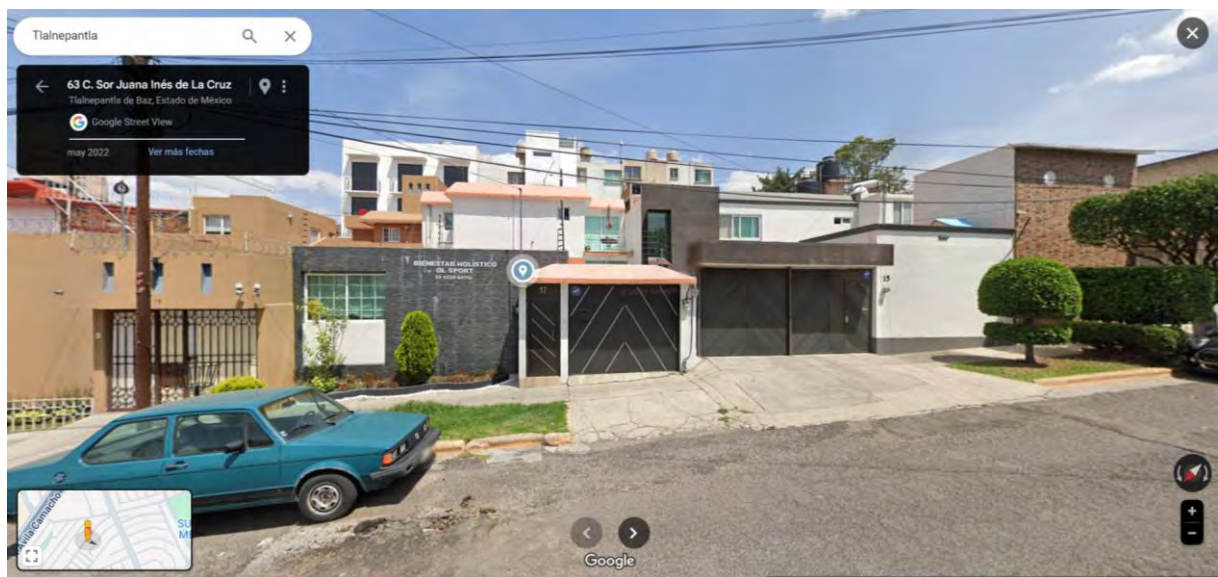


Imagen 66: Ejemplo de vivienda en la zona de estudio.
Fuente: Google Maps, 2023.

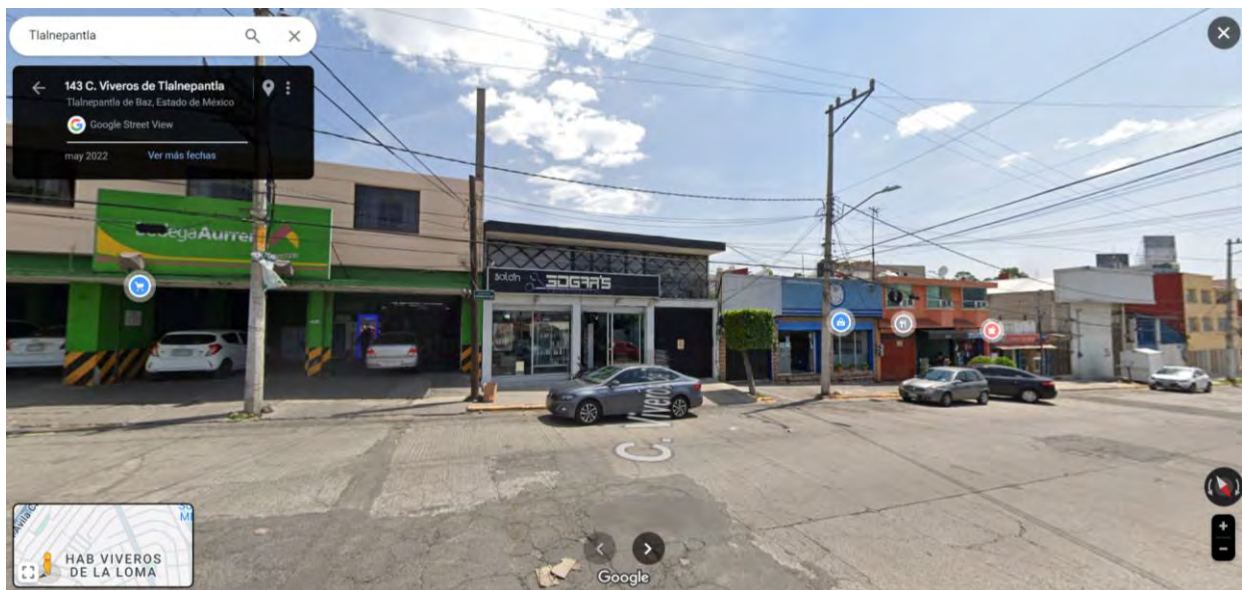


Imagen 67: Zona comercial en la zona de estudio.
Fuente: Google Maps, 2023.

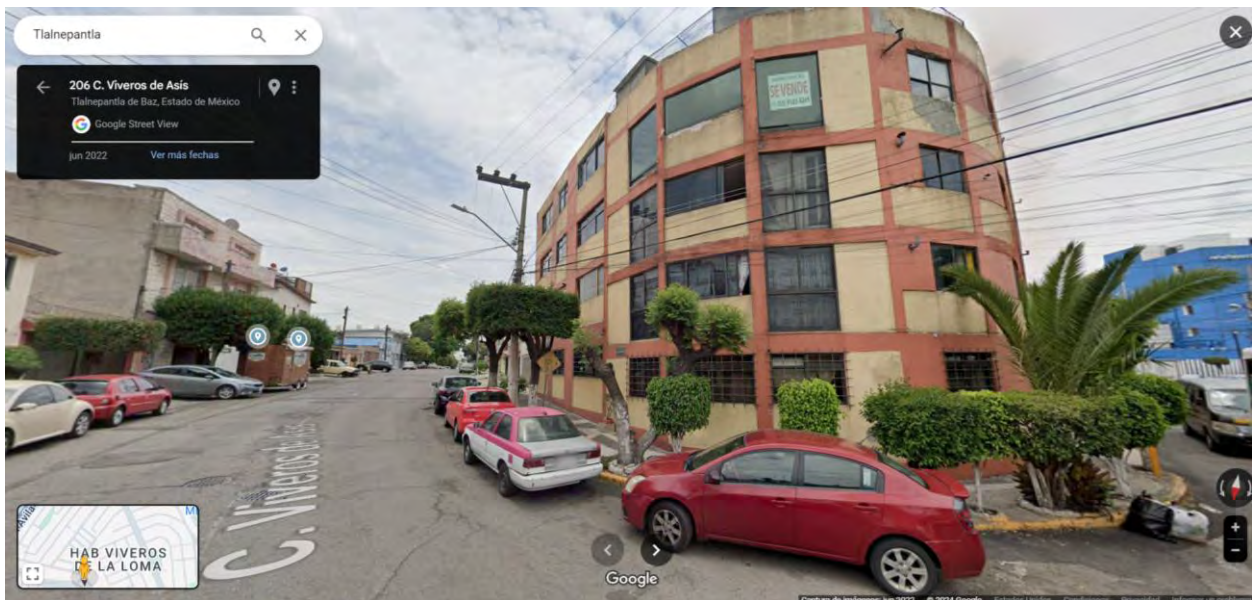


Imagen 68: Zona comercial en la zona de estudio.

Fuente: Google Maps, 2023.

Los materiales de construcción empleados en los sistemas constructivos de los locales comerciales son similares a los empleados en los sistemas constructivos de las viviendas, algunos cuentan con instalaciones especiales de refrigeración y aire acondicionado, como el super Bodega Aurrera Exprés, y con instalaciones de gas como los locales conocidos como cocinas económicas.

Las superficies urbanas son mezclas de asfalto para la pavimentación, concreto reforzado para las banquetas, y tierra vegetal en las áreas verdes, el ancho de las vialidades es de 9 a 12 m aproximadamente, y el ancho de las banquetas es de 3 m en promedio.



Imagen 69: Dimensiones de banquetas y ancho de vialidad.

Fuente: Google Maps, 2023.

Respecto a la altura de las edificaciones, las puertas de acceso tienen una altura de 2.20 a 3.50 m en promedio, algunos edificios de departamentos colindan directamente con la vialidad pública, en general, los predios están delimitados por las bardas perimetrales; esta descripción es la que se considera para definir la tipología del cañón urbano establecido para el desarrollo del método de detección de la Isla de Calor Urbana, dado que se trabajara a nivel de la superficie con los instrumentos descritos en el siguiente capítulo.

Las observaciones del entorno urbano-arquitectónico descritas con anterioridad fueron realizadas mediante visitas de campo directas durante el periodo 2022-2023 y apoyadas con imágenes satelitales de Google Maps (2023) y fotografías propias tomadas durante el recorrido preliminar, así como datos estadísticos del INEGI (2021).

Capítulo V

Integración de la termografía al desarrollo metodológico

5.1 Introducción

El seguimiento continuo del aumento de la temperatura ambiental es crucial para enfrentar problemas como las Islas de Calor Urbanas en las ciudades, la eficiencia energética y la sostenibilidad ecológica. En este contexto, la termografía se ha consolidado como una herramienta clave para investigar estos fenómenos. Las metodologías empleadas en la termografía permiten identificar, examinar y visualizar las variaciones térmicas, lo que facilita una comprensión más profunda de los procesos térmicos y su repercusión en el entorno. Las principales técnicas incluyen la captura y el análisis de imágenes térmicas, así como el modelado térmico.

La obtención de imágenes térmicas se lleva a cabo mediante cámaras termográficas de alta resolución, que generan imágenes precisas y detalladas de las variaciones de temperatura en un área determinada. Estas cámaras permiten detectar con mayor exactitud tanto puntos calientes como fríos. Además, son capaces de producir imágenes multiespectrales, que combinan diversas longitudes de onda infrarrojas, ofreciendo así información más exhaustiva sobre las propiedades térmicas de los materiales y las fluctuaciones en la temperatura del entorno. Esta técnica mejora la capacidad para diferenciar entre distintas fuentes de calor y evaluar su impacto.

El análisis de las imágenes térmicas incluye la corrección de distorsiones y la calibración, asegurando así la fiabilidad de los datos obtenidos. A través de técnicas de procesamiento, como la filtración y el aumento de contraste, se mejora la calidad de las imágenes, facilitando la identificación de anomalías térmicas. Con el uso de software especializado, se ajustan los parámetros de las imágenes para lograr una visualización clara de las diferencias térmicas. Este análisis permite identificar patrones y cambios de temperatura en áreas específicas (Morales, 2022). Al implementar técnicas como la segmentación y el análisis de clúster, es posible examinar áreas que presentan temperaturas inusuales, permitiendo comparar imágenes tomadas en distintos

momentos para observar cómo varían las temperaturas a lo largo del tiempo y entender la dinámica térmica.

El modelado térmico, por su parte, utiliza datos termográficos para crear simulaciones que predicen la distribución del calor en el medio ambiente. Estas simulaciones se desarrollan bajo diversas condiciones, integrando datos sobre la temperatura de la superficie, las características de los materiales y las condiciones meteorológicas, lo que permite anticipar la formación de Islas de Calor Urbanas y otras variaciones térmicas (Ruiz, 2021). Al incorporar información climática, como la temperatura del aire, la humedad y la radiación solar, se obtiene una visión más holística de los factores que influyen en el incremento de temperatura, mejorando así la comprensión de cómo interactúan los factores ambientales y los materiales en la generación de calor.

5.2 Aplicación de la termografía al método propuesto

En relación con el uso de la cámara termográfica, es fundamental que la captura de imágenes sea precisa para una correcta lectura de las temperaturas. Para ello, la cámara debe estar debidamente calibrada y ajustada al rango de temperaturas previsto en el área de estudio. Es importante considerar las condiciones ambientales al realizar la captura de imágenes térmicas, que se recomienda llevar a cabo durante el momento más cálido del día, factores como la temperatura ambiental, la radiación solar, la humedad y el viento pueden influir en las lecturas térmicas.

Durante el recorrido, se capturaron imágenes termográficas del cañón urbano para garantizar una cobertura exhaustiva del área, también se registrarán las condiciones ambientales en el momento de la captura, con el fin de correlacionar estos datos térmicos con los de los instrumentos utilizados. Se llevará un registro detallado de cada imagen, que incluirá la fecha, la hora, las condiciones ambientales y la ubicación precisa.

Al finalizar el recorrido, se procesará la información recopilada, tanto de los instrumentos ambientales como de la cámara termográfica, para su análisis y correlación con los parámetros de interés, como la temperatura ambiental y la temperatura de los materiales de construcción. Las

imágenes térmicas deberán reflejar las variaciones térmicas en diferentes puntos, como pavimentos, techos y muros, lo que permitirá identificar diferencias significativas en las temperaturas en el cañón urbano.

Con base en las características del software empleado para el análisis termográfico, existen diversas opciones para mostrar el comportamiento del calor en las superficies de los materiales urbanos y arquitectónicos, las imágenes seleccionadas estarán puestas en el siguiente orden: primero, la imagen termográfica original del momento; la segunda imagen mostrara la escala de temperatura con los máximos y mínimos registrados en la imagen, la temperatura de los puntos seleccionados y los colores de las superficies correspondientes a las temperaturas captadas; por último, la imagen resumida con los indicadores de temperatura y se le colocara la capa de mayor temperatura reflejada en la superficies de la imagen.

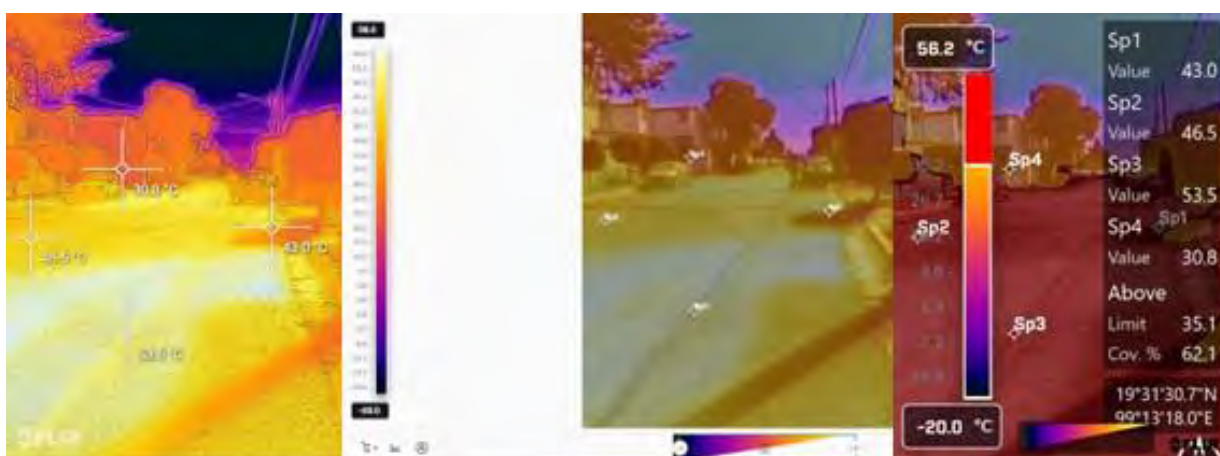


Imagen 70: Ejemplo del análisis de la imagen termográfica con el software *Thermal Studio*.

Finalmente, se elaborará un informe detallado que incluirá mapas térmicos, gráficos de distribución de temperaturas y una descripción de las anomalías detectadas, con el objetivo de determinar la presencia de Islas de Calor Urbanas en el sitio de estudio.

A partir del segundo recorrido para el registro de temperatura ambiental, fue que se utilizó la cámara termográfica en la captura de imágenes del canon urbano para la complementación del método propuesto: la combinación del registro de parámetros ambientales mediante *data loggers* con el

soporte de imágenes termográficas que nos permitan ver un panorama integral de los efectos de la radiación solar en el ambiente, natural y construido, de tal forma que estos indicadores nos permitan demostrar la existencia del fenómeno de estudio, la Isla de Calor Urbana. De los recorridos realizados para la demostración del método, solo se incluirán en este trabajo aquellos que se lograron completar dadas las circunstancias presentadas durante el desarrollo de la investigación, factores que en algún momento interfirieron en el desarrollo de los experimentos, como la inseguridad de la colonia o la intromisión de los vecinos al ver que se fotografiaban las fachadas de las casas, a pesar de contar con una carta en la que se indica el trabajo realizado, situaciones a las que se enfrenta un investigador.

5.3 Los recorridos

Para la demostración del método de detección de la existencia de la Isla de Calor Urbana, se monitorearon las predicciones del clima para encontrar el día con la mayor temperatura registrada en un periodo corto de tiempo -una semana-, bajo este criterio de selección se realizaron recorridos bajo dos criterios: el primero, en relación a la hora del día con la más alta temperatura pronosticada, la cual ocurrió en el periodo de las 14:00 y 16:00 horas; el segundo, a la hora del día con la temperatura en transición, es decir, el cambio de la temperatura mínima registrada, que ocurrió entre las 05:00 y 07:00 horas. Los resultados se presentan de acuerdo con la hora del día, comenzando con el recorrido matutino.

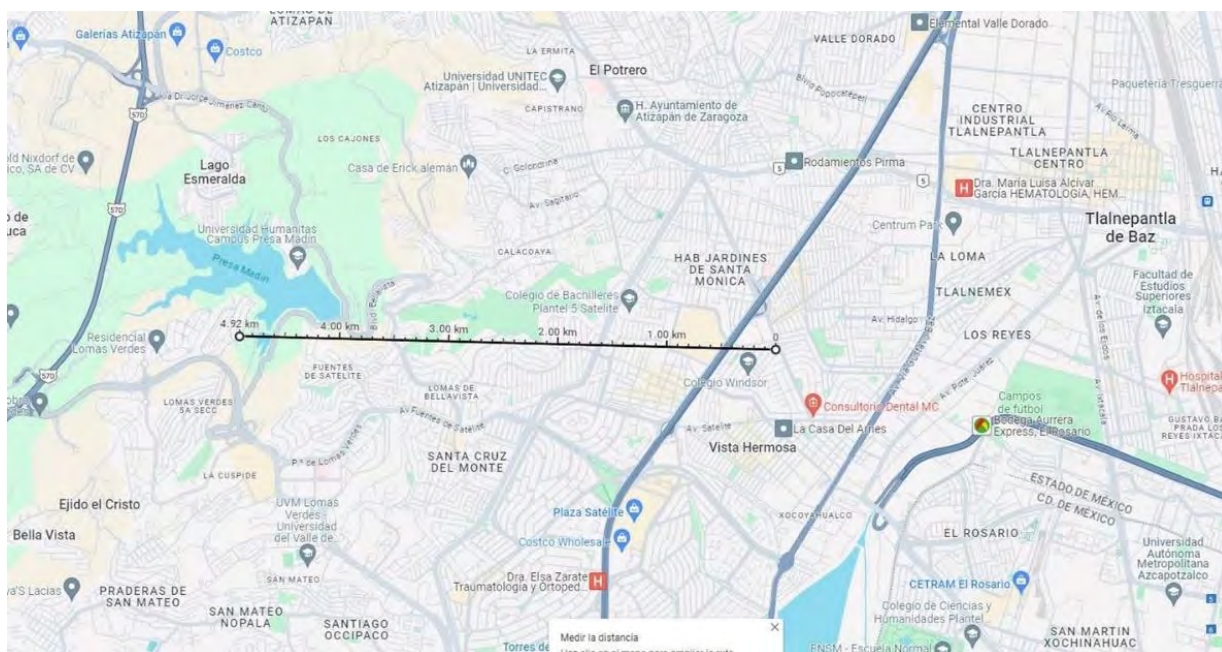
5.3.1 Prueba matutina: recorrido a las 06:00 hr

Este recorrido se realizó el día 31 de marzo de 2024, se monitoreo la hora en la cual la temperatura alcanzara el registro mínimo y se encontró que la temperatura pronosticada era 14°C, se prepararon los *data loggers*, uno colocado en el punto de control y otro llevado en un palo de escoba en la espalda a una altura promedio de 2.50 m

Se recorrió a pie para hacer un registro de las condiciones atmosféricas de forma libre, es decir, sin realizar muchas paradas salvo en los cruces de calles con semáforos, se revisaron que los *data*

loggers tuvieran batería suficiente para el recorrido, se programaron para registrar los datos cada 30 segundos, comenzando a las 06:00 hr El *data logger* deja de registrar datos cuando se inserta en la laptop o PC y mediante el software se detiene su lectura, estos datos se muestran en una gráfica y se exportan los datos en un archivo con formato CVS, que es compatible con Excel y ajustarle el formato necesario para la presentación de datos.

Estos datos se comparan con los datos obtenidos de la estación meteorológica automática más cercana al sitio de estudio, que se localiza en el municipio de Naucalpan de Juárez, colindante con el municipio de Tlalnepantla de Baz, llamada Presa Madin, esta estación pertenece a CONAGUA y al Sistema Meteorológico Nacional para el monitoreo ambiental de la zona metropolitana de la Ciudad de México con el Estado de México.



Servicio Meteorológico Nacional'	
Red:	SMN
Estación:	PRESAMADINSMN
Estado:	México
Municipio:	Naucalpan de Juárez
Latitud (N):	19.52444444

Longitud (O):	-99.26805556
Altitud:	2364 msnm

Imagen 71: Localización de la zona de estudio y de la EMA en Presa Madin.
Fuente: Google Maps, 2023.

La EMA Presa Madin se encuentra a una distancia aproximada de 4.92 Km del sitio de estudio y con una diferencia de altitud de aproximadamente de 80 m, por lo que cumple con las condiciones de distancia (<10 Km) y de altitud (<100 m de diferencia).

REGISTRO COMPARATIVO DE LOS DATA LOGGERS PARA LA DETERMINACIÓN DE
LA PRESENCIA DE LA HUMEDAD EN LA ZONA EXPERIMENTAL DE ESTUDIO

Fecha 31/03/2024	Data Logger Punto de Control (No. de serie 65051885)				Altitud	Data Logger Recorrido (No. de serie 65058456)			Altitud	Diferencia		
	Hora	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Punto de rocío (°C)		Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Punto de rocío (°C)		Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Punto de rocío (°C)
1	06:20:00 a.m.	23.5	34.0	6.7	2266.0	26.5	34.0	9.4	2266.0	-3.0	0.0	-2.7
2	06:20:30 a.m.	22.5	34.0	5.9	2268.0	26.0	33.5	8.7	2268.0	-3.5	0.5	-2.8
3	06:21:00 a.m.	22.0	34.0	5.4	2268.0	25.5	32.0	7.6	2269.0	-3.5	2.0	-2.2
4	06:21:30 a.m.	21.5	35.0	5.4	2269.0	24.5	30.5	6.0	2270.0	-3.0	4.5	-0.8
5	06:22:00 a.m.	21.0	35.5	5.2	2268.0	23.5	32.0	5.9	2271.0	-2.5	3.5	-0.7
6	06:22:30 a.m.	20.0	36.0	4.5	2268.0	23.0	32.5	5.7	2272.0	-3.0	3.5	-1.2
7	06:23:00 a.m.	20.0	37.0	4.9	2266.0	22.0	33.5	5.2	2273.0	-2.0	3.5	-0.3
8	06:23:30 a.m.	19.5	38.0	4.8	2266.0	21.0	35.0	6.0	2274.0	-1.5	3.0	0.2
9	06:24:00 a.m.	19.0	38.5	4.6	2266.0	20.0	36.5	4.7	2275.0	-1.0	2.0	-0.1
10	06:24:30 a.m.	18.5	39.0	4.3	2268.0	19.5	37.0	4.4	2277.0	-1.0	2.0	-0.1
11	06:25:00 a.m.	18.0	39.5	4.0	2268.0	19.0	38.0	4.4	2278.0	-1.0	1.5	0.4
12	06:25:30 a.m.	18.0	40.5	4.4	2268.0	18.5	38.0	4.3	2279.0	-0.5	1.5	0.1
13	06:26:00 a.m.	17.5	41.0	4.1	2268.0	18.0	39.5	4.0	2280.0	-0.5	1.5	0.1
14	06:26:30 a.m.	17.5	41.5	4.3	2269.0	17.5	40.5	3.9	2282.0	0.0	1.0	0.4
15	06:27:00 a.m.	17.0	42.0	4.0	2268.0	17.5	41.0	4.1	2282.0	-0.5	1.0	-0.1
16	06:27:30 a.m.	17.0	42.5	4.2	2269.0	17.0	39.5	3.1	2283.0	0.0	3.0	1.1
17	06:28:00 a.m.	16.5	42.5	3.7	2269.0	16.5	39.5	2.7	2284.0	0.0	-3.0	1.0
18	06:28:30 a.m.	16.5	43.0	3.9	2268.0	16.5	40.0	2.9	2285.0	0.0	-3.0	1.0
19	06:29:00 a.m.	16.5	43.5	4.1	2268.0	16.0	40.5	2.8	2286.0	0.5	-3.0	1.5
20	06:29:30 a.m.	16.0	44.0	3.8	2269.0	16.0	40.5	2.8	2287.0	0.0	-3.5	1.2
21	06:30:00 a.m.	16.0	43.5	3.8	2266.0	16.0	41.0	2.8	2288.0	0.0	-2.5	0.8
22	06:30:30 a.m.	16.0	44.0	3.8	2268.0	15.5	41.0	2.3	2290.0	0.5	-3.0	1.5
23	06:31:00 a.m.	15.5	45.0	3.8	2268.0	15.5	41.0	2.3	2291.0	0.0	-4.0	1.3
24	06:31:30 a.m.	15.5	44.5	3.8	2268.0	15.5	41.5	2.2	2292.0	0.0	-3.0	1.2
25	06:32:00 a.m.	15.5	45.0	3.8	2268.0	15.0	42.5	2.4	2293.0	0.5	-2.5	1.2
26	06:32:30 a.m.	15.5	45.5	3.8	2268.0	15.0	42.5	2.4	2294.0	0.5	-3.0	1.4
27	06:33:00 a.m.	15.0	45.5	3.3	2268.0	15.0	43.0	2.5	2295.0	0.0	-2.5	0.8
28	06:33:30 a.m.	15.0	45.5	3.3	2266.0	15.0	43.0	2.5	2296.0	0.0	-2.5	0.8
29	06:34:00 a.m.	15.0	45.5	3.3	2268.0	14.5	43.0	2.1	2297.0	0.5	-2.5	1.2
30	06:34:30 a.m.	15.0	45.5	3.3	2268.0	14.5	43.0	2.1	2298.0	0.5	-2.5	1.2
31	06:35:00 a.m.	15.0	46.0	3.5	2269.0	14.5	43.5	2.2	2300.0	0.5	-2.5	1.3
32	06:35:30 a.m.	15.0	46.0	3.5	2268.0	14.5	43.5	2.2	2301.0	0.5	-2.5	1.3
33	06:36:00 a.m.	15.0	46.5	3.8	2268.0	14.5	44.0	2.4	2302.0	0.5	-2.5	1.3
34	06:36:30 a.m.	14.5	46.5	3.2	2266.0	14.5	43.5	2.2	2303.0	0.0	-3.0	1.0
35	06:37:00 a.m.	14.5	46.5	3.2	2269.0	14.5	43.5	2.2	2304.0	0.0	-3.0	1.0
36	06:37:30 a.m.	14.5	47.0	3.3	2269.0	14.5	44.5	2.6	2305.0	0.0	-2.5	0.7
37	06:38:00 a.m.	14.5	47.0	3.3	2268.0	14.0	44.0	2.0	2306.0	0.5	-3.0	1.3
38	06:38:30 a.m.	14.5	47.0	3.3	2268.0	14.0	44.5	2.1	2306.0	0.5	-2.5	1.2
39	06:39:00 a.m.	14.5	47.5	3.5	2268.0	14.0	45.0	2.3	2307.0	0.5	-2.5	1.2
40	06:39:30 a.m.	14.5	47.5	3.5	2268.0	14.0	44.5	2.1	2308.0	0.5	-3.0	1.4
41	06:40:00 a.m.	14.5	48.0	3.8	2268.0	14.0	44.5	2.1	2305.0	0.5	-3.5	1.5
42	06:40:30 a.m.	14.0	48.0	3.2	2269.0	14.0	44.5	2.1	2306.0	0.0	-3.5	1.1
43	06:41:00 a.m.	14.0	48.0	3.2	2269.0	14.0	45.0	2.3	2304.0	0.0	-3.0	0.9
44	06:41:30 a.m.	14.0	48.0	3.2	2268.0	14.0	45.5	2.4	2304.0	0.0	-2.5	0.8
45	06:42:00 a.m.	14.0	48.5	3.3	2268.0	14.0	47.5	3.0	2303.0	0.0	-1.0	0.5
46	06:42:30 a.m.	14.0	48.5	3.3	2268.0	14.0	48.0	3.2	2303.0	0.0	-0.5	0.1
47	06:43:00 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	48.5	3.3	2302.0	0.0	-0.5	0.2
48	06:43:30 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.0	3.5	2302.0	0.0	0.0	0.0
49	06:44:00 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.0	3.5	2301.0	0.0	0.0	0.0
50	06:44:30 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.0	3.5	2301.0	0.0	0.0	0.0
51	06:45:00 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.0	3.5	2301.0	0.0	0.0	0.0
52	06:45:30 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	48.5	3.2	2302.0	0.0	0.5	0.2
53	06:46:00 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.0	3.5	2301.0	0.0	0.0	0.0
54	06:46:30 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.0	3.5	2301.0	0.0	0.0	0.0
55	06:47:00 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.0	3.5	2301.0	0.0	0.0	0.0
56	06:47:30 a.m.	13.5	49.5	3.2	2269.0	14.0	49.5	3.8	2300.0	0.5	0.0	-0.3
57	06:48:00 a.m.	13.5	49.0	3.0	2268.0	14.0	49.5	3.8	2300.0	-0.5	-0.5	-0.8
58	06:48:30 a.m.	13.5	49.0	3.0	2268.0	14.0	49.5	3.8	2300.0	0.5	-0.5	0.2
59	06:49:00 a.m.	14.0	49.0	3.3	2268.0	14.0	49.5	3.8	2299.0	0.0	-0.5	0.1
60	06:49:30 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.5	3.8	2299.0	0.0	-0.5	0.1
61	06:50:00 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.5	3.8	2299.0	0.0	-0.5	0.1
62	06:50:30 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.5	3.8	2299.0	0.0	-0.5	-0.1
63	06:51:00 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.5	3.8	2299.0	0.0	-0.5	-0.1
64	06:51:30 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.5	3.8	2298.0	0.0	-0.5	-0.1
65	06:52:00 a.m.	14.0	49.0	3.5	2268.0	14.0	49.5	3.8	2298.0	0.0	-0.5	-0.1
66	06:52:30 a.m.	13.5	49.0	3.0	2268.0	14.0	49.5	3.8	2298.0	0.5	-0.5	-0.6
67	06:53:00 a.m.	13.5	49.0	3.0	2268.0	14.0	49.5	3.8	2297.0	-0.5	-0.5	0.6
68	06:53:30 a.m.	13.5	49.5	3.2	2268.0	14.0	49.5	3.8	2297.0	-0.5	0.0	-0.4
69	06:54:00 a.m.	13.5	49.5	3.2	2268.0	14.0	49.5	3.8	2297.0	-0.5	0.0	-0.4
70	06:54:30 a.m.	13.5	49.5	3.2	2268.0	14.0	50.0	3.8	2297.0	-0.5	-0.5	-0.6
71	06:55:00 a.m.	13.5	49.5	3.2	2268.0	14.0	50.0	3.8	2298.0	-0.5	-0.5	0.6
72	06:55:30 a.m.	13.5	49.5	3.2	2268.0	14.0	50.0	3.8	2298.0	-0.5	-0.5	-0.6
73	06:56:00 a.m.	13.5	49.5	3.2	2268.0	14.0	50.0	3.8	2298.0	-0.5	-0.5	-0.6

Tabla 11: Registro de datos de la temperatura ambiental.

Respecto a la temperatura ambiental, se señaló en color amarillo aquellos puntos de coincidencia de las temperaturas registradas tanto en el punto de control como en los distintos puntos del recorrido, es decir, aquellas temperaturas que son las mismas; los otros registros muestran diferencias hasta de un grado centígrado, los primeros registros registran una diferencia de más de tres grados, posiblemente se deba a la preparación de los instrumentos al inicio del recorrido.

En la imagen 72, se indica el transecto recorrido con los puntos correspondientes a los lugares de los que se obtuvo una imagen termográfica, estas imágenes serán analizadas con el software correspondiente para determinar las temperaturas máximas obtenidas y cuales lugares son los más recurrentes, como pavimentos, techumbres, muros, o alguna otra superficie en la que impacte, estos registros se colocaran en la tabla de las temperaturas ambientales en la celda correspondiente a la hora en la que fue tomada dicha fotografía.



Imagen 72: Transecto en la zona de estudio.

Fuente: Google Maps, 2023.

El análisis de cada imagen se realizó con el software *Thermal Studio*, este análisis se presentó en dos partes: la primera parte se conforma de tres imágenes (Imágenes 73, 75, 77, 79, 81 y 83) en el orden siguiente: la imagen a la izquierda corresponde a la imagen termográfica de la cámara, en la que se aprecia la paleta de colores empleada denominada “Hierro”, los colores cálidos representan

la más alta temperatura y los colores fríos la más baja temperatura; la imagen del centro contiene la escala en grados Celsius, y se indica la presencia de la temperatura en el contexto urbano-arquitectónico; la imagen a la derecha muestra la integración de la imagen térmica al contexto real, se resalta el contraste de la máxima temperatura con la mínima temperatura en las superficies en las cuales se detecta su presencia. La segunda parte se muestra la imagen con el resultado del análisis termográfico (Imágenes 74, 76, 78, 80, 82 y 84), contiene la escala grafica con la graduación en grados Celsius, las coordenadas de localización, la temperatura de los puntos indicados y, para este caso, la imagen de la fusión de las temperaturas en el contexto real; cabe señalar que esta opción se puede cambiar, colocando la imagen termográfica original o la imagen de la presencia de la temperatura en el ambiente, llamada “Thermal”.

PUNTO 01

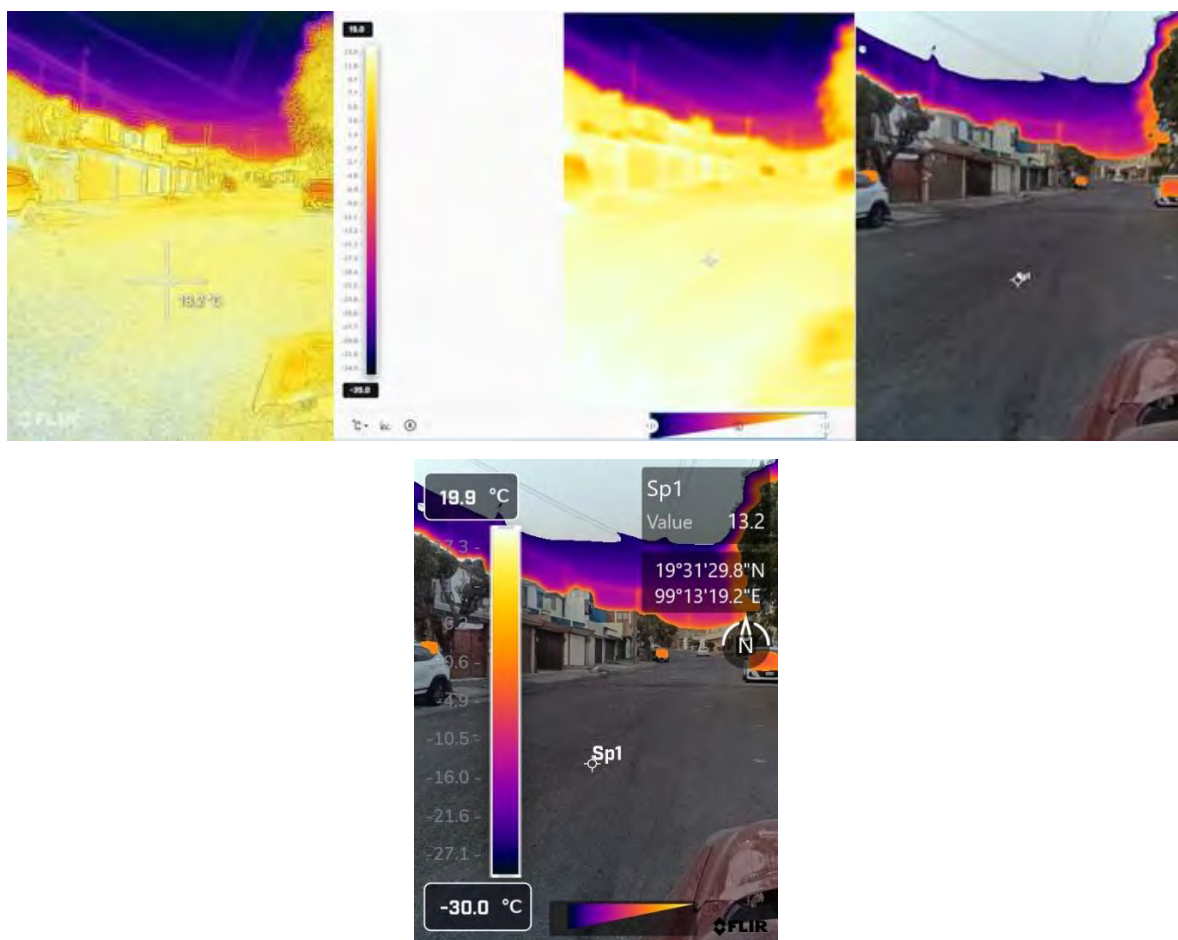


Imagen 73 y 74: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 02

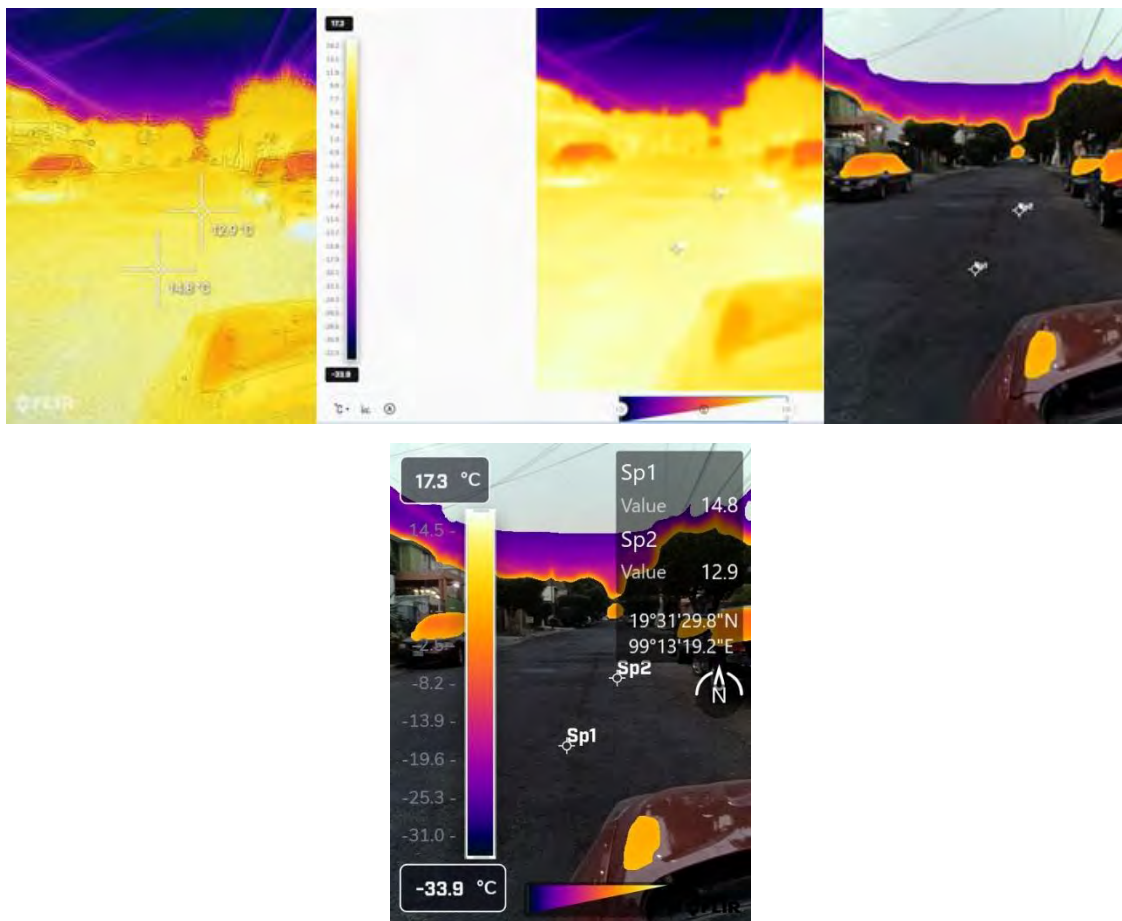


Imagen 75 y 76: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 03

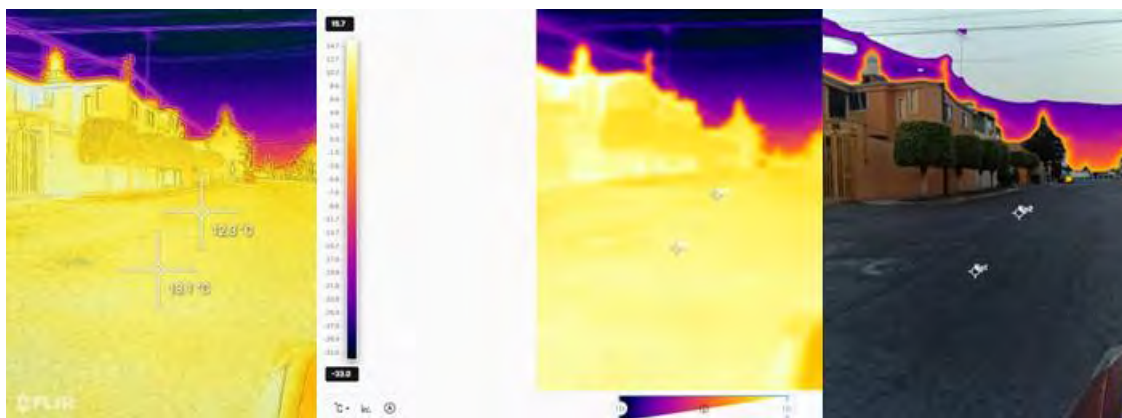


Imagen 77: Análisis termográfico de un punto del transecto.



Imagen 78: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 04

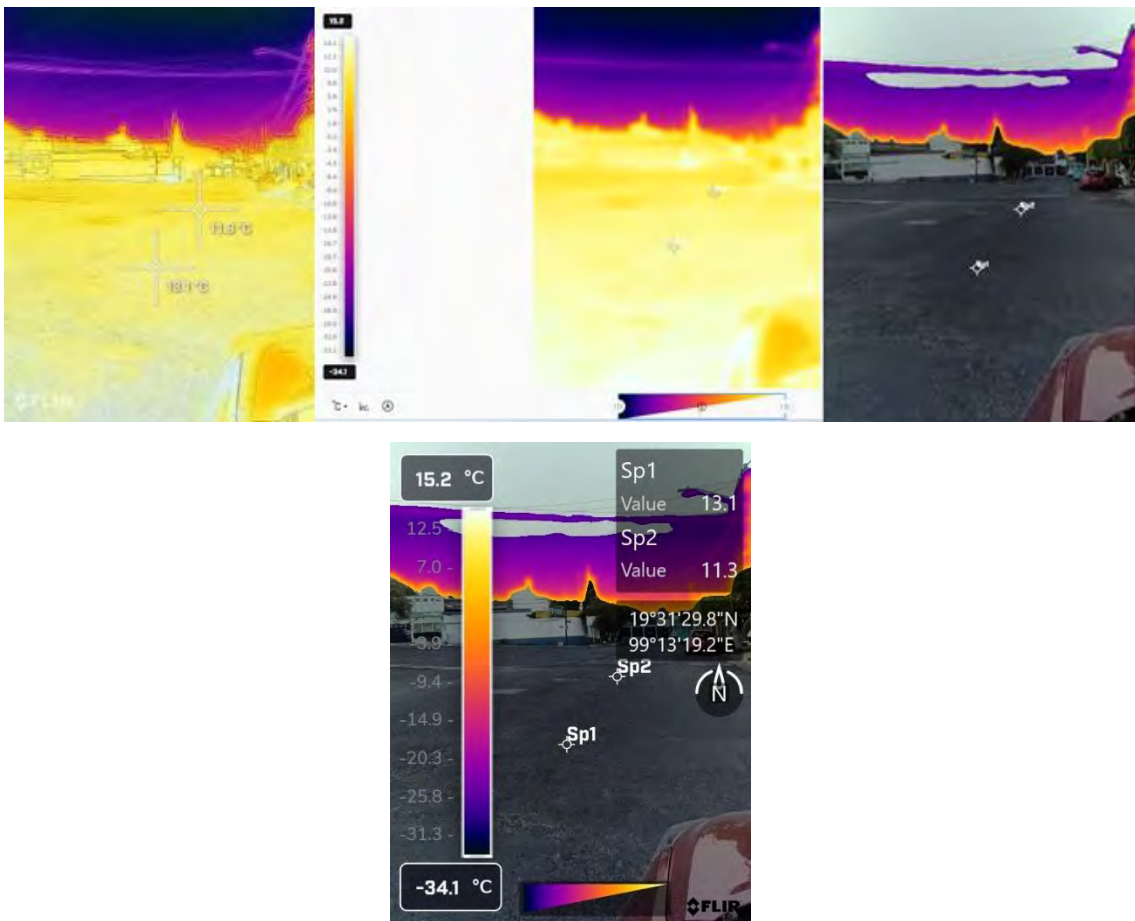


Imagen 79 y 80: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 05



Imagen 81 y 82: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 06

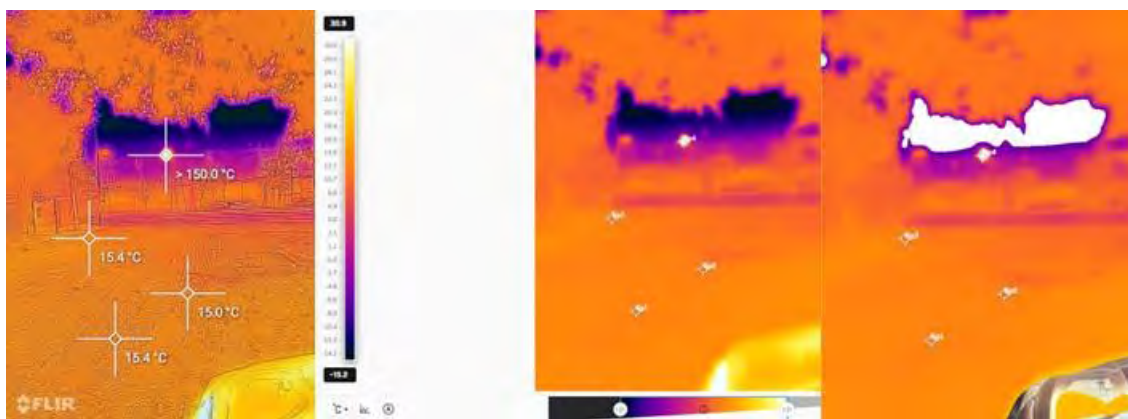


Imagen 83: Análisis termográfico de un punto del transecto.



Imagen 84: Análisis termográfico de un punto del transecto.

5.3.2 Prueba vespertina: Recorrido a las 15:00 hr

Este recorrido se realizó el día 29 de marzo de 2024, entre las 15:00 y las 17:00 horas, se pronosticaron para ese día temperaturas mayores a 30°C, por lo que se tomó la decisión de evaluar las condiciones de temperatura ambientales y determinar la existencia de la UHI en el sitio de estudio. Se programaron los *data loggers* para un registro a cada 2 minutos, se anexo a la tabla comparativa la lectura de dos estaciones meteorológicas: la Presa Madin, como la EMA en el ámbito semirrural, y la EMA ubicada en el Instituto Politécnico Nacional, en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas II, a una distancia aproximada de 7.91 Km y con una diferencia de altitud en promedio de 60 m por lo cual cumple con las condicionantes del rango establecido para su toma de registros de temperatura.



Servicio Meteorológico Nacional	
Red:	SMN
Estación:	ENCBII
Estado:	Ciudad de México
Municipio:	Gustavo A. Madero
Latitud (N):	19.49866944
Longitud (O):	-99.14545278
Altitud:	2240 msnm

Imagen 85: Localización de la EMA ENCBII en la Ciudad de México.

Fuente: Google Maps 2024.

Por tanto, la tabla comparativa de los parámetros atmosféricos que estamos considerando para la investigación quedo de la siguiente forma, incorporando los datos de las dos estaciones meteorológicas para sustentar la lectura obtenida por los *data loggers* empleados en el sitio de estudio.

Fecha	Data Logger Punto de Control			Data Logger Recorrido			Diferencia			EMA Presa Madin		EMA ENCB II	
3/29/2024	(No. de serie 65051885)			(No. de serie 65058456)									
Hora	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Punto de rocío (°C)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
2:55:00 PM	25.0	56.5	15.8	25.5	54.0	15.5	-0.5	2.5	0.3	27.1	11.0	25.4	34.0
2:57:00 PM	25.0	57.0	15.9	25.5	54.0	15.5	-0.5	3.0	0.4				
2:59:00 PM	25.5	57.5	16.5	25.5	55.0	15.8	0.0	2.5	0.7				
3:01:00 PM	25.5	57.0	16.4	25.5	56.5	16.2	0.0	0.5	0.2	26.5	10.0	25.0	33.0
3:03:00 PM	25.5	55.5	15.9	25.5	57.5	16.5	0.0	-2.0	-0.6				
3:05:00 PM	26.5	22.5	3.4	27.0	23.0	4.1	-0.5	-0.5	-0.7				
3:07:00 PM	30.0	19.5	4.2	28.5	18.5	2.3	1.5	1.0	1.9				
3:09:00 PM	32.0	18.5	5.1	29.0	17.0	1.5	3.0	1.5	3.6				
3:11:00 PM	33.5	16.0	4.2	29.0	19.0	3.1	4.5	-3.0	1.1	27.0	9.0	25.1	34.0
3:13:00 PM	35.5	14.5	4.4	29.5	16.5	1.5	6.0	-2.0	2.9				
3:15:00 PM	36.0	13.5	3.8	29.5	18.0	2.7	6.5	-4.5	1.1				
3:17:00 PM	34.0	13.5	2.2	30.0	16.0	1.5	4.0	-2.5	0.7				
3:19:00 PM	33.0	14.0	2.0	30.0	17.0	2.3	3.0	-3.0	-0.3				
3:21:00 PM	34.0	13.5	2.2	30.0	14.5	0.1	4.0	-1.0	2.1	27.1	9.0	25.2	34.0
3:23:00 PM	35.0	12.5	1.9	30.0	15.5	1.0	5.0	-3.0	0.9				
3:25:00 PM	35.0	13.0	2.5	30.0	14.0	-0.4	5.0	-1.0	2.9				
3:27:00 PM	35.5	12.0	1.8	32.5	14.0	1.6	3.0	-2.0	0.2				
3:29:00 PM	35.0	13.0	2.5	34.5	13.0	2.1	0.5	0.0	0.4				
3:31:00 PM	36.5	13.0	3.7	35.0	12.0	1.4	1.5	1.0	2.3	27.3	9.0	25.3	34.0
3:33:00 PM	37.0	12.5	3.5	35.5	11.5	1.2	1.5	1.0	2.3				
3:35:00 PM	36.5	13.0	3.7	36.0	12.5	2.7	0.5	0.5	1.0				
3:37:00 PM	36.5	12.0	2.5	36.5	11.5	1.9	0.0	0.5	0.6				
3:39:00 PM	36.5	12.5	3.1	36.5	12.0	2.5	0.0	0.5	0.6				
3:41:00 PM	37.0	13.0	4.0	36.0	11.5	1.5	1.0	1.5	2.5	27.4	8.0	25.2	34.0
3:43:00 PM	37.0	12.0	2.9	36.0	12.0	2.1	1.0	0.0	0.8				
3:45:00 PM	35.5	12.0	1.8	37.0	11.0	1.7	-1.5	1.0	0.1				
3:47:00 PM	34.5	13.0	2.1	37.5	11.5	2.7	-3.0	1.5	-0.6				
3:49:00 PM	34.0	12.5	1.2	37.5	11.0	2.1	-3.5	1.5	-0.9				
3:51:00 PM	34.5	13.0	2.1	37.5	11.0	2.1	-3.0	2.0	0.0	27.9	9.0	24.9	35.0
3:53:00 PM	34.5	13.0	2.1	37.0	11.0	1.7	-2.5	2.0	0.4				
3:55:00 PM	34.0	12.5	1.2	37.0	11.0	1.7	-3.0	1.5	-0.5				
3:57:00 PM	34.0	13.0	1.7	36.5	11.5	1.9	-2.5	1.5	-0.2				
3:59:00 PM	35.0	13.0	2.5	37.0	11.0	1.7	-2.0	2.0	0.8				
4:01:00 PM	33.5	12.0	0.2	37.5	10.5	1.4	-4.0	1.5	-1.2	27.1	10.0	25.1	35.0
4:03:00 PM	34.0	12.0	0.6	37.5	12.0	3.3	-3.5	0.0	-2.7				
4:05:00 PM	34.5	12.0	1.0	38.0	11.0	2.4	-3.5	1.0	-1.4				

Tabla 12: Registro de datos de la temperatura ambiental.

Fuente: Elaboración propia con software Excel.

Se resalta en color amarillo los datos obtenidos cuyas temperaturas son mayores a 3°C entre el punto de control y los puntos del recorrido, además, las temperaturas obtenidas se pueden contrastar con las temperaturas registradas por las dos EMA's que se incorporaron al estudio.

Con base en este análisis, se puede observar que existe un cambio en el signo de las temperaturas, lo que significa que en algunos puntos del recorrido la mayor temperatura detectada se observa en los puntos del recorrido y no en el punto de control, este cambio posiblemente suceda por la hora del estudio, por los materiales de las superficies urbanas y arquitectónicas, como el pavimento y los aplanados en los muros, por la poca área verde de la zona de estudio; también hay que considerar que a esas horas del recorrido las lecturas registradas se encuentran más cerca de la avenida

Gustavo Baz Prada, es la hora con tráfico intenso principalmente por la movilidad de personas hacia sus distintos centros de actividades.

Las gráficas de temperaturas obtenidas demuestran el cambio de temperatura entre los dos *data loggers*, se aprecian los puntos en los cuales ocurre este cambio con las temperaturas:

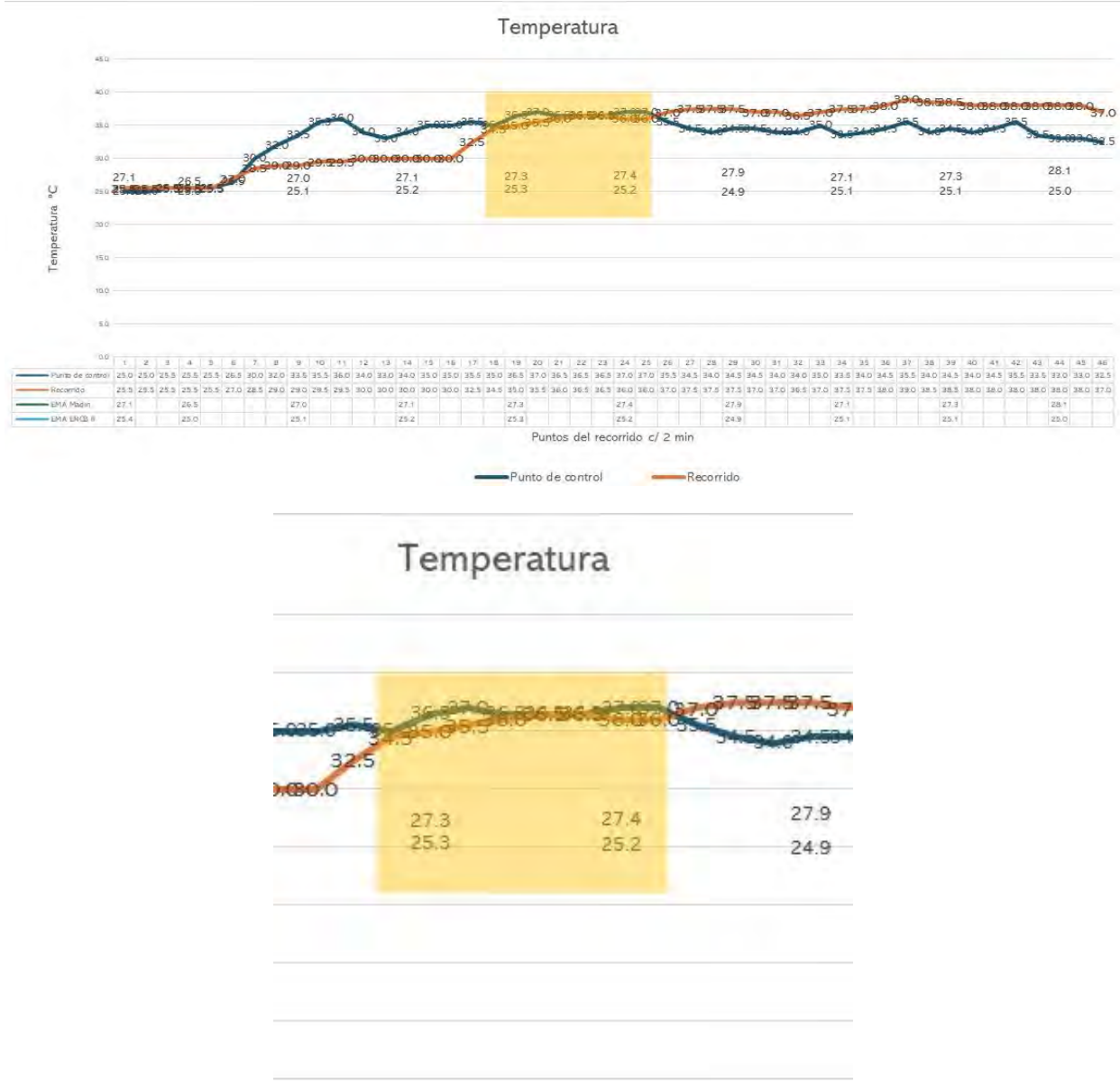


Imagen 86: Grafica comparativa entre las temperaturas de los *data loggers*.

Las imágenes térmicas obtenidas de los puntos donde ocurren esos cambios se presentan a continuación:

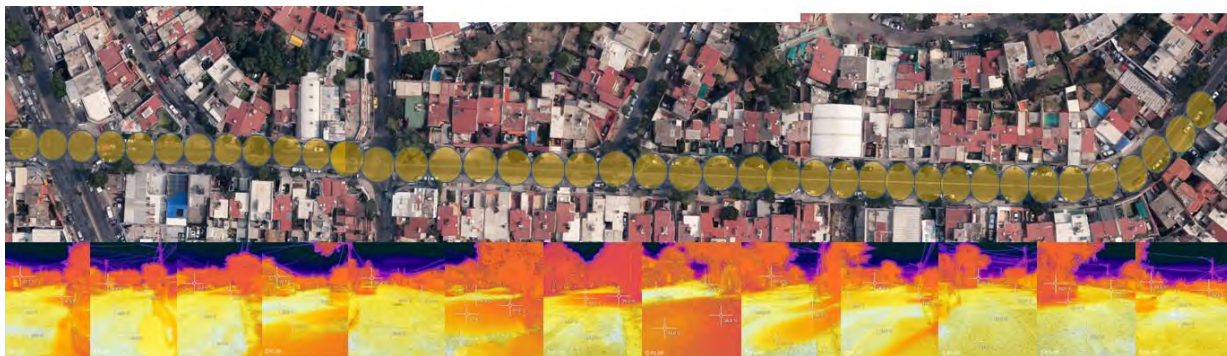


Imagen 87: Imágenes térmicas del transecto en estudio.



Imagen 88: Zona de transición de temperaturas en el transecto.

La imagen 87 indica el tramo del transecto donde se presentó el intercambio del registro de temperaturas, siendo ahora, las de mayor registro, del *data logger* empleado para el recorrido, en la parte inferior del croquis se colocan las imágenes termográficas que componen a la sección del transecto; estas imágenes serán analizadas con el software para mostrar los registros de las

temperaturas obtenidos en las superficies de los distintos elementos urbano-arquitectónicos del lugar, además de que nos indicara cual es el porcentaje de alta temperatura que tiene la superficie en cuestión.

PUNTO 01

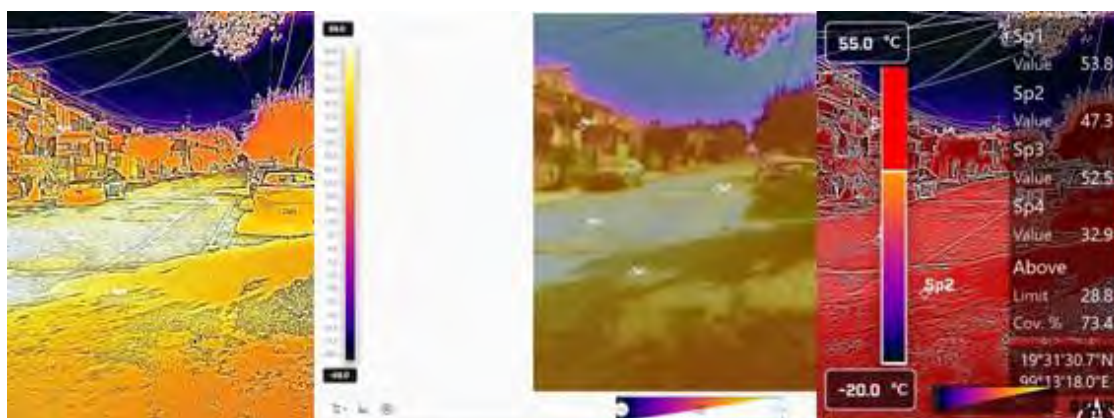


Imagen 89: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 02

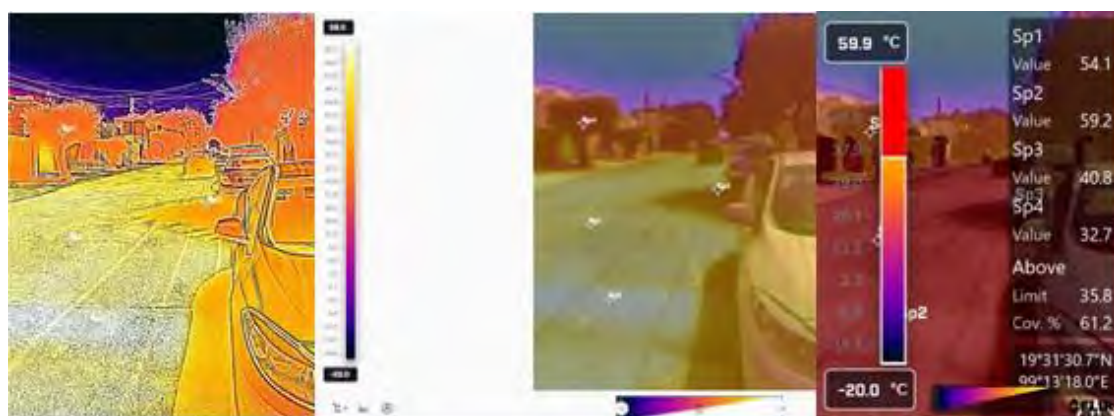


Imagen 90: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 03

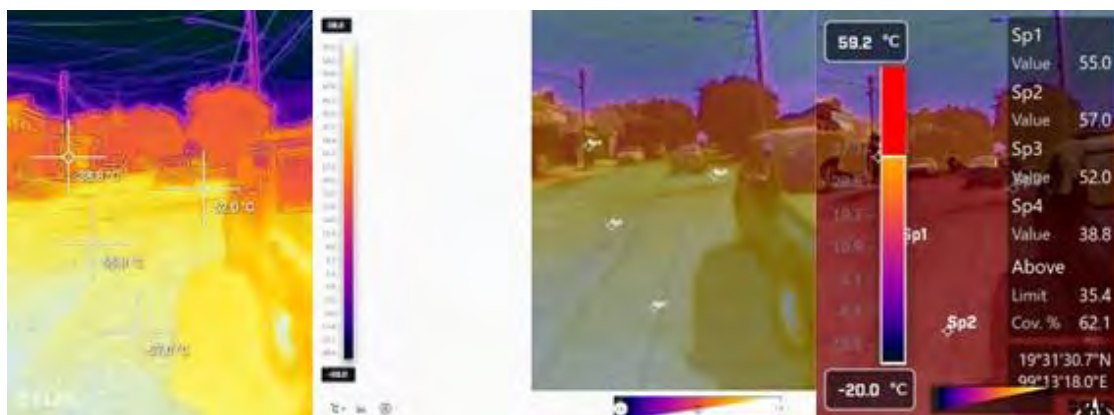


Imagen 91: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 04

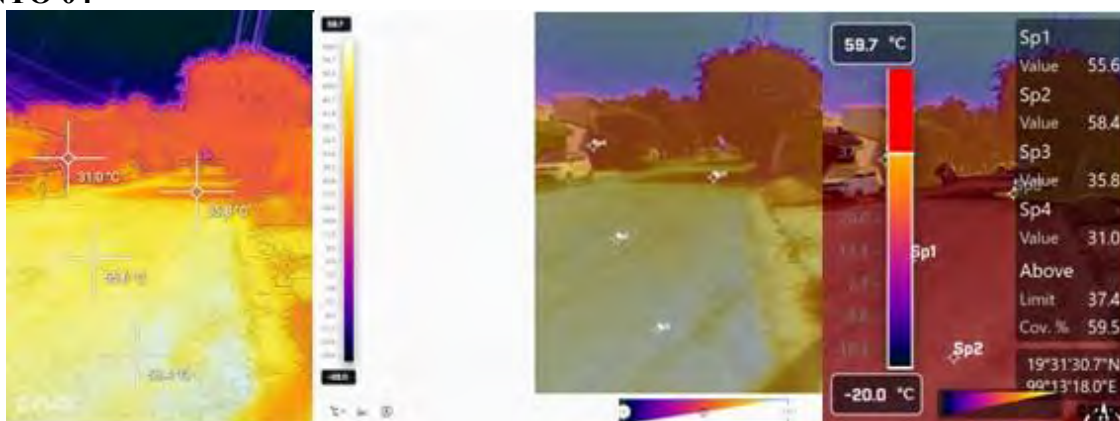


Imagen 92: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 05

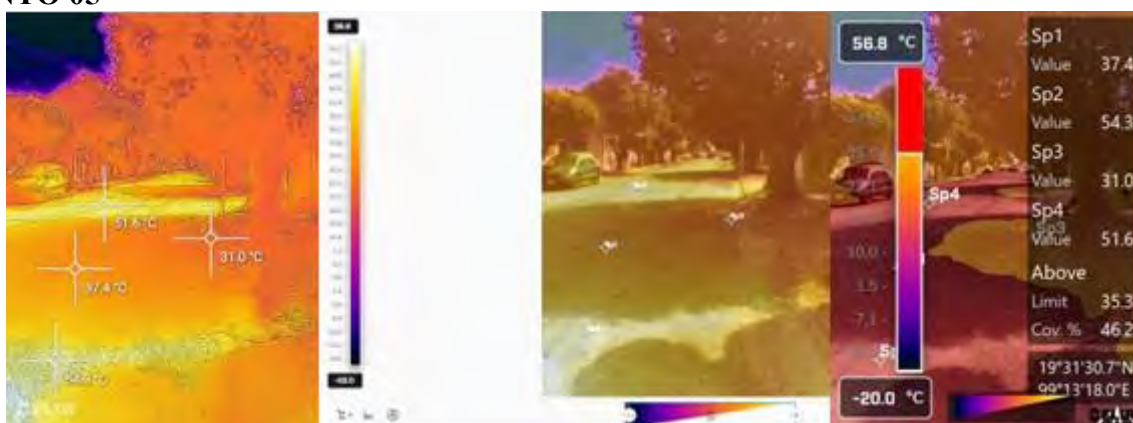


Imagen 93: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 06

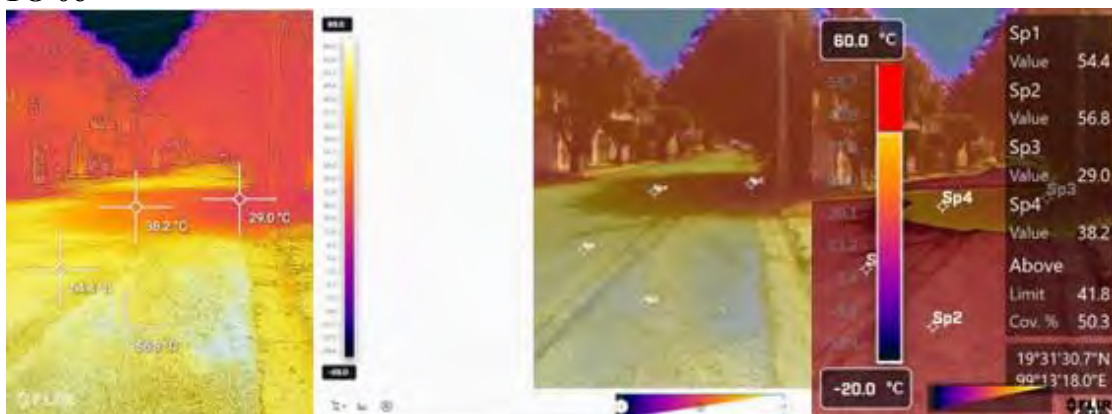


Imagen 94: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 07

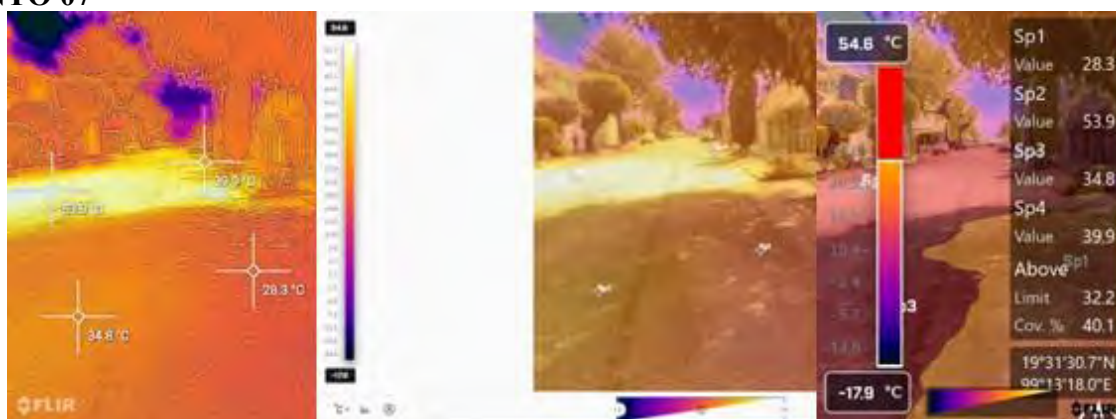


Imagen 95: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 08



Imagen 96: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 09

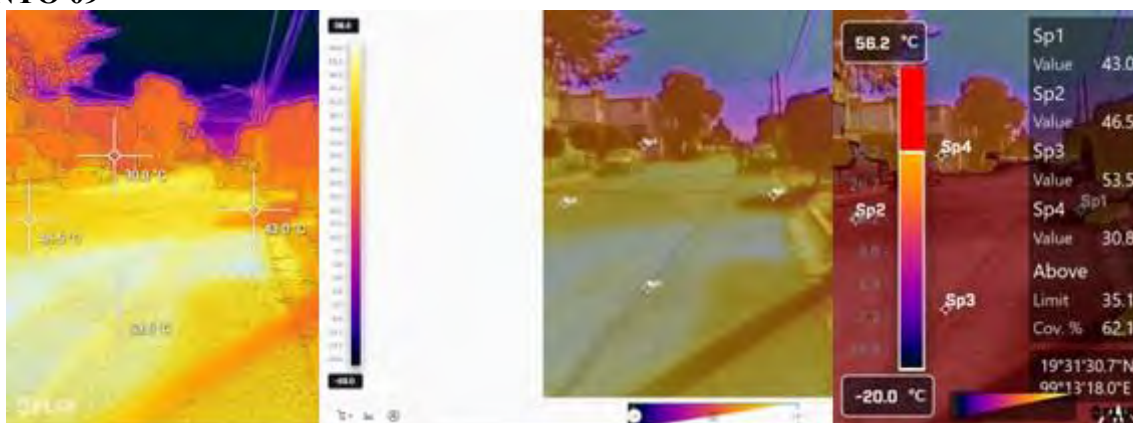


Imagen 97: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 10

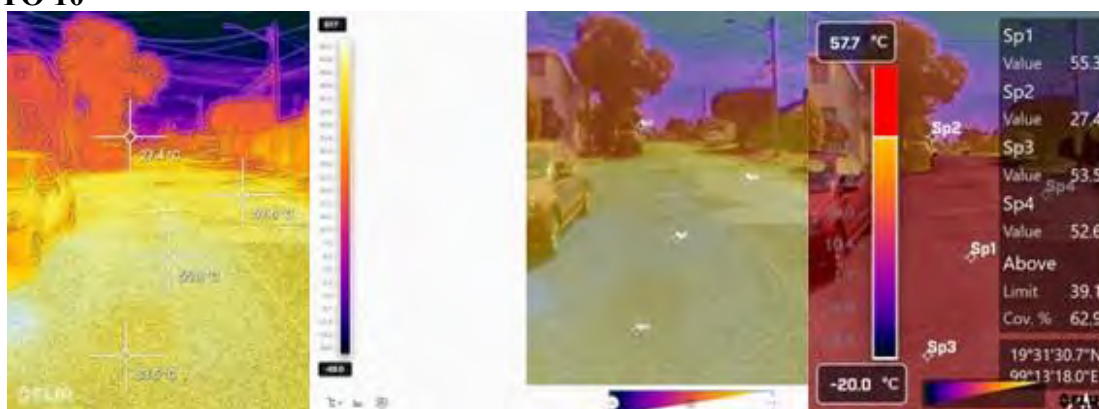


Imagen 98: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 11

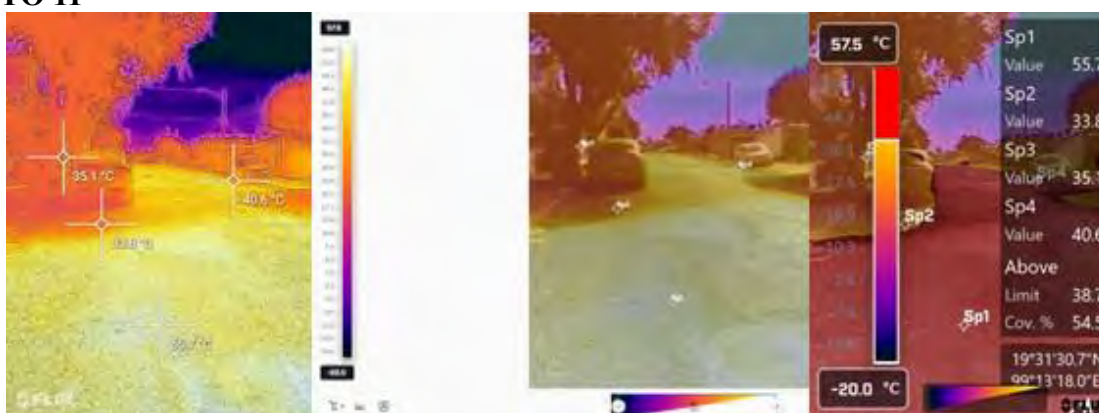


Imagen 99: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 12

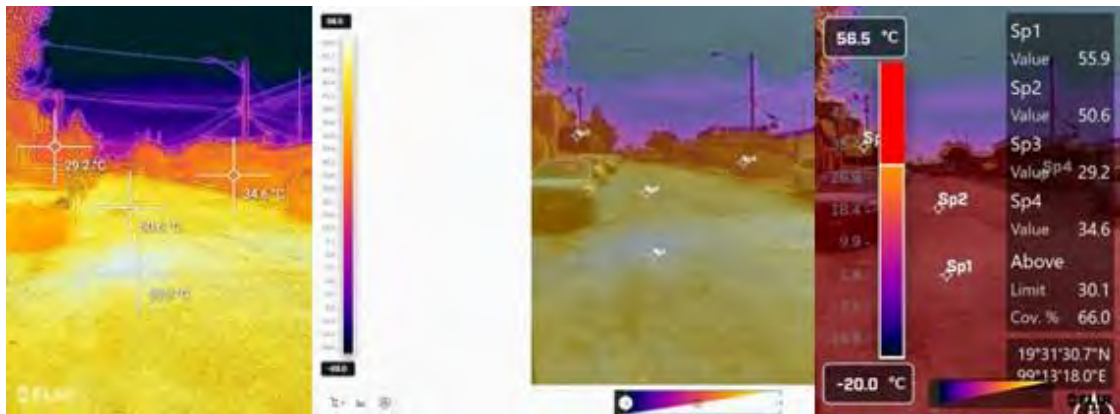


Imagen 100: Análisis termográfico de un punto del transecto.

Estas imágenes respaldan las lecturas obtenidas por los *data loggers* tanto en el punto de control como en los puntos del recorrido, de la poca diferencia entre existente en la comparación de datos, como de ser el punto de control con mayor temperatura cambia ahora a ser el punto con menor temperatura respecto a los puntos del recorrido, este cambio de parámetro aumenta hasta el término del transecto, en el cual se muestra la mayor diferencia de temperaturas del sitio de estudio, confirmando la presencia de la Isla de Calor Urbana dados los parámetros presentados.

La siguiente tabla indica el rango de la hora en la cual ocurrió este cambio, entre las 15:29 hr y las 15:45 hr.

3:29:00 PM	35.0	13.0	2.5	34.5	13.0	2.1	0.5	0.0	0.4				
3:31:00 PM	36.5	13.0	3.7	35.0	12.0	1.4	1.5	1.0	2.3	27.3	9.0	25.3	34.0
3:33:00 PM	37.0	12.5	3.5	35.5	11.5	1.2	1.5	1.0	2.3				
3:35:00 PM	36.5	13.0	3.7	36.0	12.5	2.7	0.5	0.5	1.0				
3:37:00 PM	36.5	12.0	2.5	36.5	11.5	1.9	0.0	0.5	0.6				
3:39:00 PM	36.5	12.5	3.1	36.5	12.0	2.5	0.0	0.5	0.6				
3:41:00 PM	37.0	13.0	4.0	36.0	11.5	1.5	1.0	1.5	2.5	27.4	6.0	25.2	34.0
3:43:00 PM	37.0	12.0	2.9	36.0	12.0	2.1	1.0	0.0	0.8				
3:45:00 PM	35.5	12.0	1.8	37.0	11.0	1.7	-1.5	1.0	0.1				
3:47:00 PM	34.5	13.0	2.1	37.5	11.5	2.7	-3.0	1.5	-0.6				
3:49:00 PM	34.0	12.5	1.2	37.5	11.0	2.1	-3.5	1.5	-0.9				
3:51:00 PM	34.5	13.0	2.1	37.5	11.0	2.1	-3.0	2.0	0.0	27.9	9.0	24.9	35.0
3:53:00 PM	34.5	13.0	2.1	37.5	11.0	2.1	-3.0	2.0	0.0				

Tabla 13: Registro de datos de la temperatura ambiental.

Como parte de este recorrido, se muestra la última sección del transecto en la cual se detectó la mayor diferencia entre temperaturas de los dos *data loggers*, se anexa el croquis donde ocurrió dicha lectura de datos y las imágenes termográficas correspondientes al análisis.



Imagen 101: Ultima parte del transecto en estudio.

Se anexa la parte de la tabla de registros de temperatura del último tramo del transecto analizado.

4:07:00 PM	35.5	12.0	1.8	39.0	10.0	1.9	-3.5	2.0	-0.1				
4:09:00 PM	34.0	12.5	1.2	38.5	10.0	1.5	-4.5	2.5	-0.3				
4:11:00 PM	34.5	12.5	1.6	38.5	10.5	2.2	-4.0	2.0	-0.6	27.3	8.0	25.1	36.0
4:13:00 PM	34.0	12.5	1.2	38.0	10.5	1.8	-4.0	2.0	-0.6				
4:15:00 PM	34.5	12.5	1.6	38.0	9.0	-0.3	-3.5	3.5	1.9				
4:17:00 PM	35.5	12.5	2.3	38.0	9.5	0.4	-2.5	3.0	1.9				
4:19:00 PM	33.5	11.5	-0.4	38.0	9.0	-0.3	-4.5	2.5	-0.1				
4:21:00 PM	33.0	12.5	0.4	38.0	9.5	0.4	-5.0	3.0	0.0	28.1	8.0	25.0	36.0
4:23:00 PM	33.0	13.0	0.9	38.0	9.5	0.4	-5.0	3.5	0.5				
4:25:00 PM	32.5	24.0	9.3	37.0	9.5	-0.3	-4.5	14.5	9.6				

Tabla 14: Registro de datos de la temperatura ambiental.

PUNTO 01



Imagen 102: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 02

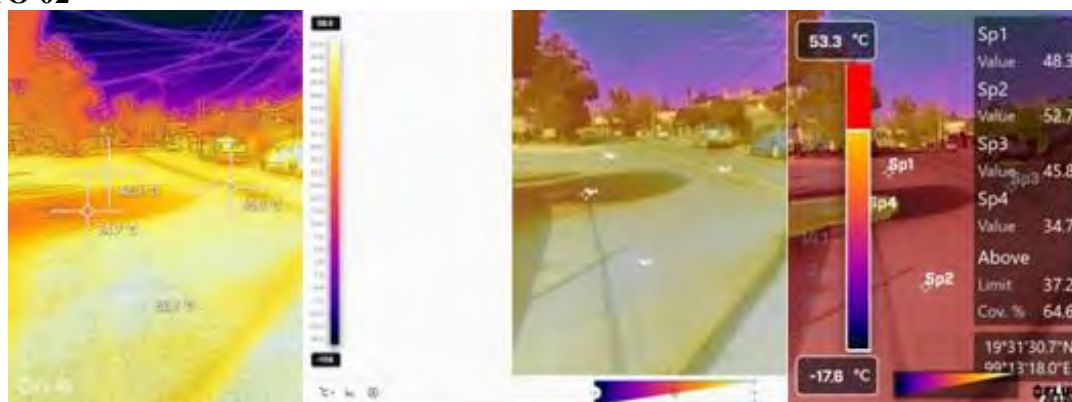


Imagen 103: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 03

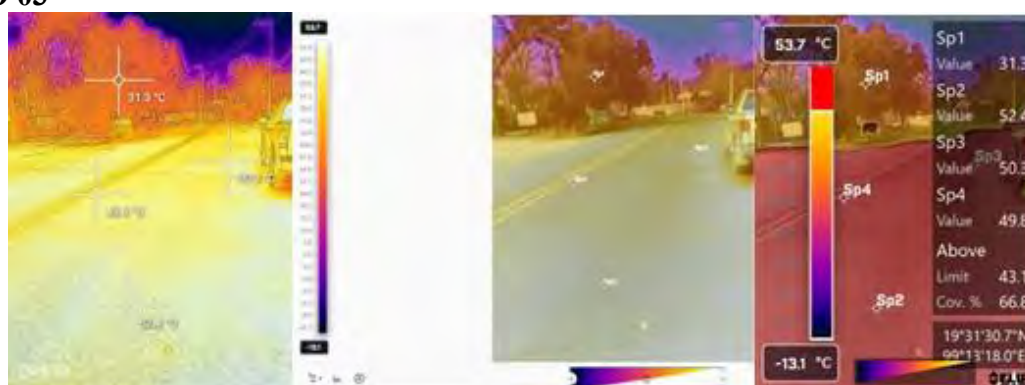


Imagen 104: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 04

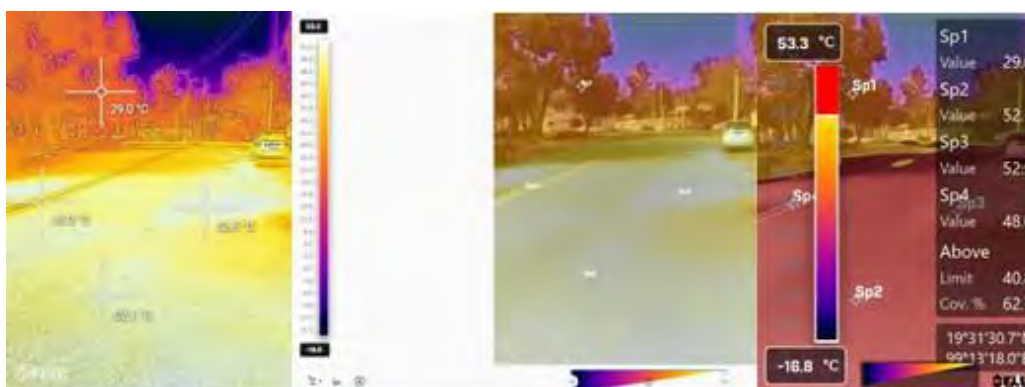


Imagen 105: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 05

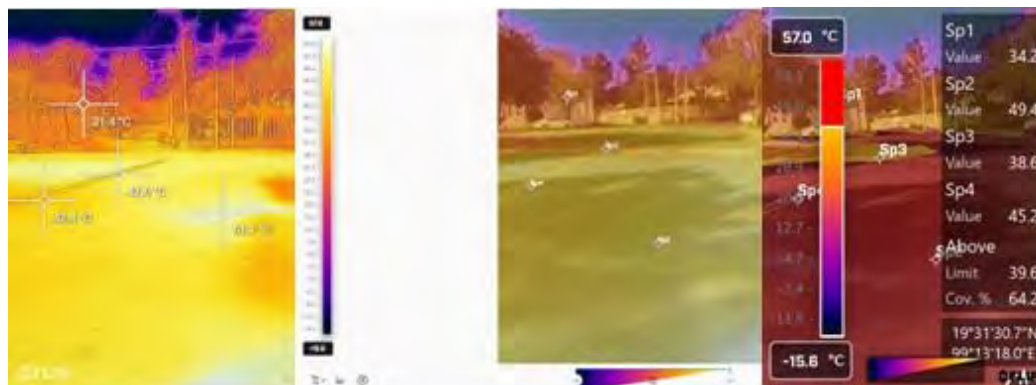


Imagen 106: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 06



Imagen 107: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 07

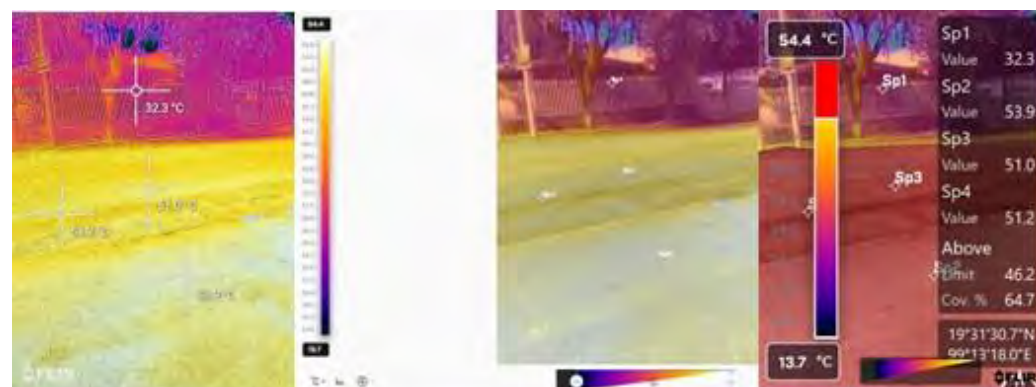


Imagen 108: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 08

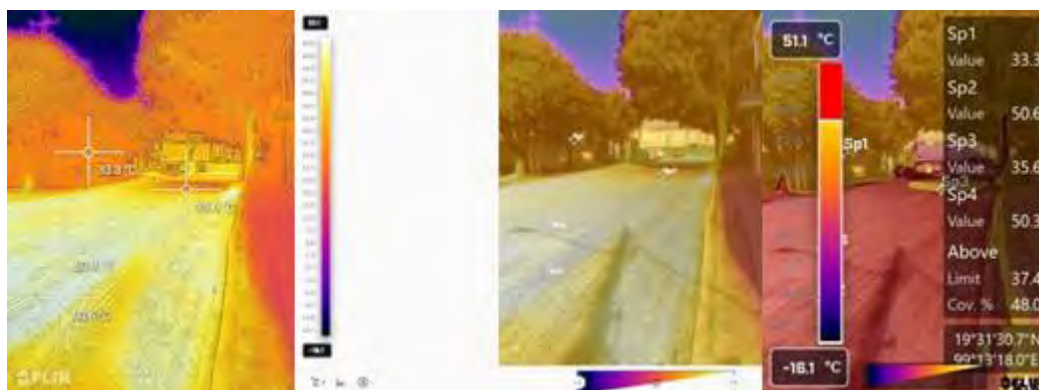


Imagen 109: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 09



Imagen 110: Análisis termográfico de un punto del transecto.

PUNTO 10

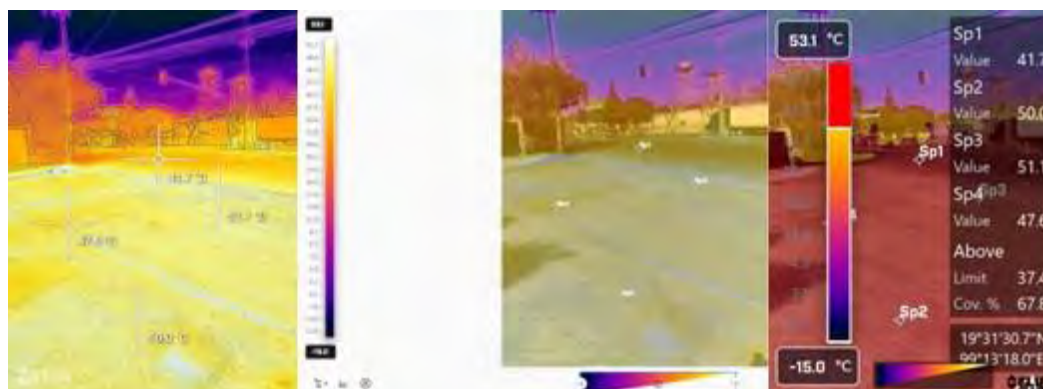


Imagen 111: Análisis termográfico de un punto del transecto.

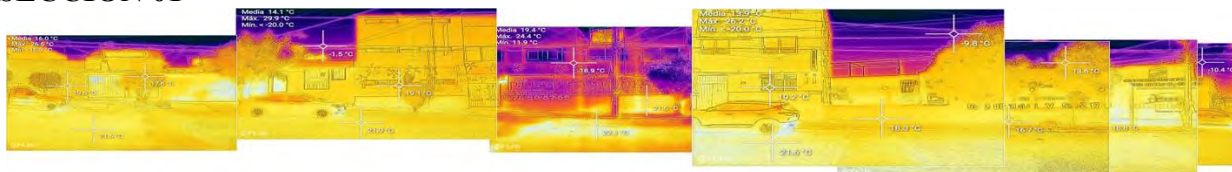
En las imágenes 102 a 111, se muestran los análisis termográficos que componen esta parte del transecto, los registros de mayor temperatura alcanzan y, en algunos casos, sobrepasan los 50°C. Cabe señalar que la escala de temperatura de las imágenes nos indica una temperatura por debajo de 0°C, esta temperatura hace referencia a la temperatura del cielo, registrada por la cámara termográfica, y la cual sirve como referencia para determinar que la temperatura de la superficie de los materiales de construcción transforma la radiación solar recibida en calor, y cuando este empieza a transmitirse hacia el ambiente, contribuye de manera significativa a la formación de la Isla de Calor Urbana. Para completar los resultados obtenidos de la investigación, se realizó un mapa termográfico de la zona de estudio con los datos de los análisis termográficos bajo los siguientes criterios:

- a) Del cañón urbano se obtuvieron las imágenes termográficas del lado donde no incidió la radiación solar de manera directa, es decir, aquel que tenga la sombra proyectada por los espacios arquitectónicos y los elementos de las áreas verdes, como los árboles.
- b) Se selecciono la sección del transecto con la mayor temperatura registrada para su análisis, se registraron estas imágenes termográficas para formar el perfil termográfico.
- c) Las imágenes termográficas se alinearon con base en la sección del transecto, para esto se trató de obtener las imágenes bajo un mismo encuadre y enfoque que nos permitió construir una especie de vista frontal de las fachadas de la sección analizada.

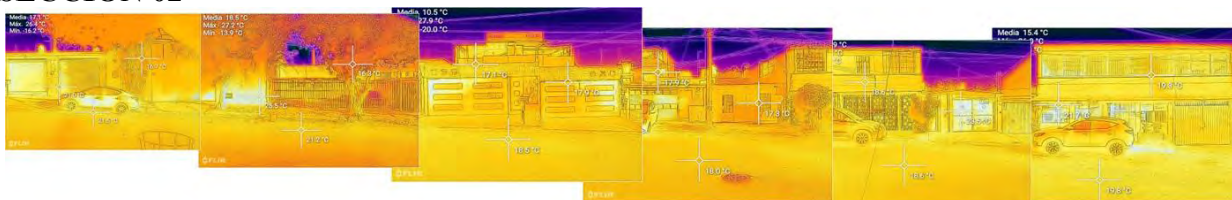
5.3.3 Recorrido a las 10:00 hr

A continuación, se presenta un tramo del transecto recorrido el día 01 de mayo de 2024, este recorrido se realizó a las 10:00 hr con la finalidad de obtener registros de temperaturas de las superficies de los elementos urbano-arquitectónicos del canon urbano. Las imágenes termográficas corresponden a esta primera sección del transecto y permiten visualizar las temperaturas registradas en dichas superficies; además, utilizando la herramienta de puntos sobre la imagen podemos determinar, con una mayor precisión, la temperatura de las superficies mostradas.

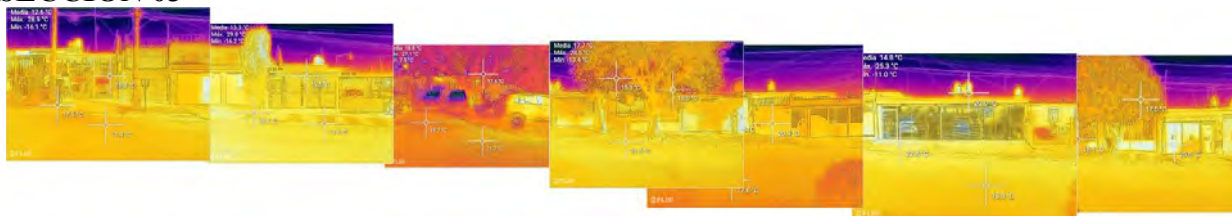
SECCION 01



SECCION 02



SECCION 03



SECCION 04



SECCION 05

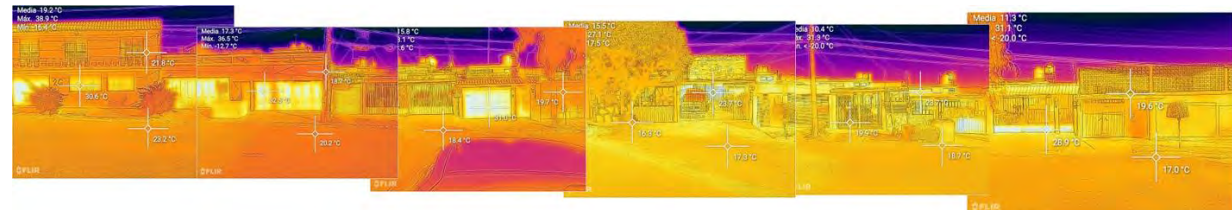


Imagen 116: Análisis termográfico de la sección del transecto en estudio.

SECCION 06

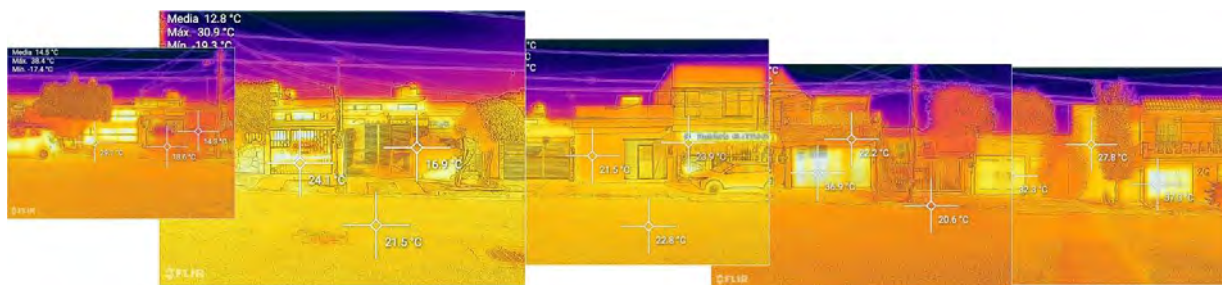
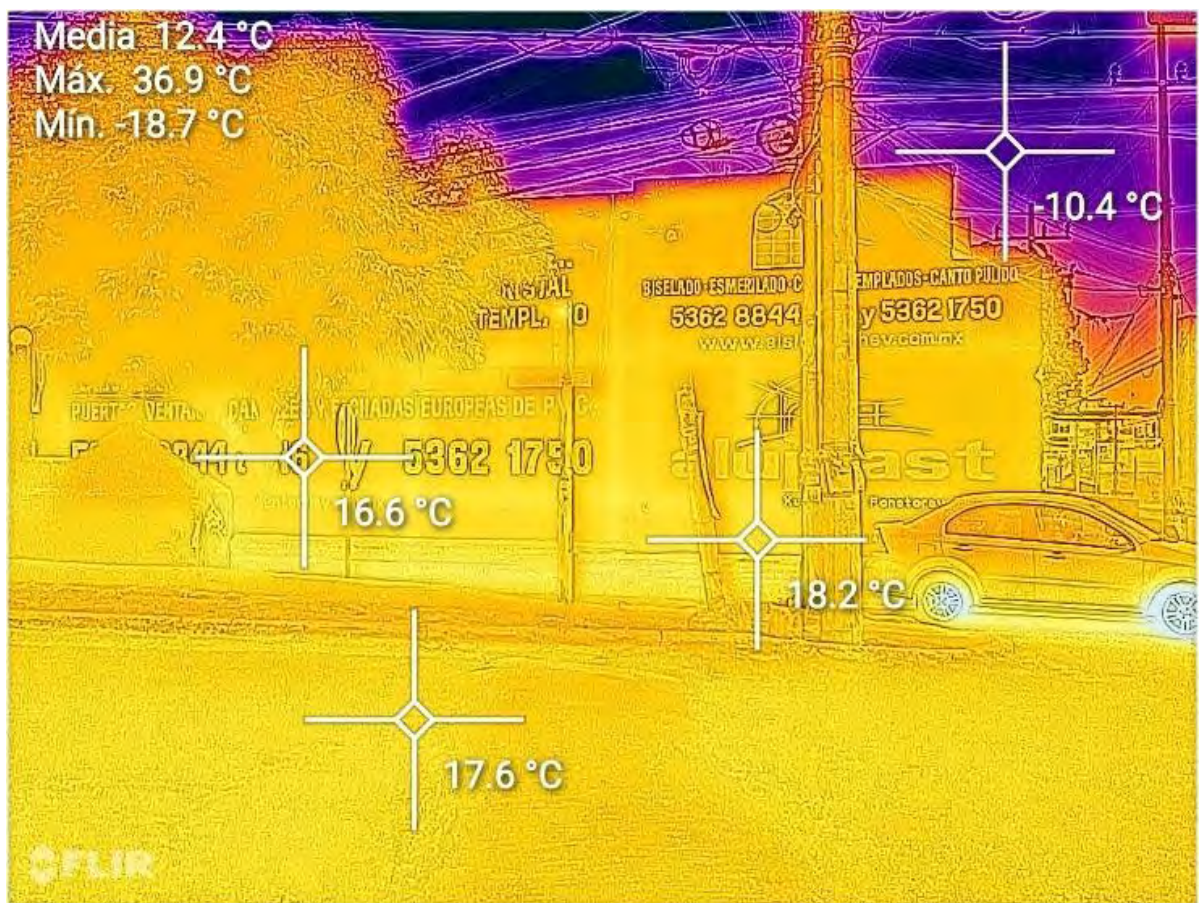


Imagen 117: Análisis termográfico de la sección del transecto en estudio.

Estas imágenes termográficas corresponden a las obtenidas con la cámara, se trata la imagen original con algunos puntos sobre determinadas superficies, como muros y pavimentos, cada imagen cuenta también con tres lecturas de temperatura: media, máxima y mínima, estos registros se obtienen del encuadre que se haga en la imagen, cabe señalar que la temperatura mínima corresponde a la lectura registrada del cielo, que se encuentra en tonos de color frío (azules y morados), la temperatura máxima se localiza con los colores cálidos, desde tonos rojos hasta llegar al color blanco, si fuera el caso.



La imagen anterior fue tomada de la cámara termográfica y muestra cómo es que percibe las distintas temperaturas existentes en las superficies de los elementos urbano-arquitectónicos del transecto en estudio. Con el software *Thermal Studio*, se le da el tratamiento indicado a la imagen, el cual es una combinación de las temperaturas percibidas en el ambiente y en la superficie de los materiales constructivos, dando como resultado la siguiente imagen:

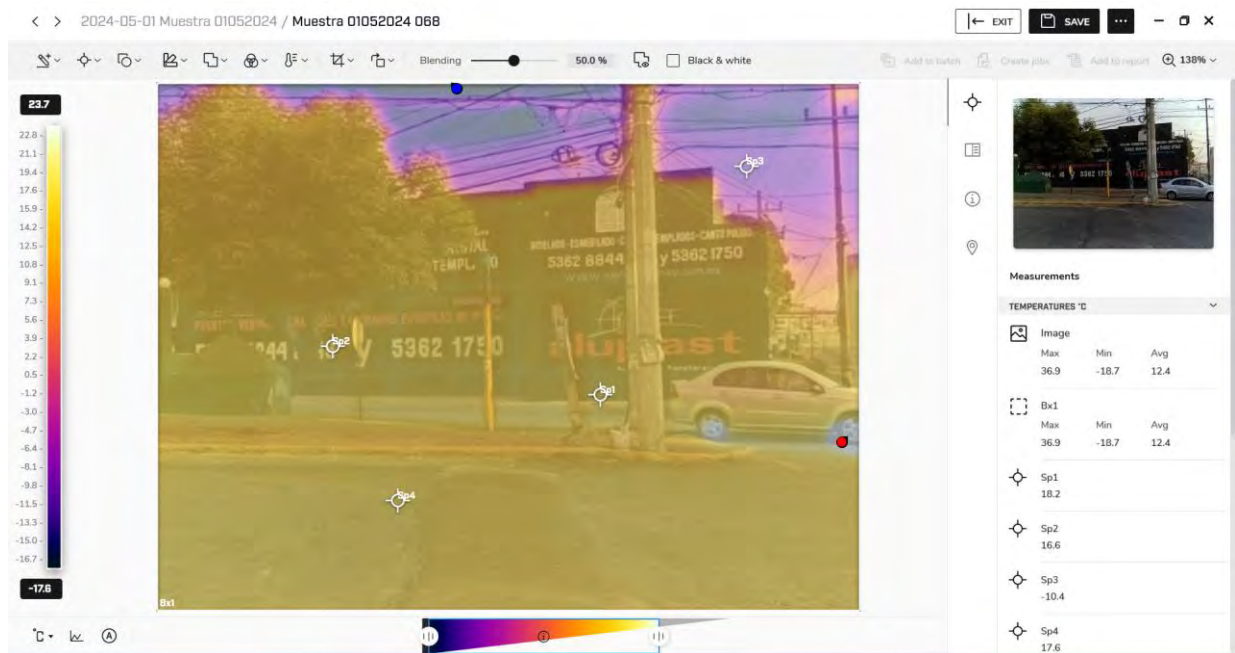


Imagen 119: Análisis termográfico con el software *Thermal Studio*.

En el análisis se muestra la escala de colores con la temperatura que representa cada tono, se tiene una escala grafica en la parte inferior, la columna de la derecha muestra la imagen original, sin el tratamiento termográfico, y con las temperaturas registradas de los diversos puntos insertados en la imagen. Por último, se resalta la capa isotermal del calor en la imagen dado que se trata del fenómeno en estudio, por lo que esta cambia a color rojo donde se percibe más la alta temperatura registrada, de ahí se pueden obtener datos como el porcentaje de superficie que contiene este registro, además de los máximos y mínimos registrados en la escala de temperatura empleada.

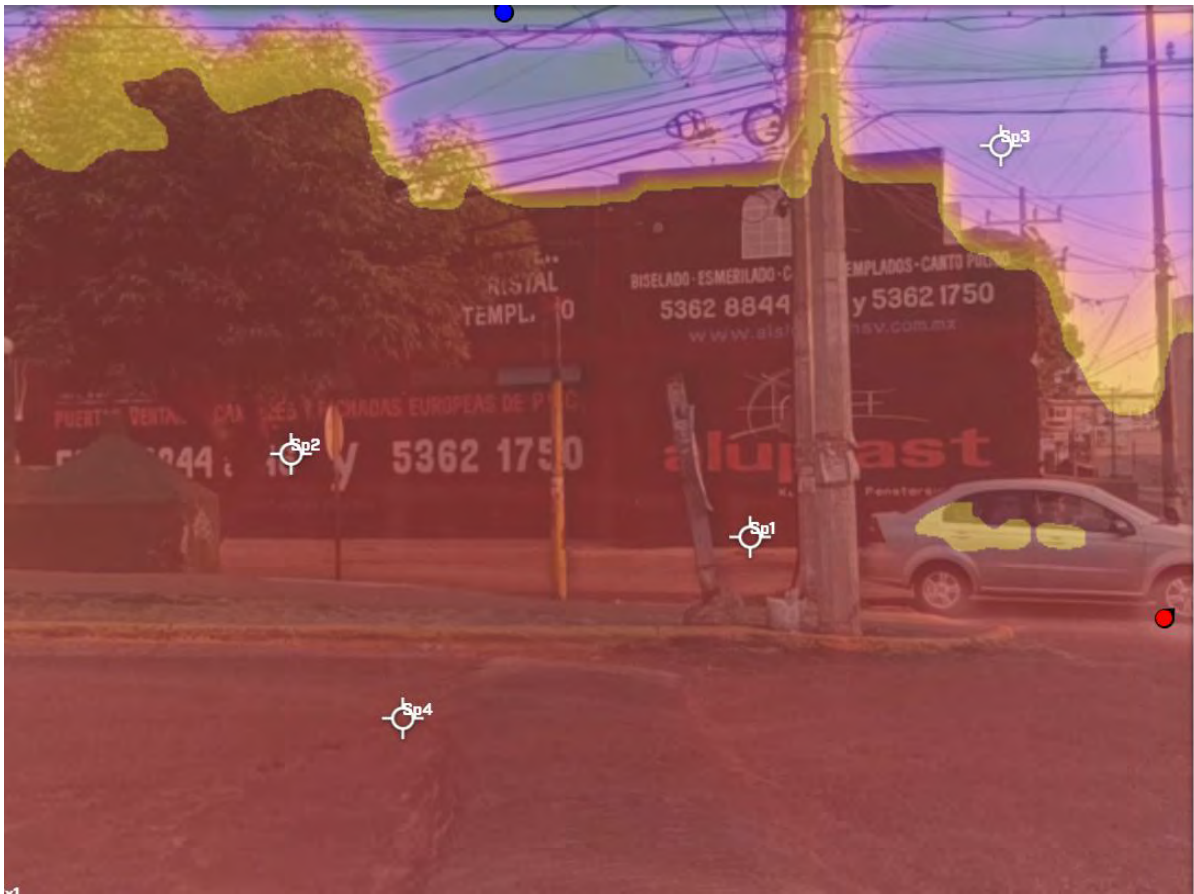


Imagen 120: Análisis de las capas térmicas con el software *Thermal Studio*.

Con el mismo software, se graba el análisis realizado y lo representa de la siguiente forma:

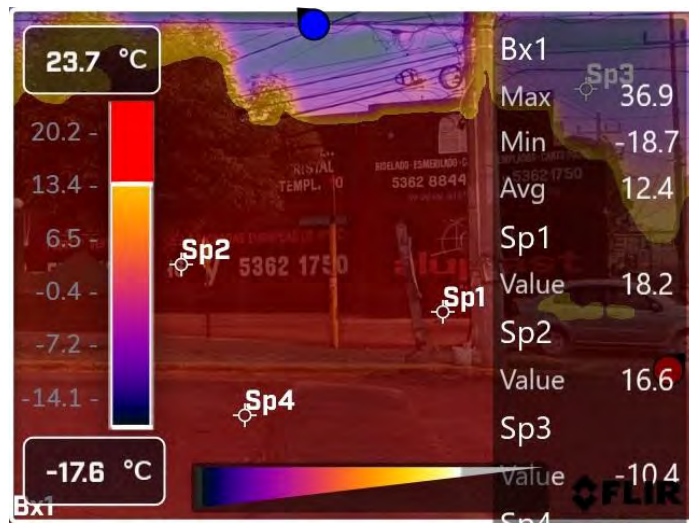


Imagen 121: Análisis terminado con el software *Thermal Studio*.

Capítulo VI

Validación del método en un entorno urbano contrastante

6.1 Introducción

Durante el séptimo trimestre del Doctorado, se tuvo la oportunidad de realizar una estancia doctoral en la ciudad de Huntingdon, ubicada en el condado de Huntingdon, Pennsylvania, en los Estados Unidos. La razón por la cual se decidió fue para probar el método desarrollado en un clima diferente al que se concibió en un principio, y, por tratarse de un método, darle la validez necesaria para su aplicación en cualquier tipo de clima. La institución que nos acogió para el establecimiento en este sitio y la continuación del desarrollo de nuestra investigación fue Juniata College, una universidad de artes liberales (como esta se denomina) cuyo Departamento de Ciencias y Estudios Ambientales nos apoyó todo el tiempo para el desarrollo de la investigación, así como el uso de las instalaciones del campus, la asignación de una oficina, acceso a los laboratorios de investigación y a la biblioteca, prestación de un equipo de cómputo con el software necesario y, lo más importante, conocer y convivir con el personal académico del Departamento, cuyo conocimiento y tiempo compartido dedicado a nuestros intereses fue invaluable.

Este estudio se realizó en un contexto contrastante al latinoamericano, con el objetivo de validar el método en condiciones diferentes de clima, densidad urbana y materiales constructivos, no se trata de una comparación directa, sino de un análisis exploratorio de aplicabilidad. Cabe resaltar que esta parte de la investigación se realizó con recursos propios, por tanto, el conocimiento adquirido y desarrollado, así como la experiencia de vida, son invaluable para la contribución en la conformación de nuevo conocimiento.

6.2 Huntingdon, Pennsylvania

Pennsylvania, oficialmente la Commonwealth de Pennsylvania, es un estado de EE. UU. que abarca las regiones del Atlántico Medio, Noreste, Apalaches y Grandes Lagos. Limita con Delaware al sureste, Maryland al sur, Virginia Occidental al suroeste, Ohio y el río Ohio al oeste,

el lago Erie y Nueva York al norte, el río Delaware y Nueva Jersey al este, y la provincia de Canadá. de Ontario al noroeste a través del lago Erie.

Fue fundada en 1681 mediante una concesión de tierras reales a William Penn, el hijo del homónimo del estado. Antes de eso, entre 1638 y 1655, una parte sureste del estado era parte de Nueva Suecia, una colonia del Imperio sueco. Establecida como un refugio para la tolerancia religiosa y política, la provincia en la era colonial era conocida por sus relaciones relativamente pacíficas con las tribus nativas, su sistema de gobierno innovador y su pluralismo religioso.

La geografía del estado es diversa, con montañas, colinas y valles. La parte oriente del estado está dominada por los Apalaches, mientras que el oeste presenta una topografía más plana y rica en recursos naturales, tiene numerosos ríos, como el Susquehanna y el Ohio. Las ciudades más importantes del estado son: Harrisburg, la capital del estado; Filadelfia, un centro cultural e histórico conocido por su papel en la fundación del país; Pittsburgh, un centro industrial y tecnológico; y Allentown, parte del Valle de Lehigh, con un crecimiento económico y poblacional en las últimas décadas.

La economía de Pennsylvania radica en la industria del carbón y el acero, y ha evolucionado hacia sectores más variados como la atención médica, la educación, la tecnología y los servicios financieros; la agricultura y la ganadería son muy importantes en la producción de productos lácteos, maíz y aves de corral. La población se dedica a una variedad de actividades en estos sectores, con un creciente enfoque en la educación y la investigación, gracias a sus numerosas universidades e institutos de investigación.

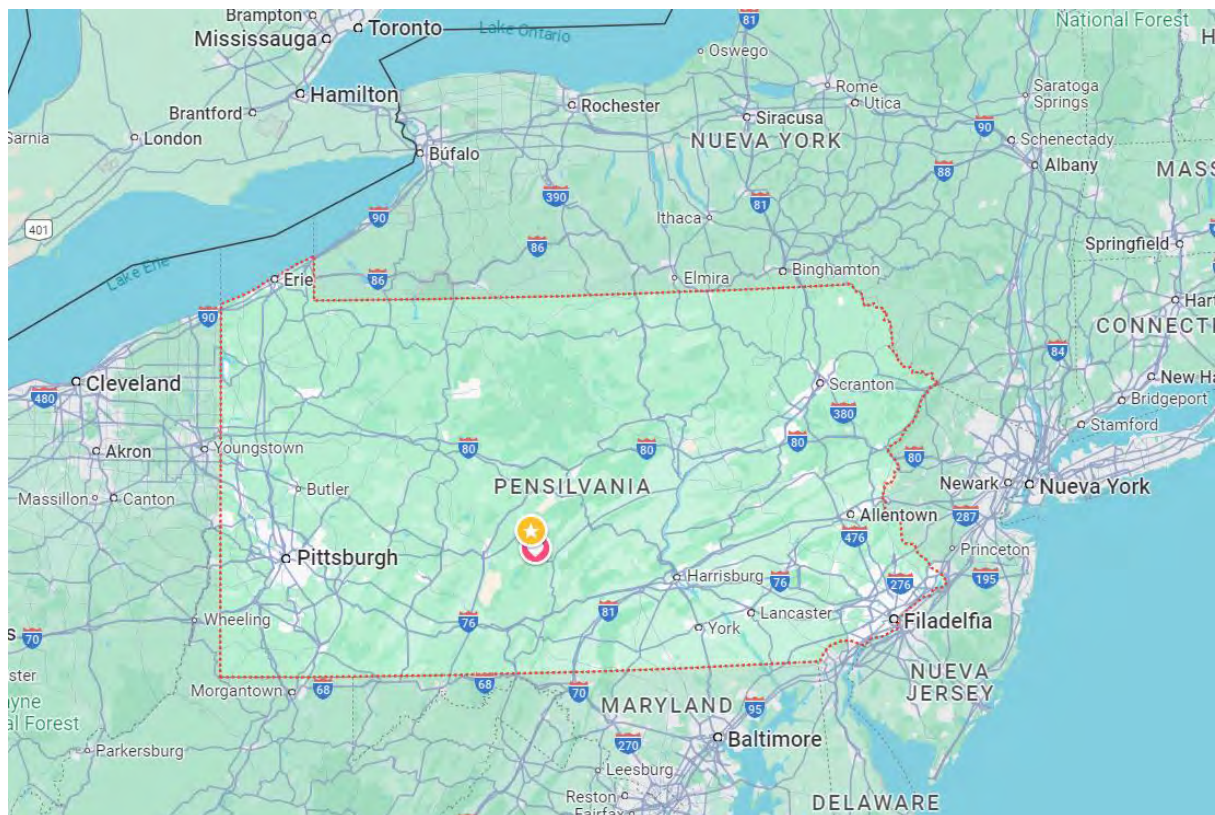


Imagen 122: Pennsylvania, Estados Unidos.
Fuente: Google Maps, 2024.

La ciudad de Huntingdon se encuentra en el estado de Pennsylvania, en los Estados Unidos, en la parte noreste del país con las coordenadas geográficas 40°29'52"N 78°00'23"W y con una altitud de 228 msnm aproximadamente, la ciudad fue fundada en 1767 por los colonos ingleses, la zona era habitada por pueblos indígenas, como los iroqueses. Con la llegada de colonos europeos, Huntingdon comenzó a establecerse, convirtiéndose en un importante punto de paso durante la expansión hacia el oeste. Durante la Revolución Americana, Huntingdon desempeñó un papel significativo. La ciudad fue un centro logístico y de suministro para el ejército continental, y su ubicación estratégica a lo largo del río Juniata la convirtió en un lugar clave para el transporte de bienes.

En el siglo XIX, Huntingdon experimentó un crecimiento con la llegada del ferrocarril, que facilitó el comercio y la industria. La ciudad se convirtió en un centro para la producción de carbón y

hierro, impulsando su economía. A lo largo del tiempo, Huntingdon ha mantenido su carácter histórico, con edificios y monumentos que reflejan su legado.

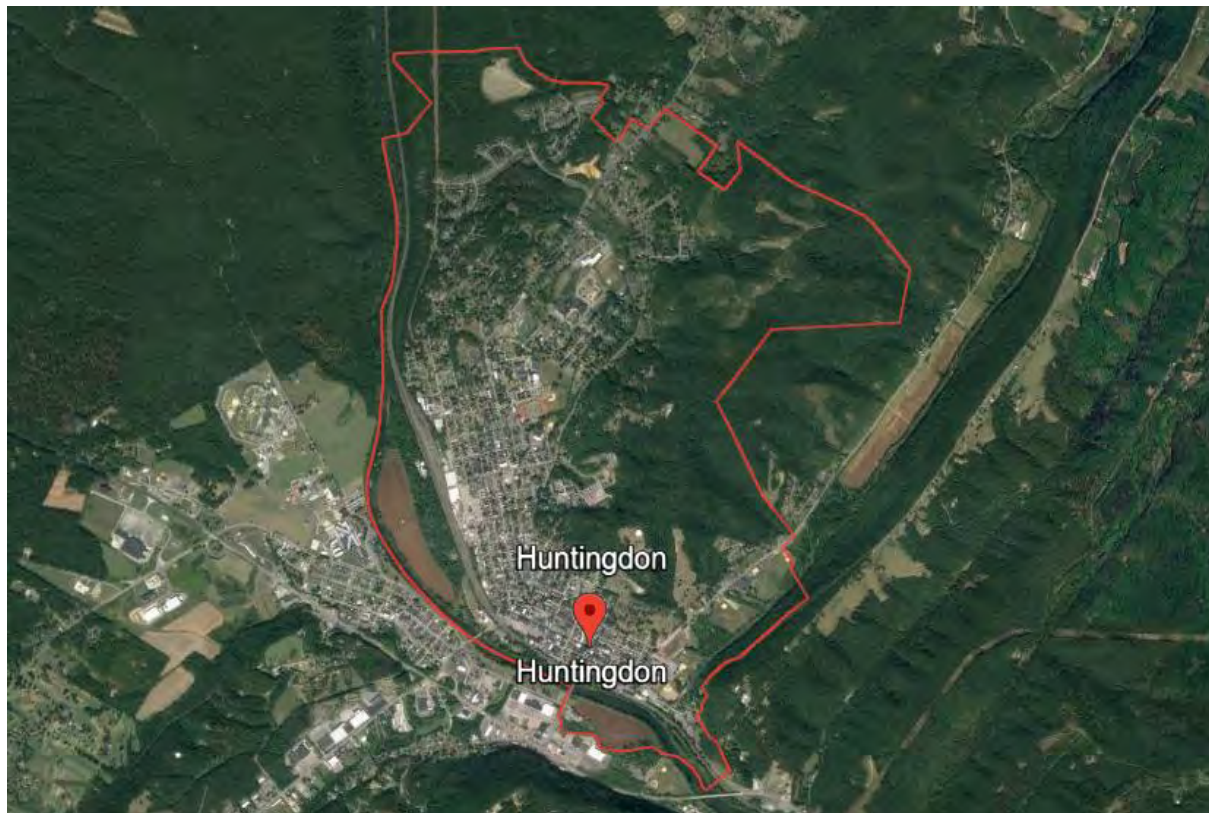


Imagen 123: Huntingdon, Pennsylvania, Estados Unidos.
Fuente: Google Maps, 2024.

6.3 Análisis climático

Para la realización de este análisis, se consultaron los datos climatológicos de la estación meteorológica ubicada en el Distrito escolar del área de Huntingdon, ubicada en la parte posterior de la Escuela secundaria del área de Huntingdon y que pertenece al sistema del Climatólogo del Estado de Pensilvania, proporcionado por la Facultad de Ciencias de la Tierra y Minerales y Penn State. Los registros históricos que se tienen del sistema comienzan a partir del año 1899, para este análisis los datos empleados comprenden un periodo de 5 años, del 2019 al 2024, la distancia de la estación hacia el centro de la ciudad es de 2.3 Km aproximadamente, y se ubica a una altitud de 207 msnm, con una diferencia de 21 m con respecto al nivel del centro de la ciudad.

Los datos de registro de la estación seleccionada son:

Identificación: HTDN01

Nombre: Distrito escolar del área de Huntingdon - Escuela secundaria del área de Huntingdon

Condado: Huntingdon

Estado: Pennsylvania

Latitud: 40.506

Longitud: -78.011

Elevación (m): 207,1

Altura (m): 3.05

6.3.1 Clasificación climática

Con base en el sistema de clasificación climática de Köppen, Huntingdon, Pennsylvania, cuenta con un clima **Dfb** (Continental húmedo y cálido), donde **D** corresponde a Continental, **f** para húmedo y **b** para templado. La interpretación de la clasificación es la siguiente:

Clima D – Continental: la temperatura media del mes más frío es inferior de -3°C a 0°C , la temperatura media del mes más cálido es superior a 10°C , existe una gran amplitud térmica entre las temperaturas mínimas y las temperaturas máximas. Los inviernos son muy fríos y con nieve, los veranos son cálidos, el otoño y la primavera tienden a ser muy cortas y las precipitaciones exceden a la evaporación, la vegetación propia son los bosques microtérminos.

La segunda letra, nos explica el régimen de lluvias:

f: Húmedo: las precipitaciones son suficientes a lo largo del año, sin estación seca.

La tercera letra muestra el comportamiento de las temperaturas en verano:

b: Templado: el verano es fresco, no se superan los 22°C de media en el mes más cálido, esta temperatura supera los 10° , al menos en cuatro meses del año.

6.3.2 Análisis Paramétrico

Un análisis paramétrico del clima es una herramienta esencial para entender y responder a las dinámicas del clima y sus efectos en el entorno y la sociedad, nos ayuda a comprender mejor las variaciones y tendencias climáticas a lo largo del tiempo. Las aplicaciones que le podemos dar a estos datos son:

- a) Predicción del clima: Ayuda a mejorar los modelos de predicción climática al identificar patrones y relaciones entre diferentes variables climáticas.
- b) Cambio climático: El análisis del cambio de los parámetros climáticos a lo largo del tiempo.
- c) Planificación y gestión: Previsión de las condiciones climáticas pronosticadas que permitan determinar la gestión de recursos, como en la agricultura, y la planificación urbana.
- d) Investigación científica: Conformar una base de datos climatológicas que sirvan como apoyo de diversos estudios relacionados con el clima.
- e) Mitigación de riesgos: Desarrollar estrategias que nos permitan salvaguardar a la población en general ante un fenómeno climático extremo.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de dicho análisis.

6.3.2.1 Temperatura ambiental

Para la temperatura, el parámetro de referencia es la “temperatura neutra” (T_n), también conocida como “termopreferendum” o preferencia térmica, se propone obtenerla con la ecuación de Richard De Dear (ASHRAE, 2017):

$$T_n = 17.8 + 0.31 T_{med}$$

El confort se mide dentro de un rango de temperatura en el cual las personas se sienten bien, este rango se conoce como “zona de confort” y no se delimita solamente a la temperatura neutra. Con base en el modelo de confort de De Dear, esta zona se define a partir de la temperatura neutra y

con un límite superior de 2.5 °C, y un límite inferior de 2.2 °C, a partir de estos rangos se establece la zona ideal para personas aclimatadas al lugar.

Estos datos incluyen los resultados obtenidos para los tres rangos de temperatura mensual (máxima, media y mínima), a partir de los cuales se podrá realizar un análisis de la variabilidad térmica existente en la zona de estudio. La descripción de cada uno de estos es la siguiente:

1. Temperatura Media:

La temperatura media es el indicador general que nos muestra el comportamiento típico de un clima de este tipo, continental húmedo, con las estaciones predominantes de inviernos fríos y veranos cálidos; las estaciones restantes sirven de transición dadas las características de temperatura presentadas. En el invierno (diciembre a febrero), la media está por debajo de 0 °C y con la posibilidad de nevadas, para la primavera (marzo a mayo), la temperatura media aumenta, alcanza valores entre 9 °C y 15 °C. En verano (junio a agosto), la media llega a su máximo en el mes de julio, a partir de agosto desciende paulatinamente; por último, en otoño (septiembre a noviembre), la temperatura media continúa descendiendo hasta el mínimo registrado, en el mes de noviembre.

2. Temperatura Mínima:

Este registro ocurre a partir de las 20:00 hr hasta la madrugada siguiente, y después en un lapso matutino, entre las 07:00 hr y las 11:00 hr. En invierno, la menor temperatura registrada ocurre en el mes de enero (-16.9 °C), puede ocurrir la congelación en algunos casos. A diferencia del verano, cuando aumenta la temperatura, esta alcanza los 23.9 °C en el mes de junio y 24.8 °C en el mes de julio. Para el otoño, la temperatura mínima comienza a descender de nuevo, bajando a 19.3 °C en noviembre y 18.2 °C en diciembre, con temperaturas más frescas y noches más frías.

3. Temperatura Máxima:

La temperatura máxima mensual se alcanza en el verano, entre junio y agosto, teniendo el registro más alto en el mes de julio (28.0 °C), son veranos cálidos, representativos de este tipo de clima. En las estaciones de transición, primavera y otoño, las máximas son más moderadas, con 22.0 °C en mayo y 23.0 °C en septiembre. En el invierno, las máximas registradas apenas llegan por encima de 0 °C, 2.0 °C en enero y 5.0 °C en diciembre.

4. Zona de Confort:

La zona de confort para este tipo de clima se encuentra entre los 16 °C y 27 °C para los meses comprendidos entre mayo y septiembre, en el invierno (enero y diciembre), la temperatura mínima de la zona de confort cae por debajo de los 16 °C, presentando condiciones más frías de tal forma que las personas necesitan abrigarse para mantenerse cálidas. En el verano, entre los meses de junio a agosto, las temperaturas suelen estar cerca del límite superior de la zona de confort, especialmente en julio, donde la zona de confort máxima alcanza 27.3 °C, pero no supera este límite, lo que sigue siendo agradable para la mayoría de las personas.

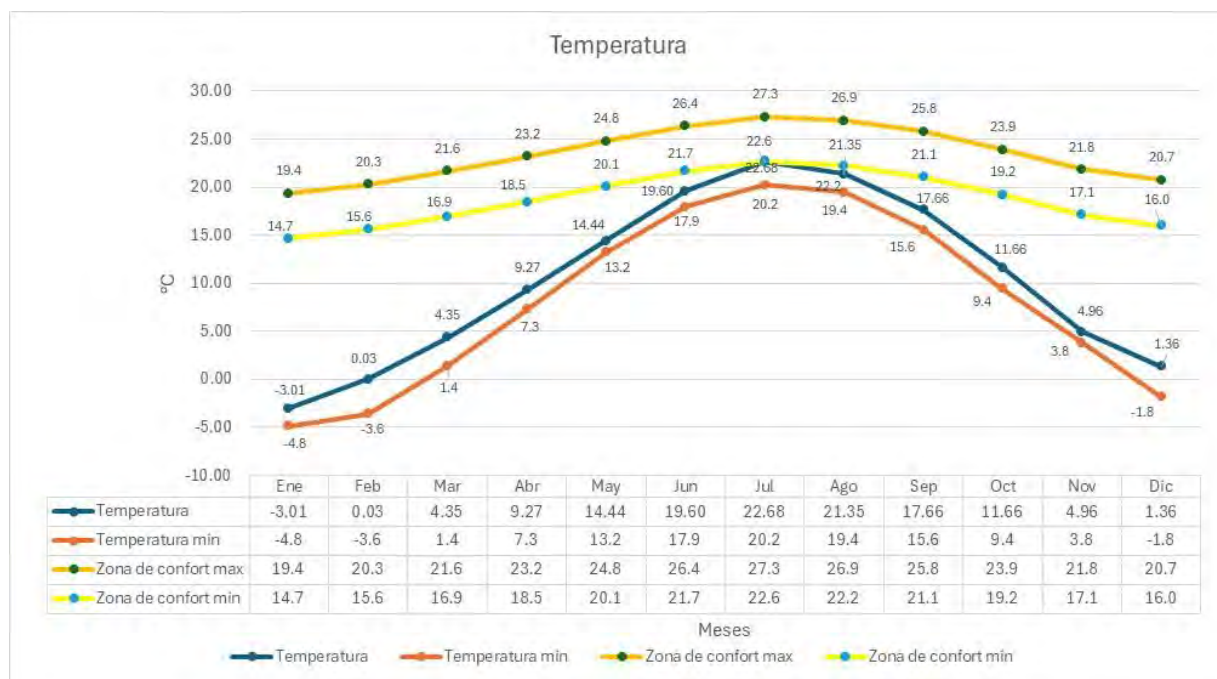


Imagen 124: Temperatura ambiental.

6.3.2.2 Temperatura horaria

Se agrega a este análisis las temperaturas horarias promedio mensuales, necesarias para contrastar los resultados de las temperaturas obtenidas con los *data loggers*, con la cámara termográfica y las temperaturas registradas por la estación meteorológica correspondiente a la zona.

TEMPERATURAS HORARIAS ANUALES																									
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	PROMEDIO
ENERO	1.93	1.55	1.35	1.18	1.47	1.40	1.32	1.13	0.95	0.79	0.60	0.68	1.10	1.95	2.66	3.31	3.80	4.15	4.42	4.48	4.23	3.65	2.92	2.35	2.22
FEBRERO	2.19	1.89	1.54	1.04	0.67	0.19	-0.21	-0.50	-0.72	-1.15	-1.33	-1.42	-0.02	1.68	3.00	4.28	5.22	5.96	6.54	6.75	6.52	5.61	4.35	2.95	2.29
MARZO	2.85	1.98	1.11	0.63	0.17	-0.39	-0.65	-0.95	-1.28	-1.67	-1.71	-0.59	0.94	2.55	3.64	4.84	5.62	6.27	6.51	6.26	6.25	5.66	4.68	3.74	2.35
ABRIL	11.46	10.29	9.15	8.54	8.22	7.59	7.01	6.72	6.08	5.48	6.44	9.17	11.10	12.77	14.13	14.98	15.75	16.28	16.43	16.51	15.97	14.90	14.43	12.80	11.34
MAYO	13.73	12.40	11.39	10.50	9.66	8.88	8.17	7.70	7.00	7.01	9.28	11.44	13.36	15.24	16.82	18.05	19.02	19.72	20.15	20.22	20.07	19.46	18.35	15.62	13.88
JUNIO	18.00	17.00	16.02	15.57	14.38	13.87	13.33	13.04	12.74	13.03	14.64	16.47	18.15	19.61	20.78	21.64	22.42	22.96	23.20	23.07	23.05	22.57	21.47	19.63	18.19
JULIO	21.23	20.19	19.41	18.81	18.29	17.96	17.68	17.43	17.22	17.28	18.63	20.60	22.00	23.15	24.38	25.36	26.03	26.59	26.61	26.63	26.00	25.59	24.44	22.73	21.84
AGOSTO	19.31	18.66	18.10	17.81	17.49	17.01	16.63	16.37	16.22	16.12	16.82	18.34	19.69	21.16	22.50	23.54	24.28	24.70	24.78	24.88	24.66	23.93	22.30	20.45	20.24
SEPTIEMBRE	15.49	14.88	14.47	14.06	13.63	13.25	13.04	12.85	12.64	12.48	12.95	14.74	16.60	18.16	19.34	20.28	21.04	21.47	21.71	21.70	21.47	20.32	17.89	16.26	16.70
OCTUBRE	11.24	10.78	10.29	9.87	9.60	9.33	9.08	8.78	8.55	8.37	8.25	9.20	10.82	12.33	13.70	14.79	15.64	16.03	16.14	16.01	15.48	13.90	12.36	11.87	11.77
NOVIEMBRE	4.22	3.45	3.20	2.75	2.41	2.06	1.79	1.50	1.20	0.95	0.87	1.05	2.97	4.93	6.40	7.60	8.46	9.09	9.28	9.12	8.08	6.60	5.50	4.89	4.51
DICIEMBRE	2.92	2.86	2.69	2.45	2.34	2.13	2.01	1.88	1.74	1.53	1.38	1.31	2.04	3.27	4.15	5.08	5.67	6.08	6.25	6.09	5.45	4.59	3.85	3.31	3.38
PROMEDIO	10.38	9.66	9.06	8.60	8.19	7.77	7.43	7.16	6.86	6.69	7.23	8.42	9.90	11.40	12.63	13.65	14.41	14.94	15.17	15.14	14.77	13.90	12.71	11.38	

Imagen 125: Temperaturas horarias.

A partir de los datos de temperaturas horaria, se pueden analizar los patrones térmicos diarios y estacionales en esta región, lo que es útil para entender tanto el confort térmico como las posibles necesidades energéticas y de planificación urbana. Las temperaturas mínimas observadas en la

tabla anterior corresponden a los meses de febrero y marzo, entre las 06:00 y las 13:00 hr; la temperatura máxima expresada en la tabla se aprecia en el mes de julio, entre las 16:00 y las 21:00 hr De manera general, la temperatura alcanza su punto más bajo en invierno, de enero a marzo, a las 12:00 hr, en abril a las 10:00 hr, agosto y septiembre a las 10:00 hr, y de octubre a diciembre a las 11:00 hr.

Por otro lado, la temperatura máxima se percibe entre las 19:00 y 21:00 hr en todas las estaciones, de mayo a septiembre se amplía este horario, de las 19:00 a las 22:00 hr, teniendo las máximas en el mes de julio, en el horario de las 16:00 a las 21:00 hr

6.3.2.3 Humedad Relativa

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, esto afecta el confort térmico, la sensación de calor o de frío, contribuye a la probabilidad de precipitaciones y al fenómeno de evapotranspiración en el sitio. El siguiente análisis se realizó con base en las cifras proporcionadas para cada mes del año.

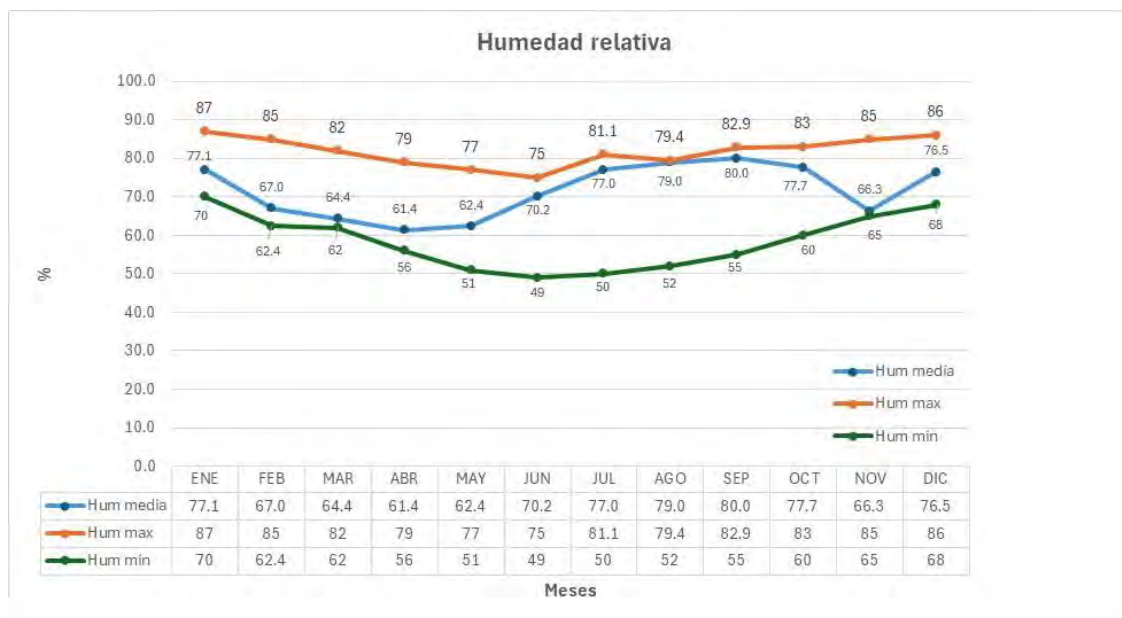


Imagen 126: Humedad relativa.

1. Humedad Relativa Promedio Mensual:

La imagen anterior muestra la variación presentada a lo largo del año, debido a las características propias del clima del sitio de estudio, los meses más fríos -de noviembre a febrero-, se presenta una humedad relativa más alta, situación que es común en los inviernos fríos debido a que la evaporación es baja y el aire se vuelve más húmedo. De marzo a mayo, la humedad relativa comienza a descender por la transición hacia un escenario más cálido, llegado este momento, de junio a agosto se presenta el mayor índice de humedad relativa debido a las altas temperaturas, creando la sensación que llamamos bochorno, lo que dificulta la evaporación del sudor de la piel. En septiembre y octubre este índice muestra una constante alta, debido a la evaporación proveniente de la vegetación y de los cuerpos de agua cercanos.

2. Humedad Relativa Máxima y Mínima:

Los índices máximos de humedad relativa se presentan en los meses fríos, de noviembre a febrero, ya que la atmosfera se encuentra saturada por la condensación y la presencia de nubes, niebla o precipitaciones, llegando al punto de encontrar nevadas en el sitio. Los registros mínimos encontrados se generan en los meses de junio a agosto, situación que se debe gracias a las altas temperaturas, lo que provoca que la evaporación sea más alta, reduciendo la humedad del ambiente. Cabe aclarar que la mínima más alta registrada ocurre en enero (70%), lo que sugiere que incluso en invierno, la humedad no cae por debajo de estos estándares.

Existen tres factores importantes que afectan la humedad relativa: 1) la temperatura, cuando esta aumenta, la capacidad del aire para retener vapor de agua aumenta también; en el verano, se observa una mayor humedad relativa aun cuando la evaporación sea más intensa; 2) la precipitación pluvial, ya que estas contribuyen a aumentar los niveles de humedad en el sitio, en especial durante la primavera y el otoño, cuando hay más precipitaciones, y 3) la evaporación, que ocurre en los meses más cálidos, y que se muestra en gran cantidad debido a la vegetación y los cuerpos de agua del lugar.

En particular, este análisis es importante debido a la probabilidad de sufrir un incendio forestal, originado por la combinación de la disminución de la humedad en el ambiente por las sequías en verano, y las altas temperaturas que aumentan la inflamabilidad de los materiales orgánicos en los bosques y praderas.

6.3.2.4 Precipitación Pluvial

En general, la precipitación que se presenta en el sitio de estudio es más alta en los meses de primavera y verano, es decir, de marzo a julio, a partir del mes de agosto comienza a disminuir, en los meses consecuentes se observa una variación intercalada a partir del mes de septiembre hasta el mes de febrero.

Los valores que se presentan en invierno indican un clima más seco con respecto a las otras estaciones, cabe señalar que, aunque se presenten nevadas, estas surgen a partir de una serie de combinaciones de elementos climatológicos y no precisamente de la precipitación pluvial. A partir de la primavera, comienza a aumentar la precipitación hasta llegar a su punto máximo en los meses de mayo y junio, aunque los meses de julio y agosto presentan una alta precipitación por el verano, es en los meses con una menor humedad relativa los que presentan la mayor cantidad de lluvia.

Una de las características importantes de este clima son las tormentas que se presentan en verano, con una intensidad severa debido a la combinación de humedad y temperatura altas, que llegan a causar inundaciones en varias partes de la región por la topografía imperante.

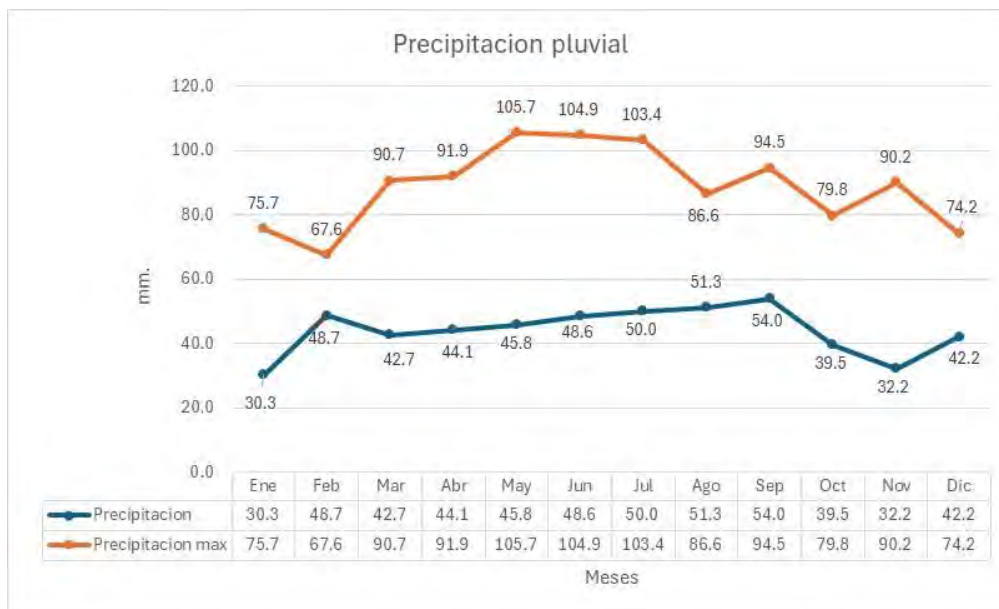


Imagen 127: Precipitación pluvial.

Con base en la imagen 127, podemos afirmar que el mes con la menor precipitación es enero en invierno y noviembre en otoño, y los de mayor precipitación son junio, julio y agosto; esta variabilidad nos muestra que las lluvias más intensas y los eventos de tormentas fuertes se concentran en la temporada cálida, especialmente en verano, una característica climática típica de la región noreste de los Estados Unidos.

6.3.2.5 Radiación Solar

La radiación solar es una variable climática clave que afecta el clima de una región, así como los patrones de temperatura, la evapotranspiración, y la salud de los ecosistemas. Los datos extraídos de la estación climática permiten hacer un análisis de cómo varía esta radiación y su posible influencia en el clima local, los valores se refieren a la radiación solar global diaria promedio en watts por metro cuadrado (W/m^2), un indicador importante de la cantidad de energía solar que llega a la superficie de la Tierra en un día determinado.

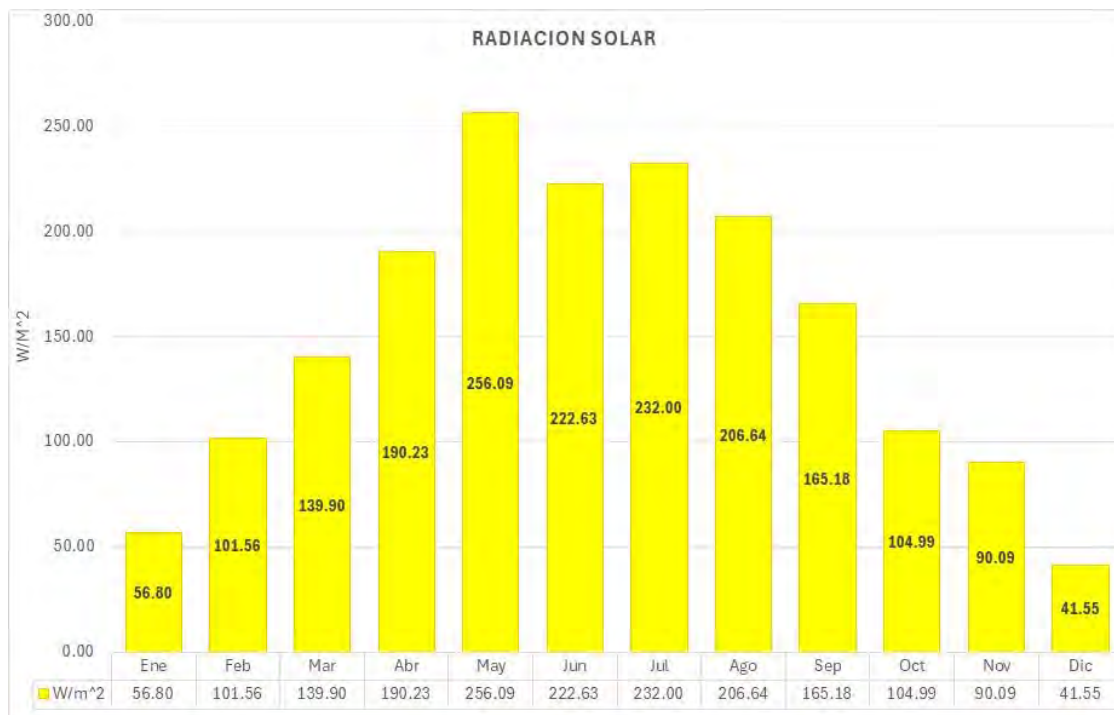


Imagen 128: Radiación solar.

Los meses con mayor radiación solar son mayo (256.09 W/m²), junio (222.63 W/m²) y julio (232.00 W/m²), cuyos valores son característicos de las estaciones primavera y verano debido al ángulo de incidencia de los rayos solares, que es más directo, y a la cantidad de horas de luz solar, que son más largas en este periodo; por tanto, aumenta la temperatura, factor que contribuye a una mayor evaporación del agua y a una mayor intensidad en las tormentas y la actividad meteorología.

Los meses con menor radiación son diciembre (41.55 W/m²) y enero (56.80 W/m²), debido a la baja incidencia de los rayos solares en la zona y a las horas de luz, que son más cortas. A partir de la primavera, la radiación solar aumenta gradualmente, comenzando con 139.90 W/m² en marzo y alcanzando su punto máximo en mayo (256.09 W/m²), lo que muestra la transición hacia días más largos y temperaturas más cálidas, con un ambiente más soleado. En los meses de septiembre (165.18 W/m²) y octubre (104.99 W/m²), la radiación solar disminuye de manera progresiva debido al acortamiento de los días y la menor altura del sol en el cielo.

6.3.2.6 Viento

Durante el invierno, la dirección predominante del viento se encuentra entre el sursuroeste y sur, su presencia se asocia con la llegada de aires más suaves o templados que afectan la temperatura; por ser más cálidos, pueden mitigar las temperaturas frías en este periodo.

Datos de Dirección del Viento:

Mes	Dirección del Viento (°)	Dirección del Viento (Cardinal)
Enero	196.47	Sursuroeste (SSW)
Febrero	213.28	Suroeste (SW)
Marzo	204.65	Sursuroeste (SSW)
Abril	182.48	Sur (S)
Mayo	157.24	Suroeste (SW)
Junio	161.15	Suroeste (SW)
Julio	157.25	Suroeste (SW)
Agosto	160.57	Suroeste (SW)
Septiembre	127.78	Este-Sureste (ESE)
Octubre	163.88	Suroeste (SW)
Noviembre	188.18	Sursuroeste (SSW)
Diciembre	179.63	Sur (S)

Tabla 15: Análisis de la dirección del viento.

En los meses de mayo a agosto, la dirección del viento se desplaza ligeramente hacia el este-sureste, este es un patrón típico de los vientos asociados con frentes cálidos y la temperatura elevada del verano, los vientos son relativamente más suaves, pero contribuyen al aumento de la temperatura, a la disminución de la humedad relativa y a los cielos despejados.

Los vientos cálidos provienen de áreas más tropicales o del Golfo de México, en general elevan la temperatura del sitio y son más húmedos, a diferencia de los vientos provenientes de la dirección este-sureste, del Atlántico, que están asociados con las altas presiones, contribuyen a los cielos despejados y a propiciar condiciones más calurosas debido a la humedad adicional que llevan y a la formación de precipitaciones.

Análisis Mensual de la Velocidad del Viento en Huntingdon:

1. Meses de mayor velocidad del viento (invierno y principios de primavera):

- Los meses de mayor velocidad del viento son febrero (3.12 m/s) y marzo (3.22 m/s), lo que refleja la presencia de frentes fríos y sistemas de baja presión que son comunes al final del invierno y principios de la primavera. Estos vientos más fuertes pueden estar relacionados con tormentas invernales o ciclones extra tropicales que afectan la región durante este tiempo.
- En enero, la velocidad del viento también es relativamente alta (2.41 m/s), lo que es característico de los meses más fríos del año, cuando los contrastes de temperatura entre las masas de aire cálido y frío generan condiciones meteorológicas más dinámicas.

2. Meses de transición (primavera):

- Durante los meses de abril (2.31 m/s) y mayo (1.58 m/s), la velocidad del viento comienza a disminuir gradualmente. En la primavera, la presión atmosférica tiende a estabilizarse un poco más, lo que da lugar a vientos menos intensos en comparación con el invierno.
- En mayo, la velocidad del viento es más baja (1.58 m/s), lo que indica que los vientos se vuelven más suaves con la llegada de condiciones más cálidas y estables.

3. Meses de menor velocidad del viento (verano):

- Los meses de junio (1.53 m/s), julio (1.10 m/s) y agosto (1.26 m/s) son los meses con las velocidades de viento más bajas del año. Esto se debe a que, en verano, las

condiciones atmosféricas suelen ser más estables, con una presión atmosférica alta que inhibe la formación de vientos fuertes. Además, los sistemas de alta presión que dominan en verano generalmente están asociados con vientos suaves y temperaturas altas.

- Durante estos meses, los vientos suaves pueden contribuir a condiciones de calor sin una significativa disipación de calor por convección, lo que puede hacer que las temperaturas sean más calurosas durante el día, sin un alivio considerable por el viento.

4. Meses de otoño (septiembre, octubre, noviembre):

- En septiembre (0.94 m/s) la velocidad del viento es la más baja del año, lo que puede estar relacionado con un periodo de transición hacia el clima más frío, donde las condiciones atmosféricas aún permanecen bastante estables.
- En octubre (1.58 m/s) y noviembre (2.04 m/s), la velocidad del viento comienza a aumentar nuevamente a medida que la atmósfera se vuelve más inestable con la llegada de frentes fríos. Estos frentes a menudo traen vientos más fuertes y condiciones meteorológicas más dinámicas.
- En noviembre, los vientos vuelven a aumentar debido a la inestabilidad atmosférica asociada con el final del otoño y el acercamiento de los sistemas de baja presión típicos del invierno.



Imagen 129: Velocidad del viento.

Análisis de las Implicaciones Climáticas y Meteorológicas

1. Energía Eólica:

- La energía eólica podría ser más viable durante los meses de invierno y primavera, cuando la velocidad del viento es mayor. Los meses de febrero y marzo, con velocidades cercanas a los 3 m/s, podrían ser los mejores para la generación de energía eólica en Huntingdon, ya que los vientos más fuertes se producen en esa época.
- Durante el verano, la velocidad del viento disminuye considerablemente, lo que limita la producción de energía eólica, ya que los vientos suaves no son adecuados para generar electricidad a gran escala.

2. Condiciones Agrícolas:

- Los vientos más fuertes en invierno y primavera pueden afectar las culturas agrícolas, especialmente si están asociados con tormentas o condiciones climáticas extremas. Los vientos más fuertes pueden secar el suelo más rápidamente o incluso dañar los cultivos en áreas expuestas.

- Los meses de verano, con vientos más suaves, pueden proporcionar un entorno más estable para las plantas durante su fase de crecimiento, ya que las ráfagas de viento fuertes son menos frecuentes.

3. Calor y Enfriamiento:

- En los meses de verano (junio, julio y agosto), los vientos suaves contribuyen a que el calor se acumule sin un enfriamiento significativo por convección. Esto puede generar una sensación térmica más calurosa y un mayor estrés por calor durante las olas de calor.
- Los meses de invierno y primavera con vientos más fuertes pueden contribuir a un enfriamiento por viento más marcado, lo que puede aumentar la sensación térmica de frío, especialmente cuando las temperaturas están cerca o por debajo del punto de congelación.

4. Condiciones Meteorológicas:

- Los vientos fuertes en invierno y principios de primavera son característicos de la presencia de sistemas de baja presión y frentes fríos. Estos vientos suelen estar asociados con condiciones de inestabilidad y pueden traer consigo tormentas o precipitaciones significativas.
- En cambio, los meses de verano, con vientos más suaves, suelen estar asociados con sistemas de alta presión, que tienden a ser más estables y con bajos niveles de precipitación.

Con base en el análisis, se tienen las siguientes conclusiones.

- Meses con vientos más fuertes: febrero y marzo, con las mayores velocidades de viento, alcanzando más de 3 m/s, lo que está relacionado con los sistemas de baja presión típicos del final del invierno y la llegada de frentes fríos.
- Meses con vientos más suaves: junio, julio y agosto tienen las velocidades de viento más bajas, con valores cercanos a 1 m/s. Esto refleja una atmósfera más estable típica de los meses de verano, con sistemas de alta presión y poca actividad atmosférica.

- Patrón estacional: La velocidad del viento es más alta en el invierno y primavera, y disminuye en el verano y principios de otoño. Este patrón tiene importantes implicaciones para la energía eólica, las condiciones agrícolas y la sensación térmica.

6.3.2.7 Temperatura del Suelo

La temperatura del suelo es un indicador determinante no solo para valorar el clima en Huntingdon, también lo es para los estudios sobre biología, como el crecimiento de las plantas, la actividad animal y la evaporación del agua. Esta información se presenta a continuación en una tabla resumida.

Datos de Temperatura del Suelo (°C):

Mes	Temperatura del Suelo (°C)
Enero	3.34
Febrero	2.84
Marzo	4.64
Abril	12.07
Mayo	16.15
Junio	21.19
Julio	24.63
Agosto	23.82
Septiembre	20.79
Octubre	15.18
Noviembre	8.24
Diciembre	4.86

Tabla 16: Análisis de la temperatura media del suelo.

En el invierno, la temperatura del suelo es bastante fría, con valores que casi llegan al punto de congelación, entre 2.84 °C y 4.86 °C, lo que en algunos casos limita la actividad biológica del suelo, la transpiración de las plantas y el crecimiento de la vegetación. Para la primavera, al incrementarse la temperatura comienzan los procesos biológicos del suelo, aumenta el crecimiento de las plantas y la germinación de las semillas. Es en verano cuando la temperatura del suelo alcanza sus valores máximos, llegando a 24.63 °C en el mes de julio, lo que favorece el crecimiento activo de las plantas y la actividad microbiana, dando lugar al ciclo de nutrientes en la región. Al aumentar la temperatura del suelo, se incrementa la evaporación del agua, lo que afecta la humedad del suelo. En otoño, el suelo comienza a enfriarse, disminuyendo su temperatura hasta 8.24 °C en el mes de noviembre, el crecimiento de las plantas disminuye gradualmente hasta llegar al reposo.

La temperatura del suelo es un factor muy importante para el desarrollo natural y económico de Huntingdon, ya que están involucrados diversos aspectos como: a) crecimiento vegetativo, que en invierno se ve limitado hasta la primavera, cuando comienza a elevarse la temperatura y da pauta a la actividad agrícola de la región. En contraste, aunque la mayor actividad se alcanza en el verano, se deben cuidar algunos aspectos para evitar que aumente la temperatura y provoque una mayor evaporación que la habitual, ya que reduce la humedad relativa y, por consiguiente, el riesgo de la aparición de incendios por la sequedad del suelo; en el otoño se cosecha lo producido y la temperatura comienza a descender gradualmente hasta repetir el ciclo.

Conocer la temperatura del suelo es crucial para plantear un esquema de análisis climático que abarque una serie de procesos biológicos, geofísicos y meteorológicos por la afectación que tiene sobre el medio ambiente y las actividades del hombre.

En lo que concierne a nuestro objeto de estudio, es un determinante en la identificación de los efectos del cambio climático en la región, en particular, en la contribución a la formación de la Isla de Calor Urbana debido a las alteraciones en la temperatura ambiental, principalmente en el verano; por tanto, conocer este factor y sus características ayudan a gestionar y adaptar los bosques con las especies de árboles y plantas que se requieren para combatir este cambio, se pueden implementar

estrategias de manejo sostenible y de energía renovable para realizar previsiones climáticas más precisas y mejorar la gestión ambiental.

6.3.2.8 Evaporación y Nubosidad

Evaporación

La evaporación es el proceso que ocurre en la atmosfera, influenciado principalmente por las condiciones climáticas y atmosféricas, es una de las formas en que el agua superficial, en especial la humedad del suelo se transforma en vapor y regresa a la atmosfera; esta se mide en milímetros (mm) por mes, para nuestro análisis, y son valores aproximados de acuerdo con la intensidad del calor y la radiación solar. Tenemos cuatro escalas de medición de este factor, que son: a) baja evaporación, de 0 a 20 mm/mes, b) moderada evaporación, de 21 a 40 mm/mes, c) alta evaporación, de 41 a 60 mm/mes, y d) muy alta evaporación, de 61 a 80 mm/mes.

Nubosidad

La nubosidad es la presencia de nubes en la atmosfera y a la cantidad, tipo y distribución de estas nubes en un determinado lugar en un momento específico. Tiene un impacto directo en las condiciones climáticas, en especial en el ciclo del agua y en la regulación del clima, ya que son responsables de la precipitación, la evaporación y la radiación solar.

La nubosidad se mide en porcentaje de cobertura del cielo, que va del cielo despejado (0%) al cielo completamente nublado (100%), y se clasifica de la siguiente manera: a) baja nubosidad, del 0-30% de cobertura, b) moderada nubosidad, del 31-60% de cobertura, c) alta nubosidad, del 61-90% de cobertura, y d) muy alta nubosidad, 90-100% de cobertura.

Tabla con datos de la evaporación y nubosidad

Mes	Evaporación (mm/mes)	Nubosidad (%)
Enero	5-10 mm (Baja)	80-100% (Muy Alta)

Mes	Evaporación (mm/mes)	Nubosidad (%)
Febrero	5-10 mm (Baja)	80-100% (Muy Alta)
Marzo	10-20 mm (Baja)	50-70% (Moderada)
Abril	21-30 mm (Moderada)	40-60% (Moderada)
Mayo	30-40 mm (Moderada)	40-60% (Moderada)
Junio	50-60 mm (Alta)	40-60% (Moderada)
Julio	50-60 mm (Alta)	40-60% (Moderada)
Agosto	41-50 mm (Alta)	40-60% (Moderada)
Septiembre	30-40 mm (Moderada)	40-60% (Moderada)
Octubre	21-30 mm (Moderada)	60-80% (Alta)
Noviembre	5-10 mm (Baja)	80-100% (Muy Alta)
Diciembre	5-10 mm (Baja)	80-100% (Muy Alta)

Tabla 17: Datos de la evaporación y nubosidad.

Como se observa en la tabla anterior, los niveles más bajos de evaporación se presentan en los meses de noviembre a marzo, el fin del otoño y la época invernal, a partir del aumento de la temperatura en marzo y hasta mayo se presenta una evaporación moderada, en el verano tenemos los registros más altos de nubosidad, comenzando a disminuir a partir del mes de septiembre.

La nubosidad más alta se presenta a finales de otoño y en los meses de invierno, llegando a registrarse hasta el 100% de cobertura del cielo, debido a los sistemas de baja presión y a la humedad asociada con las nevadas. En los periodos de transición, primavera y otoño, se presenta una nubosidad moderada, se cuenta con algunos días soleados, como consecuencia de los frentes de baja presión en la zona. En verano, la nubosidad es moderada, debido a la combinación de factores como la temperatura, la humedad y la evaporación, lo que genera el periodo de mayores precipitaciones registrados en el año.

6.3.2.9 Nevadas

Debido a la ubicación geográfica, los patrones de nevada en la región están influenciados por sistemas de baja presión que traen precipitaciones frías del norte, de la zona de los Grandes Lagos, y por la proximidad con las montañas Allegheny, generando más nieve en las zonas montañosas que en las zonas del valle. Las nevadas ocurren cuando la temperatura ambiental se encuentra por debajo de los 0 °C, a la alta humedad que se encuentra en el aire, ocasionando precipitaciones que se transforman en nieve.

El invierno es el periodo que presenta la mayor cantidad de nevadas en el sitio de estudio, estas continúan de forma ocasional aun en primavera, en los meses de marzo y abril, siendo este mes el ultimo registrado. En los periodos de verano y otoño no se presenta dicho fenómeno, sino hasta el mes de diciembre nuevamente. La cantidad de nieve varia considerablemente debido a las condiciones climáticas que se presentan cada periodo, con base en registros históricos se presenta la siguiente tabla, cuyos valores están expresados en centímetros (cm) de nieve acumulada por mes.

Tabla de nevadas mensuales estimadas

Mes	Nevadas Estimadas (cm/mes)	Descripción
Enero	25-35 cm	Mes más nevado, con nevadas frecuentes y acumulación significativa.
Febrero	20-30 cm	Continúa la temporada de nevadas, aunque con menor frecuencia hacia el final del mes.
Marzo	10-20 cm	Nevadas menores, pero aún posibles, especialmente en las primeras semanas.
Abril	1-5 cm	Nevadas ligeras y esporádicas, usualmente en las primeras semanas del mes.
Mayo	0-1 cm	No hay nieve en este mes.
Junio	0 cm	No hay nieve en este mes.
Julio	0 cm	Sin nieve.
Agosto	0 cm	Sin nieve.
Septiembre	0 cm	Sin nieve.

Mes	Nevadas Estimadas (cm/mes)	Descripción
Octubre	0-1 cm	Nevadas ligeras y esporádicas pueden ocurrir a finales de mes en años fríos.
Noviembre	1-5 cm	Las primeras nevadas significativas pueden ocurrir hacia finales de mes.
Diciembre	15-25 cm	Comienza la temporada de nieve con acumulaciones importantes, especialmente en las últimas semanas.

Tabla 18: Valores de las nevadas estimadas.

Con base en la información de la tabla, se encuentra que el periodo de nevadas comienza a finales de noviembre, aumentando en diciembre de manera significativa, las máximas nevadas ocurren en enero y febrero, con más de 20 cm de acumulación mensual, para marzo y abril las nevadas son ligeras y moderadas, con lo que se termina el periodo en la región de estudio.

Capítulo VII

Aplicación del método desarrollado en el entorno urbano contrastante.

7.1 Introducción

La Isla de Calor Urbana es un fenómeno que ha sido considerado como propio del desarrollo de las grandes ciudades, dadas las características urbano-arquitectónicas que las conforman y que, con base en una serie de condiciones que se presentan, se manifiesta de tal forma que puede pasar por imperceptible debido a las condiciones atmosféricas del lugar; sin embargo, existen lugares que no son totalmente urbanos y que presentan con las condiciones necesarias para su formación, ya sea por los materiales del lugar, por el ecosistema constituyente o por las actividades antropogénicas en el sitio. En este capítulo se explica la aplicación del método de detección de la Isla de Calor Urbana en la ciudad de Huntingdon, Pennsylvania, desde el reconocimiento del sitio de estudio, la revisión de los instrumentos utilizados en la investigación, el transecto trazado para el recorrido, los datos obtenidos y, por último, el trabajo analítico de la información recabada con las conclusiones de la aplicación.

Antes de aplicar el método desarrollado, debemos entender que se requiere de una planificación estratégica que nos permita obtener los resultados esperados de una forma más-precisa y concreta, para lograr dicho objetivo se debe realizar un reconocimiento de la zona de estudio en la cual contemplaremos la traza urbana de la ciudad, la distribución espacial de los diferentes edificios arquitectónicos que conforman a la ciudad, el equipamiento urbano, las áreas verdes y aquellos elementos -naturales o creados- que son representativos del lugar. Esta planificación la podemos dividir en tres etapas: etapa previa, etapa de desarrollo y etapa de análisis.

7.2 Etapa previa

En esta etapa se revisa el pronóstico del tiempo para los días siguientes, se preparan los instrumentos de medición y de captura de imágenes y se traza el recorrido por hacer para la aplicación del método; en el primer caso, el pronóstico nos sirve para elegir el día y la hora más

apropiada con el objetivo de medir los diversos parámetros ambientales que involucra el método, en el segundo caso, los instrumentos a utilizar -los *data loggers* y la cámara termográfica- se calibran y se verifican las baterías y el funcionamiento para un correcto desempeño durante la investigación y, por último, se indica en un mapa el transecto, que es la ruta por seguir para las mediciones de los parámetros.

7.2.1 El estado del tiempo

Con base en los pronósticos emitidos por la estación climática de la región, para el primero de los recorridos en el sitio de estudio, se revisó el estado del tiempo y se decidió realizarlo el día 28 de agosto de 2024 ya que, de acuerdo con el Sistema Climático de Pennsylvania, se anunció una alerta sobre las altas temperaturas que se pudieran presentar ese día, teniendo un pronóstico de hasta 105 °F, equivalente a 40.5 °C.

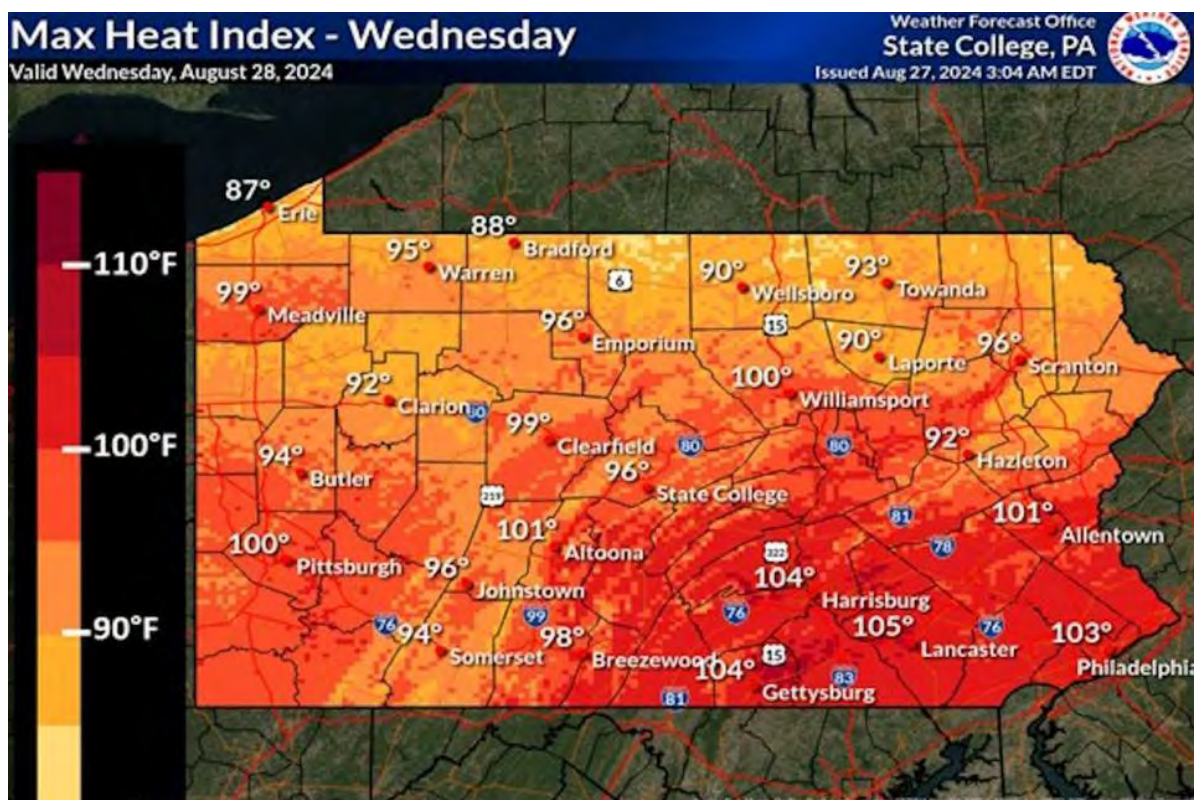


Imagen 130: Alerta climática para el estado de Pennsylvania, Estados Unidos.
 Fuente: <https://www.yahoo.com/news/heat-advisory-issued-central-pennsylvania-202459841.html>

La imagen 130 es un ejemplo de la alerta que se emite cada vez que se pronostican diversas situaciones relacionadas con el clima, como este caso, de la presencia de altas temperaturas en el estado de Pennsylvania.

7.2.2 Calibración de los instrumentos

Debido al traslado hacia otro país, con características físico-geográficas diferentes al lugar de origen en el cual se desarrolló el método, los instrumentos deben calibrarse por profesionales en el campo de estudio para que, con esta calibración, los datos obtenidos resulten con la mayor precisión posible. Para este caso, se contó con el apoyo del Dr. Travis Russel, quien amablemente nos apoyó en la calibración de los *data loggers* en un laboratorio ubicado en el edificio Brumbaugh Academic Center (BAC), perteneciente a Juniata College.

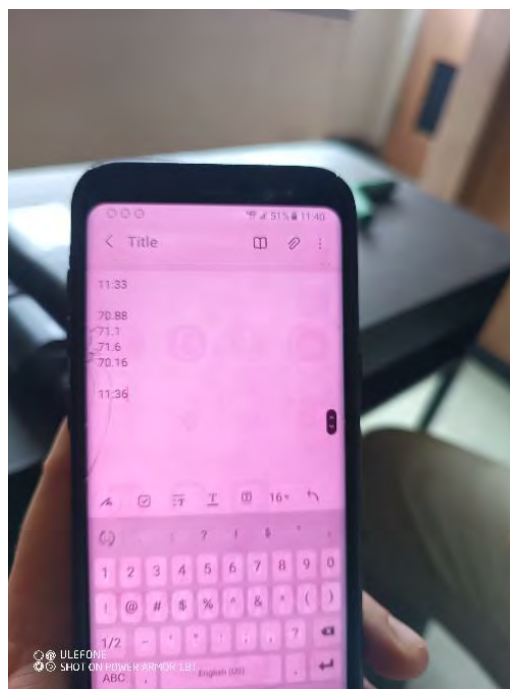


Imagen 131 y 132: Instrumentos para calibración en el laboratorio del BAC, Juniata College.

Esta calibración se realizó en un laboratorio bajo condiciones normales de temperatura, se utilizaron tres registradores de temperatura adicionales a los *data loggers* que se calibraron, el procedimiento para lograr este objetivo fue el siguiente: se encendieron los *data loggers* y se

colocaron muy cerca entre sí, al cabo de 20 minutos se comenzó a realizar el registro de la temperatura ambiental del laboratorio con todos los instrumentos, esta temperatura se fue tomando por lapsos de 5 minutos; después de media hora de registro se compararon las lecturas entre sí y arrojaron una diferencia de 0.1 °C o 0.2 °C, valores que se encuentran dentro del rango estipulado para validar los registros obtenidos.



Imagen 133: Calibración de los registradores de temperatura en el BAC, Juniata College.

7.2.3 Trazado del transecto

Con base en el análisis urbano-arquitectónico del sitio, se establece la trayectoria del recorrido para la medición de los parámetros ambientales establecidos en el método, que son la temperatura ambiental, la temperatura radiante y la humedad relativa. Debe abarcar la mayor parte de la zona de estudio y las principales vialidades donde, supuestamente, se pudiera presentar el fenómeno.

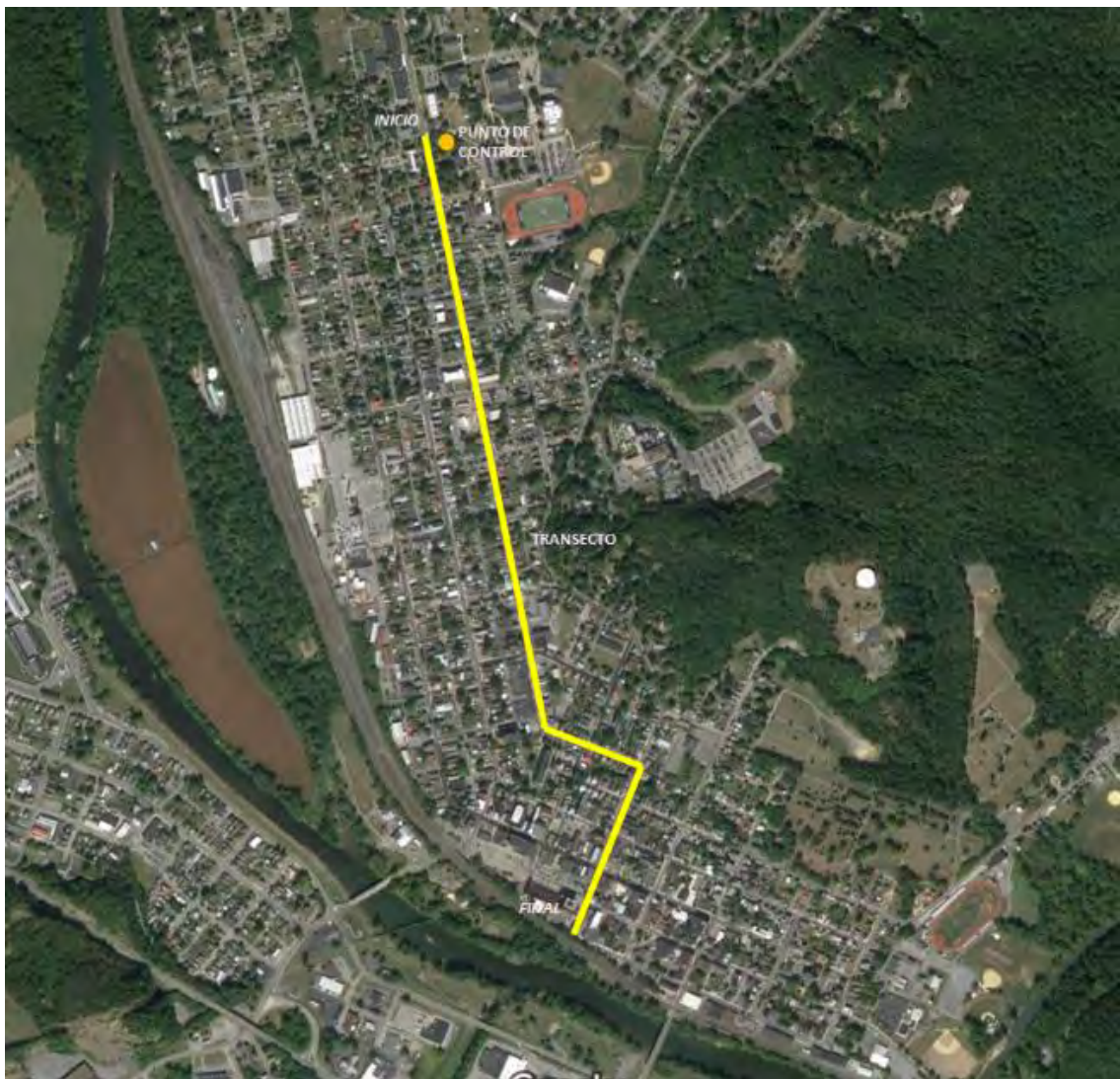


Imagen 134: Transecto en Huntingdon.

Moore Street tiene un ancho en banquetas de 2.30 m aproximadamente, el arroyo vehicular tiene una dimensión de 10.20 m hasta el cruce con 9th Street, a partir de esa calle el ancho de la vialidad es de 9.40 m hasta llegar a 7th Street, cuyo ancho es de 8.3 m aproximadamente, hasta llegar a Penn Street, la distancia total de este transecto es de 1640 m.

El transecto propuesto se indicó sobre la avenida principal de la ciudad, Moore Street, la cual cruza a Huntingdon de norte a sursureste, y desemboca en la avenida Penn Street, que se enlaza con la autopista no. 22. El comienzo de la medición de los parámetros ambientales fue en el campo central de Juniata College, a un costado de Moore Street, lugar que sirve de conexión entre los diferentes

edificios que se encuentran en el sitio y que cuenta con una gran cantidad de áreas verdes. En una de estas áreas se colocó un *data logger* con el objetivo de ser el punto de control ambiental, es decir, con base en los parámetros ambientales medidos de este punto se obtiene una diferencia respecto a las mediciones realizadas en el recorrido, la diferencia existente entre ambos registros es determinante para confirmar la existencia, o no, de la Isla de Calor Urbana, cuya diferencia oscila a partir de los 3°C.

7.3 Etapa de desarrollo

7.3.1 Aplicación del método

El primer paso por hacer es programar los registradores de temperatura a la hora indicada mediante el software de análisis, se puede programar tanto el inicio como el término del funcionamiento, en nuestro caso, no se programó el cierre del dispositivo ya que, con base en la experiencia previa, no se puede determinar con exactitud la hora en que se termina el recorrido por diversas circunstancias que puedan ocasionar algún retraso en el trayecto.

Con los registradores programados, se coloca el primero en el punto de control (se eligió el campus central por la cantidad de superficie verde con la que cuenta), y el segundo se empleara para las mediciones en el transecto. Para esta aplicación, el recorrido se hizo a pie dado que se han obtenido datos más precisos que si se hiciera en vehículo, principalmente por la incidencia del viento. Cabe señalar que en este trabajo de investigación se muestran los procedimientos más representativos de la aplicación del método desarrollado.



Imagen 135: Colocación del registrador de temperatura en el punto de control.



Imagen 136: Colocación del registrador de temperatura en el punto de control.



Imagen 137: Registrador de temperatura para el recorrido del transecto.

El recorrido comienza a la hora estipulada con base en el pronóstico, los registradores deben ser programados para el inicio de la lectura de los parámetros ambientales, la cámara termográfica deberá estar preparada con el software termográfico y calibrada con respecto a la temperatura ambiental, ya calibrada, se elige el lado del transecto que será fotografiado; para nuestro caso, será aquel en el cual el sol quede en la parte posterior de las fachadas de los edificios debido a que no están expuestas directamente a la radiación solar.

La captura de la imagen se propone a cada 10 metros de distancia dado el rango de distancia de la cámara termográfica, mediante la hora de registro de la imagen podremos capturar la información del recorrido en la base de datos, este procedimiento se realiza a lo largo del transecto hasta llegar al punto final; al terminar el transecto, regresamos al punto de control para retirar el registrador de temperatura y cerrar la sesión de ambos con el software.

7.3.2 El recorrido

Comienza con todos los instrumentos puestos en funcionamiento, los registradores tomaron lectura de los parámetros ambientales cada minuto, las fotografías termográficas se obtuvieron a cada 10 metros de distancia. Se camino a un ritmo normal de velocidad -alrededor de 5 Km por hora-, evitando hacer pausas prolongadas, solo las necesarias, como para obtener las imágenes termográficas o para detenernos por un semáforo. Al término del recorrido, se vuelve al sitio donde colocamos el registrador del punto de control para recogerlo y detener su función, las gráficas que despliega el registrador con las lecturas son las siguientes:

a) Registrador de temperatura del recorrido

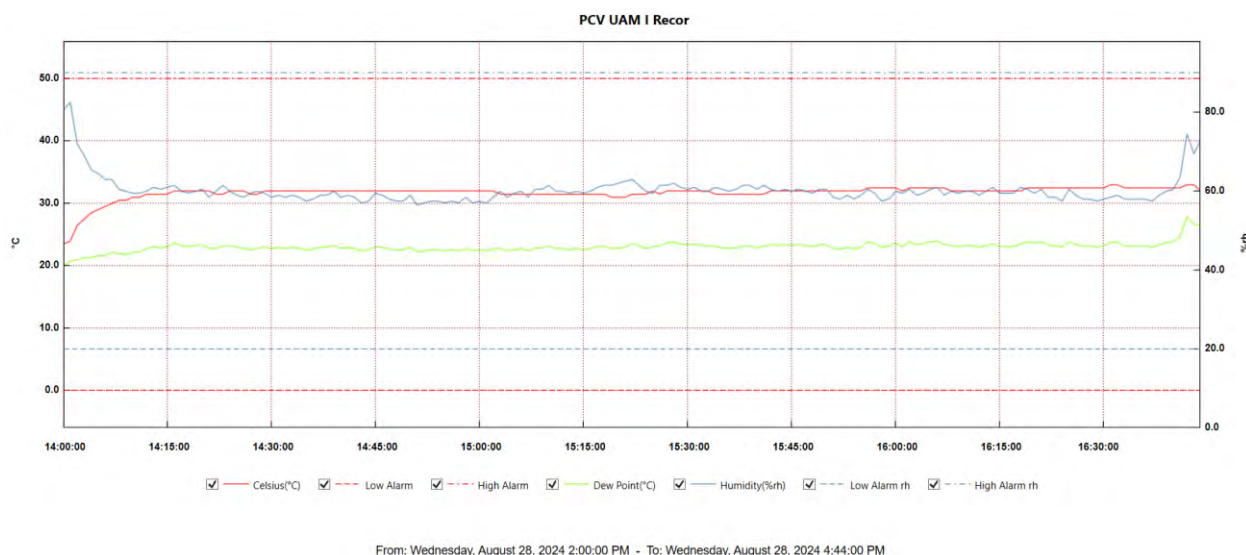


Imagen 138: Grafica del registrador de temperatura del recorrido.

Como se aprecia en la gráfica anterior, los parámetros ambientales medidos permanecen constantes a lo largo del recorrido realizado, no se percibe una diferencia significativa en los periodos de tiempo comprendidos, cabe resaltar que el recorrido se terminó alrededor de las 16:15 hr, la parte de la gráfica mostrada después de esa hora se debe al recorrido realizado de vuelta hacia el punto de control para recoger el registrador y, posteriormente, cerrar el periodo de medición con el software empleado para esta actividad.

b) Registrador de temperatura del punto de control

Como se observa en la siguiente gráfica, existen variaciones significativas en la lectura de los parámetros, conforme transcurre el tiempo, aumenta la temperatura y la humedad relativa disminuye.

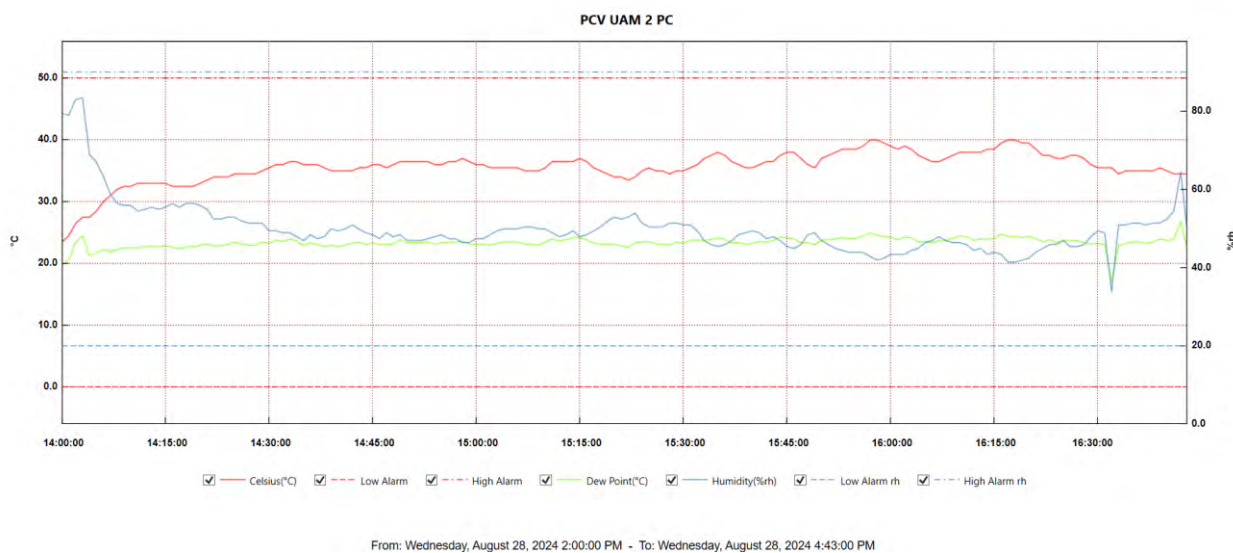


Imagen 139: Grafica del registrador de temperatura del punto de control.

El punto máximo de temperatura se alcanza alrededor de las 16:00 hr, a esa misma hora el registrador del recorrido se encontraba en el área denominada Downtown, que es el centro de la ciudad; el aspecto importante radica en la presencia de la Isla de Calor Urbana: mientras que en Juniata College existe una mayor cantidad de árboles y áreas verdes, en Downtown se encuentra la mayor concentración de viviendas y población; por tanto, a primera instancia se supondría que la Isla de Calor Urbana se encontraría en Downtown y no en Juniata College, por lo que será importante analizar los factores que propician la aparición de la Isla de Calor Urbana en este sitio con base en los parámetros que se creen definitorios para este fenómeno, ya que estos no aplican en el caso de Huntingdon.

Además de los dos registradores de temperatura empleados en el método, se seleccionó la estación climática perteneciente al *The Pennsylvania State Climatologist*, el sistema estatal del clima, la cual se encuentra en la parte posterior de la escuela secundaria; para nuestra investigación, se consideró como el punto de referencia del ámbito rural para realizar la comparativa de lecturas y darles la validez necesaria a nuestros parámetros obtenidos.

Esta estación cumple con los dos requerimientos para ser considerada como punto de referencia, el primero es que se encuentra a una distancia de 841 m aproximadamente; el segundo es la diferencia de altitud, la cual es de 7 m aproximadamente, la estación se encuentra a 209 m y el punto de control a 216 m Con base en la información obtenida en *The Pennsylvania State Climatologist*, se presenta la siguiente tabla de registro de la temperatura ambiental, la humedad relativa y el punto de rocío, en un lapso comprendido entre las 14:00 hr y las 16:30 hr del día 28 de agosto de 2024.

Date / Time (GMT)	Air Temperature (F)	° C	Dewpoint Temperature (F)	° C	Relative Humidity (%)
8/28/2024 14:00	79	26.1	71.3	21.8	77.36
8/28/2024 14:01	79	26.1	71.5	21.9	77.72
8/28/2024 14:02	79	26.1	71.6	22.0	78.05
8/28/2024 14:03	79	26.1	71.7	22.1	78.15
8/28/2024 14:04	79.1	26.2	71.8	22.1	78.34
8/28/2024 14:05	79.2	26.2	71.8	22.1	78.14
8/28/2024 14:06	79.3	26.3	71.5	21.9	77.16
8/28/2024 14:07	79.2	26.2	71.3	21.8	76.64
8/28/2024 14:08	79.2	26.2	71.5	21.9	77.24
8/28/2024 14:09	79.2	26.2	71.4	21.9	77.14
8/28/2024 14:10	79.2	26.2	71.3	21.8	76.74
8/28/2024 14:11	79.2	26.2	71.4	21.9	77
8/28/2024 14:12	79.3	26.3	71.7	22.1	77.52
8/28/2024 14:13	79.3	26.3	71.7	22.1	77.36
8/28/2024 14:14	79.4	26.3	71.9	22.2	77.86
8/28/2024 14:15	79.4	26.3	71.6	22.0	77.13
8/28/2024 14:16	79.3	26.3	71.6	22.0	77.2
8/28/2024 14:17	79.3	26.3	71.9	22.2	78.05
8/28/2024 14:18	79.4	26.3	71.9	22.2	77.77
8/28/2024 14:19	79.4	26.3	71.7	22.1	77.19
8/28/2024 14:20	79.5	26.4	71.6	22.0	76.9
8/28/2024 14:21	79.5	26.4	71.9	22.2	77.76
8/28/2024 14:22	79.5	26.4	71.8	22.1	77.32
8/28/2024 14:23	79.6	26.4	71.7	22.1	76.88
8/28/2024 14:24	79.8	26.6	71.8	22.1	76.7
8/28/2024 14:25	79.9	26.6	71.9	22.2	76.55
8/28/2024 14:26	80	26.7	71.8	22.1	76.01
8/28/2024 14:27	80	26.7	72	22.2	76.42
8/28/2024 14:28	80	26.7	72.4	22.4	77.42
8/28/2024 14:29	80	26.7	72	22.2	76.47
8/28/2024 14:30	80	26.7	71.8	22.1	75.93
8/28/2024 14:31	80	26.7	71.8	22.1	75.84
8/28/2024 14:32	80.2	26.8	71.7	22.1	75.4
8/28/2024 14:33	80.4	26.9	71.9	22.2	75.32
8/28/2024 14:34	80.6	27.0	72	22.2	75.02
8/28/2024 14:35	80.7	27.1	72	22.2	74.77

Tabla 19: Valores de la estación climática del Sistema de Pennsylvania.

Como se observa en la tabla, la temperatura ambiental va en aumento conforme transcurre el tiempo, de la hora inicial del registro hasta la hora final del recorrido se aprecia una diferencia de 5 grados aproximadamente, de 79 °F a 84 °F. Estos datos serán utilizados para crear una tabla entre los registros de los tres instrumentos de medición empleados para que, mediante una comparación de resultados, se pueda determinar la existencia o no, de la Isla de Calor Urbana en el área de

estudio. En la tabla comparativa se anexarán los valores de la temperatura radiante a partir del análisis realizado a las imágenes termográficas con el software especializado, esta información servirá de apoyo y de referencia para contribuir al desarrollo del método de detección de la Isla de Calor Urbana con base en la aplicación de la termografía.

c) Imágenes termográficas

A lo largo del recorrido, se procuró obtener la mayor cantidad de imágenes termográficas del canon urbano para conocer la cantidad de temperatura radiante emitida por las superficies de los diversos materiales constructivos y, posteriormente, analizarlas mediante el software especializado con el objetivo de obtener en qué medida este factor contribuye con la temperatura ambiental para la formación de la Isla de Calor Urbana.

A continuación, se muestran algunas imágenes obtenidas en este recorrido.

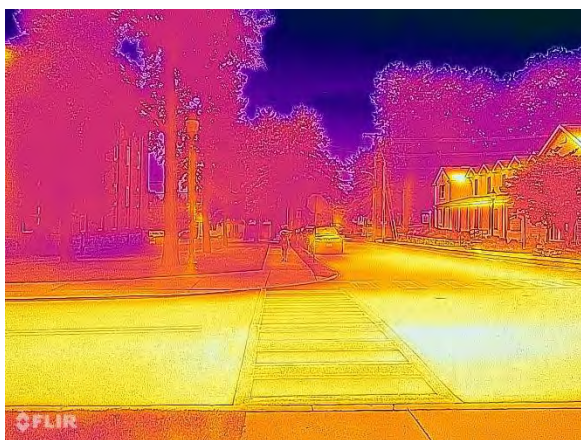


Imagen 140 y 141: Imágenes termográficas del recorrido.

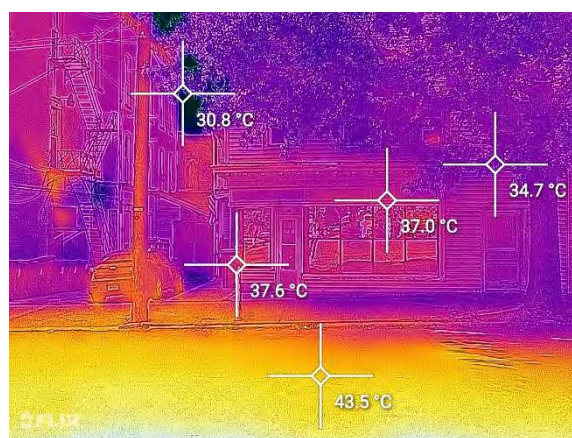
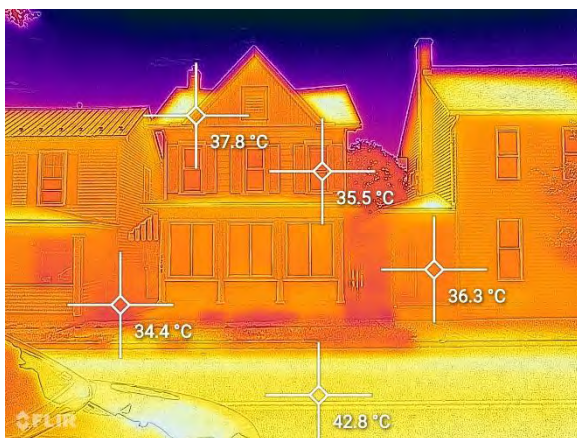


Imagen 142 y 143: Imágenes termográficas del recorrido.

En las imágenes 140 a 143, se puede observar la temperatura radiante de las distintas superficies de los elementos urbano-arquitectónicos de la escena, además, se colocaron puntos de medición sobre elementos precisos, como los pavimentos y los techos, que nos indican la cantidad de temperatura radiante medido en ese momento; estas mediciones también se pueden colocar con el software especializado al momento de hacer el análisis de la imagen. Cabe señalar que las imágenes que se obtienen son de los elementos que componen al canon urbano de uno de sus lados, no se trata de un estudio de fachadas de las vialidades cómo es posible que pueda llegar a suponer algún lector, con conocimiento especializado en el área o no, de este trabajo de investigación.

De manera general, durante el recorrido no se encontraron inconvenientes que pudieran incidir sobre los resultados de las mediciones de los registradores de temperatura, solo algunos momentos de espera en el instante de obtener algunas imágenes termográficas, como el paso de los vehículos o de las personas por el mismo lugar del recorrido.

7.4 Resultados

Los datos obtenidos se colocaron en la siguiente tabla, la cual muestra la diferencia de temperatura existente entre los tres puntos de registro (punto de control, recorrido y referencia).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA										
UNIDAD AZCAPOTZALCO										
POSGRADO EN DISEÑO										
DOCTORADO EN DISEÑO BIOCLIMÁTICO										
RELACION DE LOS DATOS REGISTRADOS ENTRE LOS DATA LOGGERS EMPLEADOS, LA ESTACION CLIMATICA Y LAS LECTURAS DE LAS IMAGENES TERMOGRAFICAS MEDIANTE EL COEFICIENTE DE RELACION DE PEARSON						Huntingdon				
						Pennsylvania, Estado Unidos				
						Temperaturas				
	Fecha	Data Logger Punto de Control	Data Logger Recorrido	Diferencia entre data loggers	Huntingdon Area School District - Huntingdon Area Middle	Diferencia entre Punto de Control y Estacion	Diferencia entre Recorrido y Estacion	Imagenes termograficas		
	28/08/2024	(No. de serie 65051885)	(No. de serie 65058456)					Temperatura (°C)		
Registro	Hora	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)			Maxima	Media	Minima
1	8/28/2024 14:00	23.5	23.5	0.0	26.1	-2.6	-2.6			
2	8/28/2024 14:01	24.5	24.0	0.5	26.1	-1.6	-2.1			
3	8/28/2024 14:02	26.5	26.5	0.0	26.1	0.4	0.4			
4	8/28/2024 14:03	27.5	27.5	0.0	26.1	1.4	1.4			
5	8/28/2024 14:04	27.5	28.5	-1.0	26.2	1.3	2.3			
6	8/28/2024 14:05	28.5	29.0	-0.5	26.2	2.3	2.8	49.3	37.1	22.7
7	8/28/2024 14:06	30.0	29.5	0.5	26.3	3.7	3.2			
8	8/28/2024 14:07	31.0	30.0	1.0	26.2	4.8	3.8			
9	8/28/2024 14:08	32.0	30.5	1.5	26.2	5.8	4.3	49.3	39.1	25.7
10	8/28/2024 14:09	32.5	30.5	2.0	26.2	6.3	4.3	50.1	36.9	21.8
11	8/28/2024 14:10	32.5	31.0	1.5	26.2	6.3	4.8			
12	8/28/2024 14:11	33.0	31.0	2.0	26.2	6.8	4.8	46.8	34.3	20.1
13	8/28/2024 14:12	33.0	31.5	1.5	26.3	6.7	5.2	48.0	34.7	21.3
14	8/28/2024 14:13	33.0	31.5	1.5	26.3	6.7	5.2			
15	8/28/2024 14:14	33.0	31.5	1.5	26.3	6.7	5.2	50.6	35.1	21.0
16	8/28/2024 14:15	33.0	31.5	1.5	26.3	6.7	5.2	45.8	34.3	21.9
17	8/28/2024 14:16	32.5	32.0	0.5	26.3	6.2	5.7			
18	8/28/2024 14:17	32.5	32.0	0.5	26.3	6.2	5.7	45.7	35.2	21.9
19	8/28/2024 14:18	32.5	32.0	0.5	26.3	6.2	5.7			
20	8/28/2024 14:19	32.5	32.0	0.5	26.3	6.2	5.7	47.3	35.5	16.9
21	8/28/2024 14:20	33.0	32.0	1.0	26.4	6.6	5.6	47.0	34.0	17.1
22	8/28/2024 14:21	33.5	32.0	1.5	26.4	7.1	5.6	50.5	37.9	19.7
23	8/28/2024 14:22	34.0	31.5	2.5	26.4	7.6	5.1			
24	8/28/2024 14:23	34.0	31.5	2.5	26.4	7.6	5.1	55.6	35.2	18.3
25	8/28/2024 14:24	34.0	32.0	2.0	26.6	7.4	5.4			
26	8/28/2024 14:25	34.5	32.0	2.5	26.6	7.9	5.4	50.0	35.7	18.8
27	8/28/2024 14:26	34.5	32.0	2.5	26.7	7.8	5.3	48.9	34.9	18.4
28	8/28/2024 14:27	34.5	31.5	3.0	26.7	7.8	4.8			
29	8/28/2024 14:28	34.5	31.5	3.0	26.7	7.8	4.8			
30	8/28/2024 14:29	35.0	32.0	3.0	26.7	8.3	5.3	49.5	36.2	18.6
31	8/28/2024 14:30	35.5	32.0	3.5	26.7	8.8	5.3	54.2	40.1	21.7
32	8/28/2024 14:31	36.0	32.0	4.0	26.7	9.3	5.3			
33	8/28/2024 14:32	36.0	32.0	4.0	26.8	9.2	5.2	52.8	37.9	17.5
34	8/28/2024 14:33	36.5	32.0	4.5	26.9	9.6	5.1	51.8	35.6	17.8
35	8/28/2024 14:34	36.5	32.0	4.5	27.0	9.5	5.0	52.9	37.3	19.6
36	8/28/2024 14:35	36.0	32.0	4.0	27.1	8.9	4.9	53.1	37.7	18.5
37	8/28/2024 14:36	36.0	32.0	4.0	27.2	8.8	4.8	51.7	37.0	21.5
38	8/28/2024 14:37	36.0	32.0	4.0	27.2	8.8	4.8	52.9	38.1	18.5
39	8/28/2024 14:38	35.5	32.0	3.5	27.2	8.3	4.8	51.2	37.3	18.2
40	8/28/2024 14:39	35.0	32.0	3.0	27.2	7.8	4.8			

41	8/28/2024 14:40	35.0	32.0	3.0	27.3	7.7	4.7	50.3	38.0	19.6
42	8/28/2024 14:41	35.0	32.0	3.0	27.5	7.5	4.5	49.1	37.0	17.6
43	8/28/2024 14:42	35.0	32.0	3.0	27.7	7.3	4.3			
44	8/28/2024 14:43	35.5	32.0	3.5	27.9	7.6	4.1	48.7	35.5	20.6
45	8/28/2024 14:44	35.5	32.0	3.5	28.2	7.3	3.8			
46	8/28/2024 14:45	36.0	32.0	4.0	28.3	7.7	3.7	47.2	37.1	24.2
47	8/28/2024 14:46	36.0	32.0	4.0	28.3	7.7	3.7	47.2	36.4	22.7
48	8/28/2024 14:47	35.5	32.0	3.5	28.2	7.3	3.8	50.4	36.7	19.9
49	8/28/2024 14:48	36.0	32.0	4.0	28.3	7.7	3.7	52.3	35.9	21.9
50	8/28/2024 14:49	36.5	32.0	4.5	28.3	8.2	3.7	48.7	37.8	22.5
51	8/28/2024 14:50	36.5	32.0	4.5	28.2	8.3	3.8			
52	8/28/2024 14:51	36.5	32.0	4.5	28.3	8.2	3.7	50.2	38.5	25.8
53	8/28/2024 14:52	36.5	32.0	4.5	28.3	8.2	3.7	50.0	37.3	24.7
54	8/28/2024 14:53	36.5	32.0	4.5	28.4	8.1	3.6	50.9	37.8	20.2
55	8/28/2024 14:54	36.0	32.0	4.0	28.4	7.6	3.6	51.4	38.1	19.4
56	8/28/2024 14:55	36.0	32.0	4.0	28.4	7.6	3.6	52.1	38.3	19.1
57	8/28/2024 14:56	36.5	32.0	4.5	28.4	8.1	3.6	51.5	38.3	19.5
58	8/28/2024 14:57	36.5	32.0	4.5	28.4	8.1	3.6			
59	8/28/2024 14:58	37.0	32.0	5.0	28.4	8.6	3.6	50.4	36.3	18.6
60	8/28/2024 14:59	36.5	32.0	4.5	28.6	7.9	3.4	50.2	34.4	16.3
61	8/28/2024 15:00	36.0	32.0	4.0	28.7	7.3	3.3	48.8	35.6	17.4
62	8/28/2024 15:01	36.0	32.0	4.0	28.8	7.2	3.2			
63	8/28/2024 15:02	35.5	32.0	3.5	29.0	6.5	3.0	47.8	34.8	17.3
64	8/28/2024 15:03	35.5	31.5	4.0	29.1	6.4	2.4	51.3	35.7	17.6
65	8/28/2024 15:04	35.5	31.5	4.0	28.9	6.6	2.6			
66	8/28/2024 15:05	35.5	31.5	4.0	28.8	6.7	2.7	47.5	35.0	17.8
67	8/28/2024 15:06	35.5	31.5	4.0	28.8	6.7	2.7	49.5	36.9	18.1
68	8/28/2024 15:07	35.0	31.5	3.5	28.8	6.2	2.7			
69	8/28/2024 15:08	35.0	31.5	3.5	28.7	6.3	2.8	46.9	35.3	18.0
70	8/28/2024 15:09	35.0	31.5	3.5	28.8	6.2	2.7			
71	8/28/2024 15:10	35.5	31.5	4.0	28.9	6.6	2.6	48.1	38.2	19.1
72	8/28/2024 15:11	36.5	31.5	5.0	29.1	7.4	2.4	49.3	36.0	17.6
73	8/28/2024 15:12	36.5	31.5	5.0	29.1	7.4	2.4			
74	8/28/2024 15:13	36.5	31.5	5.0	29.0	7.5	2.5	53.2	35.8	17.1
75	8/28/2024 15:14	36.5	31.5	5.0	28.9	7.6	2.6			
76	8/28/2024 15:15	37.0	31.5	5.5	28.8	8.2	2.7	51.1	34.2	15.7
77	8/28/2024 15:16	36.5	31.5	5.0	28.7	7.8	2.8			
78	8/28/2024 15:17	35.5	31.5	4.0	28.7	6.8	2.8	48.6	36.8	20.6
79	8/28/2024 15:18	35.0	31.5	3.5	28.8	6.2	2.7	46.2	35.8	18.2
80	8/28/2024 15:19	34.5	31.0	3.5	29.1	5.4	1.9			
81	8/28/2024 15:20	34.0	31.0	3.0	29.2	4.8	1.8	47.2	33.9	18.3
82	8/28/2024 15:21	34.0	31.0	3.0	29.3	4.7	1.7			
83	8/28/2024 15:22	33.5	31.5	2.0	29.3	4.2	2.2	43.5	35.3	21.1
84	8/28/2024 15:23	34.0	31.5	2.5	29.2	4.8	2.3			
85	8/28/2024 15:24	35.0	31.5	3.5	29.2	5.8	2.3	47.3	36.9	20.8
86	8/28/2024 15:25	35.5	32.0	3.5	29.1	6.4	2.9			
87	8/28/2024 15:26	35.0	31.5	3.5	29.1	5.9	2.4			
88	8/28/2024 15:27	35.0	32.0	3.0	29.2	5.8	2.8	48.7	37.8	22.5
89	8/28/2024 15:28	34.5	32.0	2.5	29.1	5.4	2.9			
90	8/28/2024 15:29	35.0	32.0	3.0	29.1	5.9	2.9	51.0	36.6	19.8
91	8/28/2024 15:30	35.0	32.0	3.0	29.1	5.9	2.9			
92	8/28/2024 15:31	35.5	32.0	3.5	29.2	6.3	2.8	49.2	36.9	18.0
93	8/28/2024 15:32	36.0	32.0	4.0	29.1	6.9	2.9			
94	8/28/2024 15:33	37.0	32.0	5.0	29.1	7.9	2.9	54.3	34.9	17.0
95	8/28/2024 15:34	37.5	31.5	6.0	28.9	8.6	2.6			
96	8/28/2024 15:35	38.0	31.5	6.5	28.8	9.2	2.7	47.5	37.5	19.1
97	8/28/2024 15:36	37.5	31.5	6.0	28.8	8.7	2.7			
98	8/28/2024 15:37	36.5	31.5	5.0	28.8	7.7	2.7	49.9	39.3	22.6
99	8/28/2024 15:38	36.0	31.5	4.5	28.7	7.3	2.8	48.6	38.2	21.7
100	8/28/2024 15:39	35.5	31.5	4.0	28.7	6.8	2.8			

91	8/28/2024 15:30	35.0	32.0	3.0	29.1	5.9	2.9			
92	8/28/2024 15:31	35.5	32.0	3.5	29.2	6.3	2.8	49.2	36.9	18.0
93	8/28/2024 15:32	36.0	32.0	4.0	29.1	6.9	2.9			
94	8/28/2024 15:33	37.0	32.0	5.0	29.1	7.9	2.9	54.3	34.9	17.0
95	8/28/2024 15:34	37.5	31.5	6.0	28.9	8.6	2.6			
96	8/28/2024 15:35	38.0	31.5	6.5	28.8	9.2	2.7	47.5	37.5	19.1
97	8/28/2024 15:36	37.5	31.5	6.0	28.8	8.7	2.7			
98	8/28/2024 15:37	36.5	31.5	5.0	28.8	7.7	2.7	49.9	39.3	22.6
99	8/28/2024 15:38	36.0	31.5	4.5	28.7	7.3	2.8	48.6	38.2	21.7
100	8/28/2024 15:39	35.5	31.5	4.0	28.7	6.8	2.8			
101	8/28/2024 15:40	35.5	31.5	4.0	28.6	6.9	2.9	49.1	35.8	18.3
102	8/28/2024 15:41	36.0	31.5	4.5	28.6	7.4	2.9	51.1	36.9	18.4
103	8/28/2024 15:42	36.5	32.0	4.5	28.6	7.9	3.4			
104	8/28/2024 15:43	36.5	32.0	4.5	28.5	8.0	3.5	51.0	38.0	19.3
105	8/28/2024 15:44	37.5	32.0	5.5	28.4	9.1	3.6	49.9	36.6	19.2
106	8/28/2024 15:45	38.0	32.0	6.0	28.4	9.6	3.6	48.2	35.7	22.1
107	8/28/2024 15:46	38.0	32.0	6.0	28.4	9.6	3.6			
108	8/28/2024 15:47	37.0	32.0	5.0	28.4	8.6	3.6			
109	8/28/2024 15:48	36.0	32.0	4.0	28.4	7.6	3.6	52.9	39.2	21.3
110	8/28/2024 15:49	35.5	32.0	3.5	28.4	7.1	3.6	55.2	37.6	20.2
111	8/28/2024 15:50	37.0	32.0	5.0	28.4	8.6	3.6			
112	8/28/2024 15:51	37.5	32.0	5.5	28.6	8.9	3.4	51.8	41.5	23.3
113	8/28/2024 15:52	38.0	32.0	6.0	28.6	9.4	3.4	52.4	39.8	21.0
114	8/28/2024 15:53	38.5	32.0	6.5	28.6	9.9	3.4			
115	8/28/2024 15:54	38.5	32.0	6.5	28.6	9.9	3.4	52.2	37.8	20.4
116	8/28/2024 15:55	38.5	32.0	6.5	28.7	9.8	3.3	51.7	39.0	21.3
117	8/28/2024 15:56	39.0	32.5	6.5	28.7	10.3	3.8			
118	8/28/2024 15:57	40.0	32.5	7.5	28.7	11.3	3.8	52.1	39.3	21.8
119	8/28/2024 15:58	40.0	32.5	7.5	28.8	11.2	3.7			
120	8/28/2024 15:59	39.5	32.5	7.0	28.7	10.8	3.8	55.7	38.0	22.3
121	8/28/2024 16:00	39.0	32.5	6.5	28.7	10.3	3.8			
122	8/28/2024 16:01	38.5	32.0	6.5	28.8	9.7	3.2			
123	8/28/2024 16:02	39.0	32.5	6.5	28.8	10.2	3.7	51.6	39.1	21.8
124	8/28/2024 16:03	38.5	32.5	6.0	28.8	9.7	3.7	57.0	37.7	20.0
125	8/28/2024 16:04	37.5	32.5	5.0	28.8	8.7	3.7	60.2	37.7	19.8
126	8/28/2024 16:05	37.0	32.5	4.5	28.7	8.3	3.8			
127	8/28/2024 16:06	36.5	32.5	4.0	28.7	7.8	3.8	50.7	37.7	20.6
128	8/28/2024 16:07	36.5	32.5	4.0	28.7	7.8	3.8	46.7	37.8	26.9
129	8/28/2024 16:08	37.0	32.0	5.0	28.8	8.2	3.2			
130	8/28/2024 16:09	37.5	32.0	5.5	28.8	8.7	3.2	48.8	39.2	34.6
131	8/28/2024 16:10	38.0	32.0	6.0	28.8	9.2	3.2			
132	8/28/2024 16:11	38.0	32.0	6.0	28.8	9.2	3.2			
133	8/28/2024 16:12	38.0	32.0	6.0	28.8	9.2	3.2	51.8	42.0	36.4
134	8/28/2024 16:13	38.0	32.0	6.0	28.9	9.1	3.1	52.8	37.5	20.4
135	8/28/2024 16:14	38.5	32.0	6.5	28.9	9.6	3.1	50.7	38.9	22.4

Tabla 20: Comparativa de resultados entre los puntos de medición.

El recorrido comenzó alrededor de las 14:00 hr y se terminó después de las 16:00 hr ya que fue el periodo de mayor intensidad pronosticado para ese día, el registrador de temperatura se programó a cada minuto la toma de lectura de datos atmosféricos; con el recorrido finalizado, se agregó a la tabla los registros obtenidos de la estación climática para comparar los tres puntos entre sí y, de esta manera, comprobar la existencia de la Isla de Calor Urbana en el sitio de estudio.

El método propuesto es una combinación de la lectura de los registradores ambientales y la termografía, por esta razón es que se agregaron los datos obtenidos de las imágenes termográficas del recorrido a la tabla de resultados después de que estas fueron analizadas mediante el software

especializado, con el análisis se obtuvo la temperatura radiante de las superficies de todos los elementos que componen la escena: pavimentos, edificios, vegetación, celaje, autos y otros elementos arquitectónicos o urbanos, como letreros o anuncios. De este análisis, se obtuvieron tres mediciones de la temperatura radiante: la temperatura máxima, la temperatura media y la temperatura mínima; estos valores se colocaron en la hora correspondiente a la lectura del instrumento con la finalidad de conocer la cantidad de temperatura radiante existente en ese momento.

Con respecto a las imágenes termográficas, estas se obtuvieron a cada 10 metros de distancia aproximadamente, cada captura se realizó en un lapso de tiempo de 1 a 2 minutos en promedio, y, en todos los casos, se fotografió la parte derecha de la calle, quedando el sol por detrás de las construcciones, ya que es el lado que menos recibe la radiación solar durante el periodo vespertino y con el cual se evaluó la temperatura radiante; al finalizar la captura de imágenes, se procede a su análisis con el software termográfico.

7.5 Análisis de resultados

La temperatura radiante de la termografía y la temperatura ambiental están relacionadas, pero no de manera directa y sencilla. Para poder calcular el porcentaje de contribución de la temperatura radiante en la formación de la temperatura ambiental, se debe realizar un análisis más profundo utilizando modelos estadísticos y de regresión. Para realizar el análisis de los datos obtenidos de los registradores de temperatura y la cámara termográfica, se empleó la correlación estadística, específicamente el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, una técnica que permite evaluar la relación entre dos conjuntos de datos; bajo este contexto, la relación de las lecturas de temperatura obtenidas por los registradores y las imágenes térmicas capturadas por la cámara.

El procedimiento para calcular la correlación de Pearson (r) es el siguiente:

1. Definir las variables

- Recolecta dos conjuntos de datos numéricos, x e y , que representen las variables a correlacionar.
- Cada par de valores (x_1, y_1) debe corresponder a la misma unidad de observación.

2. Calcular las medias de ambas variables

- Media de x :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

- Media de y :

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$$

3. Calcular las desviaciones de cada valor respecto a su media

$$X_i - \bar{X}$$

$$Y_i - \bar{Y}$$

4. Calcular la covarianza entre x e y

$$\text{Cov}(X, Y) = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n - 1}$$

5. Calcular las desviaciones estándar de cada variable

- Desviación estándar de x :

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

- Desviación estándar de y :

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}}$$

6. Calcular el coeficiente de correlación de Pearson (r)

$$r = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{S_X S_Y}$$

Donde:

- r , está en el rango de $[-1,1]$
- Si $r=1$, hay una correlación positiva perfecta.
- Si $r=-1$, hay una correlación negativa perfecta.
- Si $r=0$, no hay correlación lineal entre las variables.

7. Interpretar el resultado

- $r > 0$: Correlación positiva (a mayor x , mayor y).
- $r < 0$: Correlación negativa (a mayor x , menor y).
- r cercano a 0: Correlación débil o nula.

El cálculo de correlación de Pearson se emplea para determinar la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos variables, la covarianza mide cómo dos variables cambian juntas, si las lecturas de temperatura de los registradores y las temperaturas de las imágenes térmicas tienen una relación positiva (ambas suben o bajan simultáneamente), el coeficiente será cercano a +1; si es negativa, una variable tiende a aumentar mientras la otra disminuye, si no hay ninguna relación, el coeficiente será cercano a 0; esta técnica permite evaluar si las mediciones de temperatura recogidas por los registradores y la lectura de las imágenes térmicas están reflejando el mismo patrón térmico, lo cual es crucial para validar la fiabilidad de las mediciones obtenidas en cada experimento.

Con base en la información anterior, se hicieron los cálculos respectivos entre los diversos elementos que se emplearon para las mediciones, quedando los resultados expresados en la siguiente tabla:

Coeficiente de correlacion de Pearson (r)	Punto de Control	Recorrido	Estacion climatica	Maxima Termografica	Media Termografica	Minima Termografica
Punto de Control		0.83	0.67	0.45	0.45	0.14
Recorrido	0.83		0.42	0.33	0.23	0.03
Estacion climatica	0.67	0.42		0.05	0.20	0.05
Maxima Termografica	0.45	0.33	0.05		0.39	-0.06
Media Termografica	0.45	0.23	0.20	0.39		0.57
Minima Termografica	0.14	0.03	0.05	-0.06	0.57	

Tabla 21: Valores de la correlación entre la temperatura ambiental y la temperatura radiante

La interpretación de resultados es:

- Punto de Control vs. Recorrido (0.83): Hay una fuerte covarianza positiva, cuando una de estas variables aumenta, la otra también, lo que podría reflejar que el punto de control y el recorrido están muy relacionados debido a que ambos están midiendo aspectos similares de la temperatura en la zona de estudio.
- Punto de Control vs. Estación Climática (0.67): Existe una relación positiva moderada, los cambios en el punto de control también se correlacionan con la estación climática, estas variables se ven afectadas por las condiciones climáticas locales.
- Punto de Control vs. Máxima Termográfica (0.45): La relación entre estas dos variables es moderadamente positiva, la temperatura en el punto de control no está tan fuertemente relacionada con la temperatura máxima radiante.
- Punto de Control vs. Media Termográfica (0.45): Una relación moderada, el punto de control y la temperatura media radiante no están muy fuertemente correlacionadas.
- Punto de Control vs. Mínima Termográfica (0.14): La covarianza es casi nula, no hay una relación significativa entre estas dos variables.
- Recorrido vs. Estación Climática (0.42): La relación entre el recorrido y la estación climática es moderada, indica que tanto la ubicación como el tipo de estación pueden influir en la medición de la temperatura en el recorrido.

- Recorrido vs. Máxima Termográfica (0.33): Hay una relación moderada positiva entre el recorrido y la temperatura máxima medida.
- Recorrido vs. Media Termográfica (0.23): La covarianza entre estas dos variables es baja.
- Recorrido vs. Mínima Termográfica (0.03): Esta relación es casi nula.
- Estación Climática vs. Máxima Termográfica (0.05): La covarianza entre estas dos variables es casi nula, no existe una relación significativa.
- Estación Climática vs. Media Termográfica (0.20): Se observa una relación baja positiva, la estación climática tiene algo de influencia sobre la temperatura media radiante.
- Estación Climática vs. Mínima Termográfica (0.05): La covarianza es prácticamente nula.
- Máxima Termográfica vs. Media Termográfica (0.39): Hay una relación moderada entre la temperatura máxima y la media medida, lo que indica que cuando la temperatura máxima sube, la temperatura media también tiende a subir.
- Máxima Termográfica vs. Mínima Termográfica (-0.06): La relación es ligeramente negativa, cuando la temperatura máxima aumenta, la mínima tiende a disminuir, lo que podría ser un patrón típico en algunas situaciones de calor o radiación térmica.
- Media Termográfica vs. Mínima Termográfica (0.57): Hay una relación moderada positiva entre la temperatura media y la mínima, cuando la temperatura media radiante sube, la temperatura mínima aumenta.

Las variables que están fuertemente correlacionadas son el punto de control con el recorrido, y hay correlaciones moderadas entre algunas temperaturas termográficas, pero en general, las relaciones entre las temperaturas máximas, medias y mínimas son más débiles, y no siempre muestran una relación lineal fuerte.

La correlación de Pearson (r) mide la relación lineal entre dos variables, y el cuadrado del coeficiente de correlación (r^2) nos da el porcentaje de variabilidad de una variable que puede ser explicado por la otra variable en un modelo lineal; es decir, r^2 nos indica el porcentaje de variación que se comparte entre las dos variables. Para nuestro caso, utilizaremos r^2 entre las variables de temperatura radiante (como Máxima Termográfica, Media Termográfica, o Mínima Termográfica) y la temperatura ambiental (como el Punto de Control o Recorrido), para estimar en qué medida la

temperatura radiante contribuye a la variabilidad de la temperatura ambiental; por tanto, utilizaremos la siguiente formula:

$$r^2 = (r)^2$$

Con base en el cuadro anterior de los coeficientes de correlación de Pearson, obtenemos los resultados para el porcentaje de variabilidad

Porcentaje de variabilidad (r^2)	Punto de Control	Recorrido	Estacion climatica	Maxima Termografica	Media Termografica	Minima Termografica
Punto de Control		0.69	0.44	0.20	0.21	0.02
Recorrido	0.69		0.17	0.11	0.05	0.00
Estacion climatica	0.44	0.17		0.00	0.04	0.00
Maxima Termografica	0.20	0.11	0.00		0.15	0.00
Media Termografica	0.21	0.05	0.04	0.15		0.32
Minima Termografica	0.02	0.00	0.00	0.00	0.32	

Tabla 22: Valores de la variabilidad entre la temperatura ambiental y la temperatura radiante.

Correlaciones entre las variables:

Punto de Control

- Punto de Control vs Recorrido: $r^2 = 0.69$ (69%)
- Punto de Control vs Estación Climática: $r^2 = 0.44$ (44%)
- Punto de Control vs Máxima Termográfica: $r^2 = 0.20$ (20%)
- Punto de Control vs Media Termográfica: $r^2 = 0.21$ (21%)
- Punto de Control vs Mínima Termográfica: $r^2 = 0.02$ (2%)

Recorrido

- Recorrido vs Estación Climática: $r^2 = 0.17$ (17%)
- Recorrido vs Máxima Termográfica: $r^2 = 0.11$ (11%)

- Recorrido vs Media Termográfica: $r^2 = 0.05$ (5%)
- Recorrido vs Mínima Termográfica: $r^2 = 0.00$ (0%)

Estación Climática

- Estación Climática vs Máxima Termográfica: $r^2 = 0.00$ (0%)
- Estación Climática vs Media Termográfica: $r^2 = 0.04$ (4%)
- Estación Climática vs Mínima Termográfica: $r^2 = 0.00$ (0%)

Máxima Termográfica

- Máxima Termográfica vs Media Termográfica: $r^2 = 0.15$ (15%)
- Máxima Termográfica vs Mínima Termográfica: $r^2 = 0.00$ (0%)

Media Termográfica

- Media Termográfica vs Mínima Termográfica: $r^2 = 0.32$ (32%)

Al analizar los resultados anteriores, obtenemos las siguientes conclusiones:

- Punto de Control tiene la mayor correlación con el Recorrido ($r^2 = 0.69$), lo que sugiere una fuerte relación entre ambas variables.
- La Mínima Termográfica tiene las correlaciones más débiles con las demás variables (casi todos sus r^2 son muy bajos o cero), indicando que tiene una influencia mínima sobre la variabilidad en otras variables.
- Las Máximas y Medias Termográficas tienen correlaciones moderadas con el Punto de Control y la Estación Climática, pero estas relaciones no son tan fuertes como con el Recorrido.

En general, con los valores de r^2 obtenidos, podemos concluir que las temperaturas radiantes de las superficies (como la Máxima Termográfica y la Media Termográfica) contribuyen aproximadamente en un 20% a la variabilidad de la temperatura ambiental; sin embargo, la relación no es perfecta, y existen otros factores que influyen en la temperatura ambiental que no están capturados completamente por las temperaturas radiantes.

Con base en la información anterior, propondremos un modelo de regresión lineal que nos permita interpretar la temperatura ambiental a partir de la temperatura radiante captada en el transecto, la formula general es:

$$T_{ambiental} = \beta_0 + \beta_1 * T_{radiante}$$

Donde:

- $T_{ambiental}$ es la temperatura ambiental que se pretende predecir.
- $T_{radiante}$ es la temperatura radiante obtenida de las imágenes termográficas.
- β_0 es la intersección o constante del modelo, también conocida como el término independiente.
- β_1 es el coeficiente de la pendiente, el cual indica cómo varía la temperatura ambiental en función de la temperatura radiante.

Este modelo permite estimar cómo cambia la temperatura ambiental a medida que varía la temperatura radiante, utilizando los parámetros β_0 y β_1 , los cuales se determinan a través de un proceso de ajuste de los datos (ajuste por mínimos cuadrados); para realizar estos cálculos necesitamos obtener la intersección (β_0) y el coeficiente de la pendiente (β_1) con las siguientes formulas:

a) Intersección β_0 :

$$\beta_0 = \frac{\sum T_{ambiental} - \beta_1 \sum T_{radiante}}{n}$$

b) Coeficiente de la pendiente β_1 :

$$\beta_1 = \frac{n \sum (T_{ambiental} \cdot T_{radiante}) - \sum T_{ambiental} \sum T_{radiante}}{n \sum T_{radiante}^2 - (\sum T_{radiante})^2}$$

El β_0 , conocido como intersección o constante en un modelo de regresión lineal, es el valor de la variable dependiente (la temperatura ambiental) cuando todas las variables independientes (las temperaturas radiantes) son iguales a cero.

β_0 representa el valor de la temperatura ambiental cuando no hay contribución de la temperatura radiante; es decir, si la temperatura radiante fuera cero, β_0 nos daría la temperatura ambiental estimada en esa situación. Es el punto de inicio o el valor base de la variable dependiente en el modelo de regresión lineal, es un componente clave para comprender cómo las variables están relacionadas entre sí y se utiliza para predecir el valor de la variable dependiente con base en las variables independientes.

La pendiente β_1 en una ecuación de regresión lineal, indica cuántas unidades cambia la variable dependiente (temperatura ambiental) por cada unidad de cambio en la variable independiente (temperatura radiante). La fórmula para obtener la pendiente es:

$$\beta_1 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

En la cual:

- X_i es cada valor individual de la variable independiente (la temperatura radiante).
- Y_i es cada valor individual de la variable dependiente (la temperatura ambiental).
- $\bar{Y}$ es la media de los valores de la variable independiente (temperatura radiante).
- $\bar{x}$ es la media de los valores de la variable dependiente (temperatura ambiental).

El procedimiento por seguir es:

1. Calcular la media de los valores de la temperatura radiante (x) y de la temperatura ambiental (y).
2. Calcular las diferencias respecto a las medias de ambas temperaturas.

3. Multiplicar las diferencias.
4. Sumar los productos.
5. Sumar los cuadrados de las diferencias de las variables.
6. Obtener la pendiente.

Con la plataforma Excel como apoyo para la realización de las operaciones y, posteriormente, la obtención de las gráficas de los resultados, se realizaron tres cálculos que involucraron a la temperatura ambiental del recorrido con cada una de las temperaturas radiantes captadas en las imágenes termográficas (máxima, mínima y promedio), los cuales se muestran a continuación.

a) Recorrido – mínima termográfica

El coeficiente de correlación de Pearson es aproximadamente -0.46, lo que indica una correlación negativa moderada entre la temperatura radiante y la temperatura ambiental: a medida que aumenta la temperatura radiante, la temperatura ambiental tiende a disminuir. El valor p es 8.97×10^{-6} , lo que sugiere que esta correlación es estadísticamente significativa.

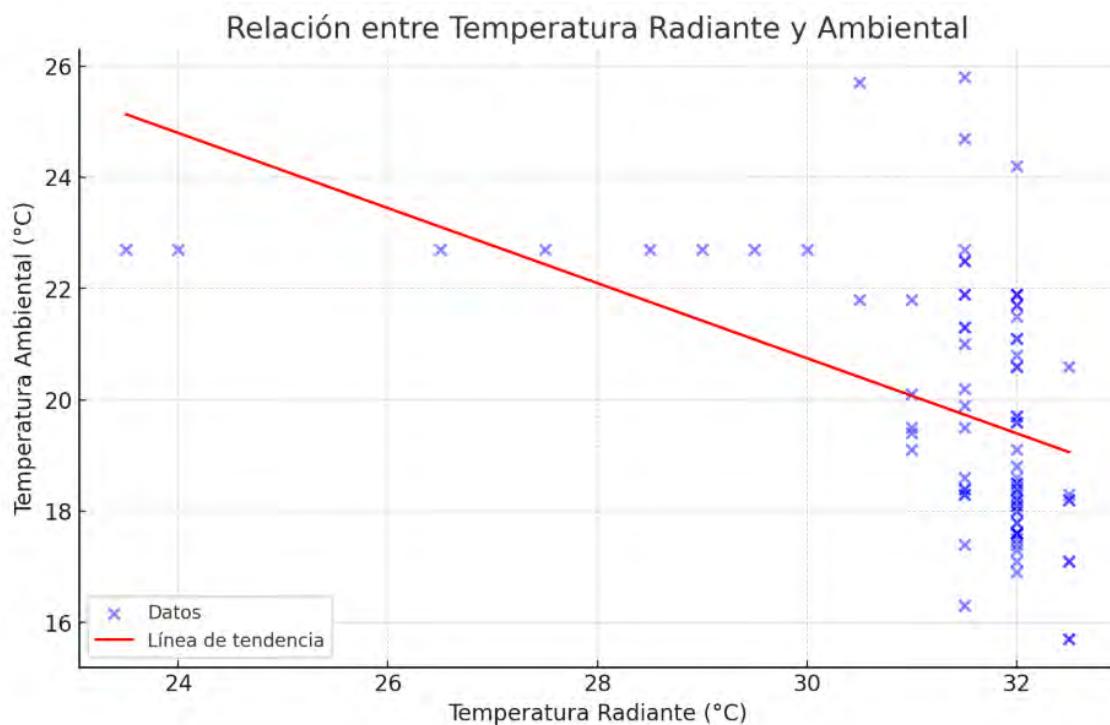


Imagen 144: Gráfica de la correlación lineal entre las temperaturas estudiadas.

Huntingdon, aunque no es una gran ciudad, tiene superficies construidas que absorben y almacenan calor durante el día, liberándolo por la noche, esto puede elevar la temperatura radiante en comparación con las zonas rurales circundantes. En el mes de agosto se suelen experimentar días calurosos con temperaturas máximas que pueden superar los 30 °C, especialmente en áreas urbanas. Durante este mes, es común observar el fenómeno de la Isla de Calor Urbana debido a:

1. Radiación solar intensa: Agosto es uno de los meses más soleados, lo que eleva significativamente la temperatura de las superficies expuestas al sol, como asfalto y concreto.
2. Circulación de aire y vientos locales: Las corrientes de aire pueden redistribuir el calor. Si las estaciones de medición de temperatura ambiental están en zonas ventiladas o sombreadas, mientras que las imágenes termográficas registran superficies soleadas, surge esa relación inversa.
3. Efecto de la vegetación: Áreas cercanas al Juniata College o parques locales con vegetación densa muestran menores temperaturas ambientales debido a la evapotranspiración, pero las superficies pavimentadas cercanas pueden registrar temperaturas radiantes mucho más altas.
4. Características urbanas específicas: En poblaciones pequeñas, las diferencias térmicas entre áreas urbanas y rurales pueden ser más marcadas debido a la cercanía de superficies vegetadas y edificadas.

b) Recorrido – media termográfica

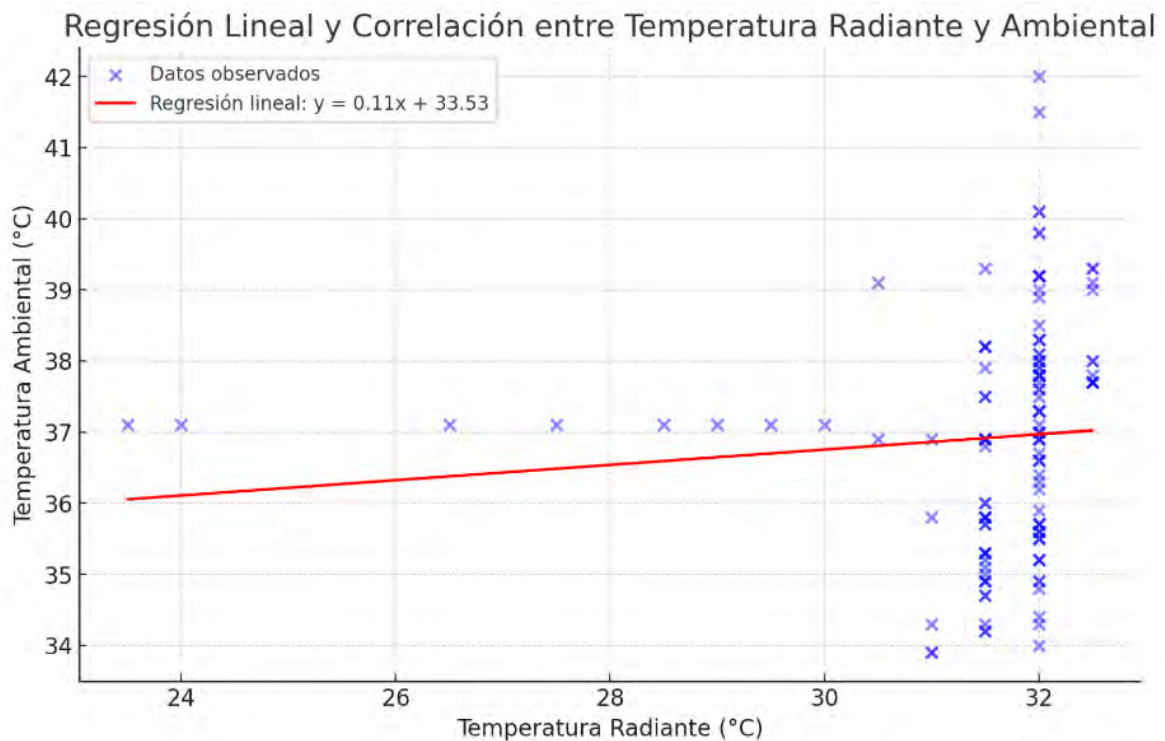


Imagen 145: Grafica de la correlación lineal entre las temperaturas estudiadas.

- Ecuación de la regresión lineal:

$$y = 0.11x + 33.53$$

- Coeficiente de correlación (r): 0.085

Esto indica una correlación débil entre la temperatura radiante (variable independiente) y la temperatura ambiental (variable dependiente).

- La relación entre ambas variables es débil, lo que sugiere que el aumento o disminución de la temperatura radiante no explica significativamente los cambios en la temperatura ambiental.
- Se observa una dispersión considerable de los puntos alrededor de la línea de regresión, lo que respalda la baja correlación.

c) Recorrido – máxima termográfica

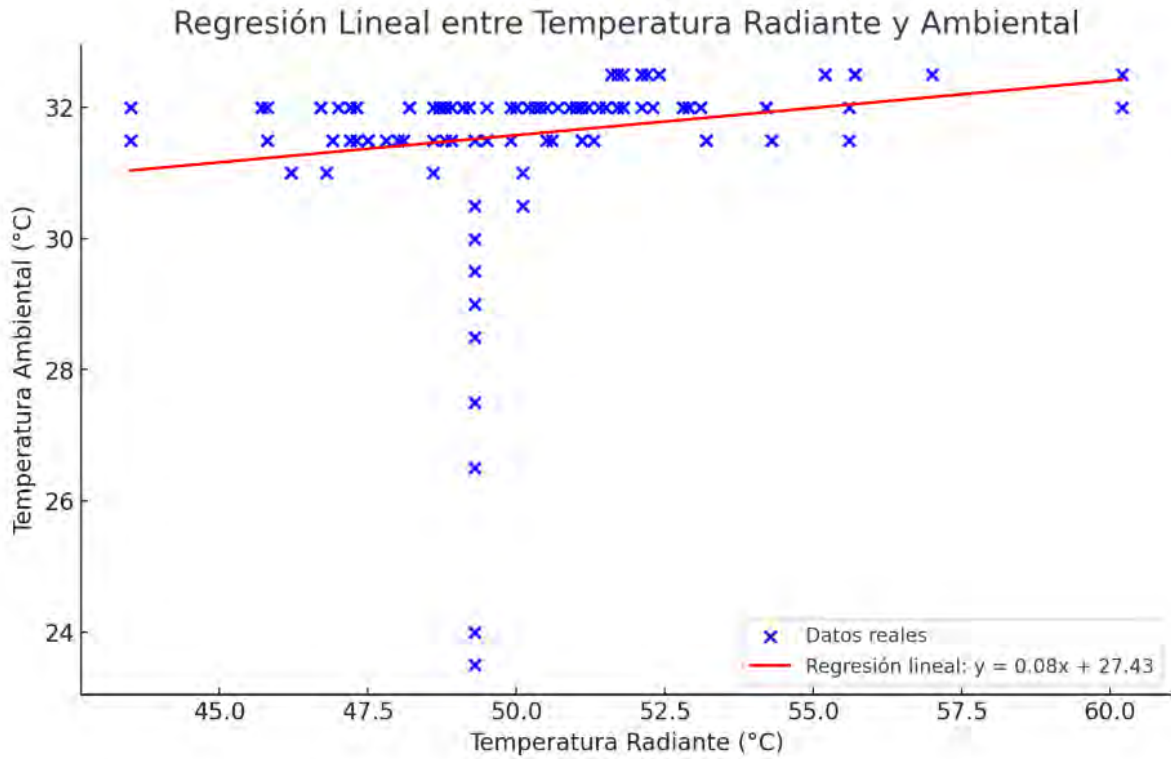


Imagen 146: Grafica de la correlación lineal entre las temperaturas estudiadas.

- Coeficiente de correlación: 0.1848

Indica una correlación positiva débil entre la temperatura radiante y la temperatura ambiental.

- Ecuación de la regresión lineal:

$$Y = 0.083x + 27.43$$

Cada aumento de 1°C en la temperatura radiante se asocia con un aumento de aproximadamente 0.083°C en la temperatura ambiental.

- Coeficiente de determinación (r^2): 0.0341

Solo el 3.41% de la variabilidad en la temperatura ambiental puede explicarse por la temperatura radiante.

La relación entre la temperatura radiante y la temperatura ambiental es muy débil, lo que sugiere que otros factores pueden estar influyendo en la temperatura ambiental más allá de la temperatura radiante. La regresión tiene poca capacidad predictiva, ya que el valor de r^2 es muy bajo.

7.6 Conclusiones

Con base en el análisis anterior, se pueden establecer algunos patrones de tendencias importantes de la temperatura radiante con respecto a la temperatura ambiental. Con respecto a las condiciones generales de temperatura encontradas durante el experimento, la matriz nos indica que estas condiciones fueron mayormente frías, con variaciones moderadas hacia temperaturas más cálidas en algunos puntos; las temperaturas mínimas son las más variables, muestran un comportamiento térmico fluctuante relacionado con la hora del día o con la exposición a fuentes de calor en distintas partes del recorrido, no sucede así con las temperaturas medias registradas, ya que se muestran más estables a lo largo de las mediciones, siendo un indicador de las fluctuaciones térmicas generales.

Este análisis muestra como el comportamiento térmico de un entorno determinado, la forma en que los parámetros de temperatura radiante cambian a lo largo del recorrido, en función de las condiciones ambientales presentadas; determinar la existencia de la Isla de Calor Urbana (UHI) únicamente con la temperatura radiante tiene algunas limitaciones, el ámbito ideal es la combinación de datos para obtener aspectos claves en la formación de este fenómeno.

En las gráficas se puede observar que los valores de la temperatura radiante tienden a ser negativos en relación con la temperatura ambiental, es decir, a medida que la temperatura ambiental aumenta, los valores de la temperatura radiante disminuyen; en algunos casos, existe una discrepancia mayor entre estos dos parámetros, lo que puede significar que hay un cambio abrupto en las condiciones del recorrido, como una alteración en el ambiente o un evento que afecta la radiación del lugar.

Respecto a la relación de la temperatura radiante y la estación climática, se observan patrones similares de comportamiento estable, estos patrones podrían estar relacionados con características como la humedad, la radiación solar o las características de la superficie de los materiales de construcción.

El análisis de la matriz muestra una compleja interacción entre la temperatura radiante y la temperatura ambiental en el contexto de la Isla de Calor Urbana, algunos puntos de control

muestran diferencias más amplias en comparación con otros puntos, con tendencia más uniforme; esta tendencia también se puede relacionar con la ubicación específica del registro de la lectura, el tipo de suelo, los factores climáticos como el viento, la humedad, la radiación solar y las características del contexto urbano-arquitectónico, lo que sugiere que el entorno es determinante en la relación entre estos dos términos.

Capítulo VIII

Implicaciones urbano-arquitectónicas de la UHI en contextos comparados

8.1 Introducción

Este capítulo examina las implicaciones urbano-arquitectónicas del fenómeno de Isla de Calor Urbana (UHI) a través de un análisis comparativo entre Tlalnepantla de Baz, Estado de México y Huntingdon, Pennsylvania. Se identifican factores morfológicos, materiales y sociales que agravan o mitigan el efecto UHI. Los hallazgos muestran que el diseño urbano compacto, la baja vegetación y el uso de materiales de alta absorción térmica en el Estado de México intensifican la carga térmica. En contraste, Huntingdon presenta una configuración urbana abierta, materiales reflectantes y una alta proporción de áreas verdes que contribuyen a la regulación térmica. El estudio sugiere que para mitigar la UHI es necesario integrar estrategias de diseño bioclimático, mejorar la eficiencia térmica en la vivienda social y fomentar la participación comunitaria en la regeneración térmica del entorno urbano.

8.2 Contexto

La Isla de Calor Urbana (UHI) es un fenómeno derivado de la urbanización intensiva, caracterizado por el aumento de la temperatura superficial y del aire en zonas urbanas respecto a áreas rurales circundantes, además, se considera como propio del desarrollo de las grandes ciudades, dadas las características urbano-arquitectónicas que las conforman y que, con base en una serie de condiciones que se presentan, se manifiesta de tal forma que puede pasar por imperceptible debido a las condiciones atmosféricas del lugar. Esta manifestación térmica tiene múltiples consecuencias sobre el entorno urbano y arquitectónico, dado que modifica el comportamiento ambiental del espacio construido, afecta el confort térmico de los habitantes y condiciona las estrategias de diseño arquitectónico y urbano.

Para comprender sus implicaciones a profundidad, se presenta un análisis comparativo entre dos contextos contrastantes: el Estado de México, en la zona centro de México, caracterizado por

urbanización acelerada, y Huntingdon, Pennsylvania, en el noreste de Estados Unidos, con un crecimiento más controlado y planificación semirrural. Ambos muestran diferencias en términos de morfología urbana, vegetación, materiales y regulación térmica.

8.3 Enfoque urbano

Para entender la relación entre la morfología urbana y el fenómeno de la Isla de Calor Urbana, es importante observar variables estructurales como la densidad poblacional, el tipo de actividades económicas, la infraestructura vial, el sistema de transporte, la traza urbana y la configuración arquitectónica. A continuación, se presentan elementos comparativos entre el Estado de México y Huntingdon, Pennsylvania, que reflejan las diferencias urbanas y sus efectos térmicos.

En el Estado de México, particularmente en municipios conurbados de la Zona Metropolitana del Valle de México, la densidad poblacional puede superar los 10,000 hab/Km². Esta alta densidad se combina con una trama urbana compacta, calles estrechas, pavimentos impermeables (concreto, asfalto), escasa vegetación y edificación continua. La actividad económica predominante es el comercio informal, la manufactura ligera y el transporte. Los sistemas de movilidad se basan principalmente en vehículos privados, microbuses, transporte público colectivo informal y mototaxis, generando una fuerte carga térmica asociada al uso intensivo de combustibles fósiles.



Imagen 147: Tlalnepantla de Baz, Estado de México.
Fuente: Google Earth, 2025.

Por otro lado, Huntingdon, Pennsylvania, presenta una densidad promedio de aproximadamente 1,400 hab/Km². Su traza urbana es más abierta, con manzanas de baja densidad, presencia regular de árboles en las calles y amplios jardines residenciales. Las actividades económicas se enfocan en el sector educativo (Huntingdon alberga la universidad Juniata College), servicios públicos, comercio formal y pequeñas industrias familiares. El transporte es mixto: peatonal, bicicletas, autos privados y transporte escolar, en una red vial menos saturada y con mayor proporción de materiales térmicamente eficientes.

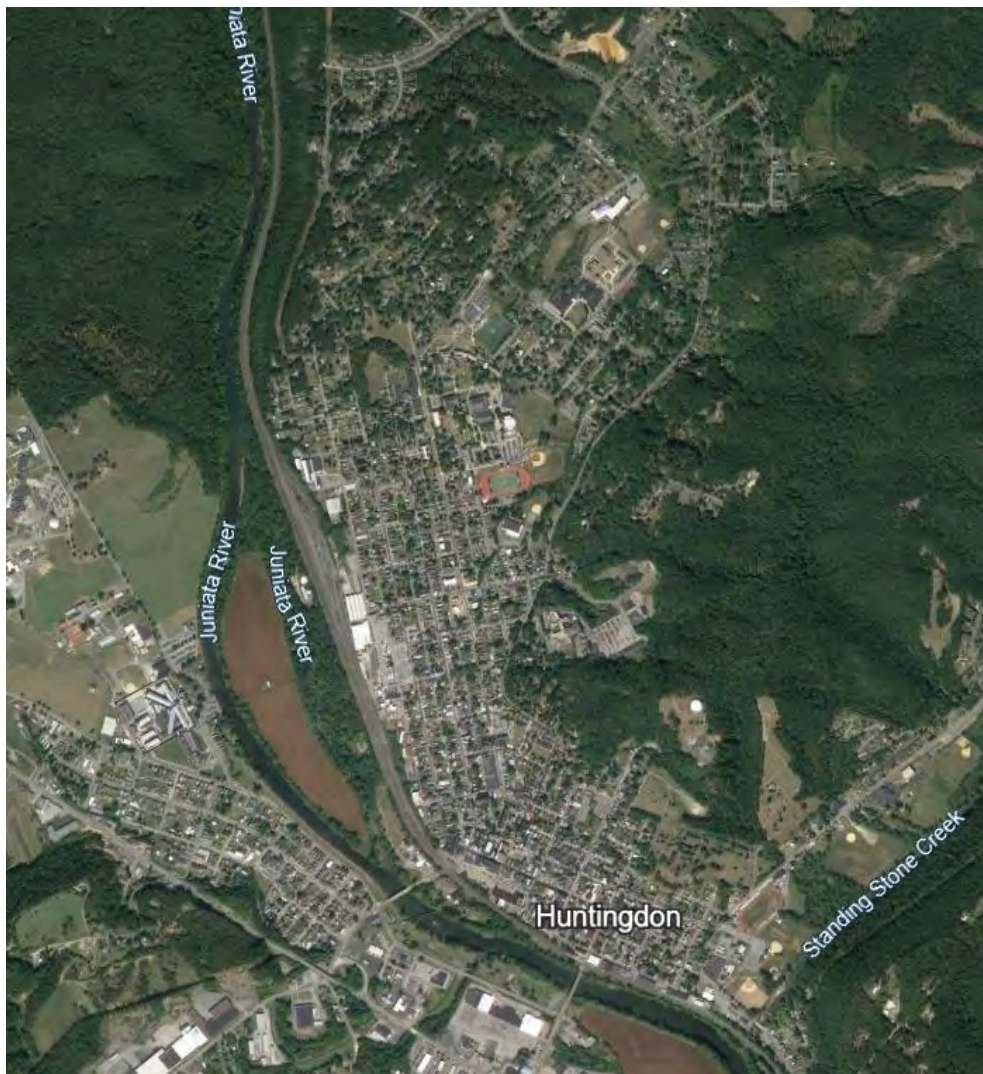


Imagen 148: Huntingdon, Pennsylvania.
Fuente: Google Earth, 2025.

Respecto a los materiales de las vialidades, en el Estado de México predomina el asfalto oscuro, de bajo albedo y alta capacidad térmica, lo que contribuye significativamente al efecto de acumulación de calor. En Huntingdon, es común encontrar superficies mixtas de asfalto claro y concreto, acompañadas por zonas ajardinadas o franjas permeables que ayudan a mitigar el calentamiento superficial.

Aspecto	Tlalnepantla de Baz	Huntingdon
Densidad urbana	Alta, con expansión irregular	Baja a media, planificación mixta
Densidad poblacional	>10,000 hab/Km ²	~1,400 hab/Km ²
Actividades económicas	Comercio informal, transporte, manufactura ligera	Educación, servicios públicos, comercio formal
Sistema de transporte	Microbuses, mototaxis, automóviles privados	Autos particulares, bicicleta, transporte escolar
Vegetación	Escasa en zonas urbanas	Abundante, árboles grandes en zonas residenciales
Tipo de edificación	Continua, multifamiliar, autoconstrucción	Unifamiliar, baja altura, madera con aislamiento
Calles y pavimentos	Concreto/asfalto, predominan superficies duras	Calles asfaltadas con franjas verdes y sombra
Material de vialidades	Asfalto negro, concreto gris	Asfalto claro, concreto, superficies ajardinadas
Trazado urbano	Compacto, con calles estrechas y escasa ventilación	Abierto, manzanas permeables, vegetación abundante
Espacios públicos	Limitados, saturados o sin mantenimiento	Parques distribuidos y bien mantenidos
Uso de suelo	Mixto, denso, residencial-comercial	Residencial dominante, con comercio puntual
Mitigación térmica natural	Muy baja (poca vegetación, superficies duras)	Alta (árboles, jardines, menor absorción térmica)

Tabla 23: Comparativa de aspectos urbanos entre las localidades

El análisis de la traza urbana revela que la compactación y la continuidad edificatoria en zonas mexicanas genera corredores urbanos con muy baja ventilación natural y altas temperaturas superficiales. En contraste, la morfología abierta de Huntingdon facilita la disipación del calor acumulado, gracias a su vegetación urbana, calles anchas y orientación del tejido urbano adaptada al entorno climático. Estas condiciones hacen que las diferencias en el microclima urbano entre ambos contextos sean notorias, y, en consecuencia, las estrategias de mitigación deben adaptarse a cada caso específico.

En el Estado de México, el desarrollo urbano se ha caracterizado por la densificación no planificada, predominando la autoconstrucción con materiales de baja reflectancia como block de concreto, cemento gris, lámina galvanizada y losas planas. La falta de vegetación urbana, espacios sombreados y superficies permeables contribuyen a la acumulación de calor, agravando el efecto de la UHI. En contraste, Huntingdon presenta una trama urbana más abierta, con vegetación densa, mayor uso de madera, cubiertas inclinadas, materiales reflectantes y normativas térmicas más estrictas.

En la imagen 149, los valores fueron establecidos mediante análisis comparativo basado en datos de observación, imágenes satelitales (Google Maps, 2023), características urbanísticas reportadas por INEGI (2021), y la literatura científica especializada (Oke, 1982; Bowler et al., 2010); Santamouris, 2014; Palme et al., 2021). La escala de 1 a 10 se emplea para expresar la magnitud relativa de cada factor en ambos contextos, con fines de análisis cualitativo y para sustentar las propuestas de mitigación urbano-arquitectónica.

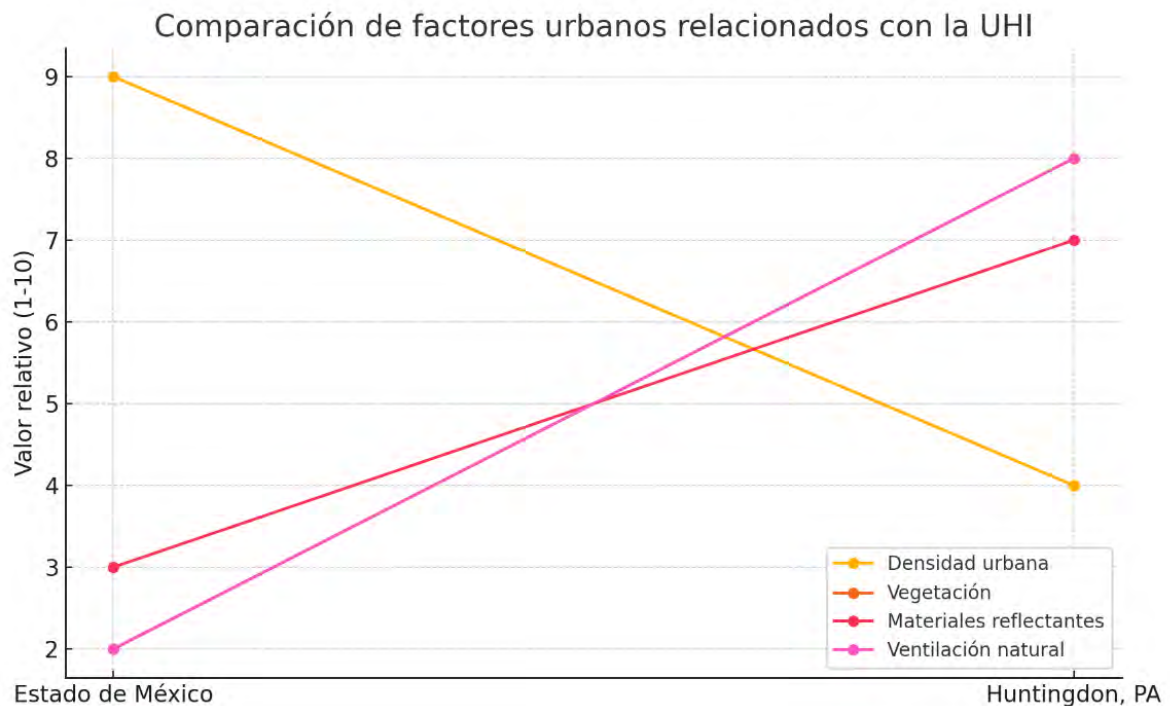


Imagen 149: Comparación de factores urbanos entre las localidades

La imagen 149 compara de forma relativa cuatro factores urbanos relacionados con el fenómeno de Isla de Calor Urbana (UHI) en Viveros de la Loma (Tlalnepantla de Baz, Estado de México) y Huntingdon, Pennsylvania. Se utilizó una escala ordinal de 1 a 10, donde 1 representa la presencia mínima o nula y 10 la presencia máxima o muy alta de cada factor en relación con su contribución potencial a la UHI.

Los valores fueron estimados con base en visitas de campo, imágenes satelitales (Google Maps, 2023), datos municipales (INEGI, 2021) y la literatura científica especializada (Oke, 1982; Bowler et al., 2010; Santamouris, 2014; Palme et al., 2021).

En el caso de la densidad urbana, se consideró el grado de compactación y la cobertura construida, mientras que para la vegetación se evaluó la cobertura verde y la proporción de áreas permeables. Los materiales reflectantes se valoraron según el predominio de techos y superficies claras, y la ventilación natural se basó en la apertura y orientación de las calles y espacios urbanos.

Estos valores no son absolutos ni medidos en unidades físicas directas, sino relativos y comparativos, como base para ilustrar diferencias contextuales y proponer estrategias de mitigación.

Los materiales reflectantes se valoraron según el predominio de techos y superficies claras, y la ventilación natural se basó en la apertura y orientación de las calles y espacios urbanos. Estos valores no son absolutos ni medidos en unidades físicas directas, sino relativos y comparativos, como base para ilustrar diferencias contextuales y proponer estrategias de mitigación.

El rango 1-10 se usa como una escala ordinal para representar de manera relativa y comparativa la magnitud o presencia de cada factor urbano asociado al efecto de Isla de Calor Urbana (UHI) en dos contextos: Tlalnepantla de Baz, Estado de México y Huntingdon, Pennsylvania. Es común en estudios comparativos preliminares para expresar cualitativamente variables cuando no hay datos numéricos directos homogéneos o cuando proviene de varias fuentes dispersas (Palme et al., 2021; Oke et al., 2017). Esto permite asignar valores que representan la intensidad o presencia relativa de un factor urbano que contribuye a la UHI.

Los factores que se consideraron fueron:

1. Densidad urbana, que es la relación de superficie construida contra el área libre, la altura promedio de las edificaciones y la compactación del trazado urbano (Oke, 1982; Palme et al., 2021). En este caso los valores asignados fueron: 9 para Tlalnepantla, por su alta compactación y menor ventilación, y 4 para Huntingdon, por su menor densidad y dispersión urbana.
2. Vegetación, el porcentaje de superficie permeable; existencia de parques y árboles; la cobertura vegetal urbana (Bowler et al., 2010; Palme et al., 2021). Los valores fueron: 3 para Tlalnepantla por la baja presencia de áreas verdes, y 7 para Huntingdon por mayor cobertura vegetal y áreas abiertas.
3. Materiales reflectantes: uso de techos fríos, pavimentos claros o reflectantes, albedo promedio de superficies (Santamouris, 2014). Para Tlalnepantla de Baz fueron 3 puntos por predominio de

superficies oscuras y alta absorción, y 6 para Huntingdon por mayor uso de techos claros y materiales reflectantes.

4. Ventilación natural: el criterio empleado fue la configuración de las calles, orientación y aperturas que facilitan el flujo de aire, los corredores verdes (Oke, 2017). Para Tlalnepantla fueron 2 puntos por cañones urbanos cerrados, y para Huntingdon, 8 puntos, por la configuración abierta y calles menos densas.

8.4 Implicaciones arquitectónicas

Desde la perspectiva arquitectónica, la selección de materiales de construcción, la configuración del espacio arquitectónico y el desempeño energético de los edificios son factores influyentes en la conformación de la Isla de Calor Urbana; dicho fenómeno obliga a los diseñadores a reconsiderar y replantearse estrategias pasivas de diseño, como el uso de aislantes térmicos, la orientación adecuada de los espacios, así como la ventilación natural y los materiales con alto albedo.

Con respecto al sitio de estudio en Tlalnepantla de Baz, la pobreza energética y la autoconstrucción son factores que exponen a los habitantes a sobrecalentamientos extremos, afectando la salud y el rendimiento en las actividades de las personas, como académicas y laborales; en cambio, en Huntingdon, por las condiciones climáticas imperantes en la región, las estrategias de aislamiento y control solar forman parte del diseño funcional arquitectónico desde la concepción de los diferentes espacios construidos.

8.4.1 Sistemas constructivos predominantes

A partir del análisis de los sistemas constructivos predominantes de cada región, se establecen las diferencias existentes en los aspectos estructurales, materiales constructivos, acabados e instalaciones, destacando su respuesta térmica y la eficiencia energética.

Para Tlalnepantla de Baz, los materiales de construcción que se emplean son: block de concreto, tabique rojo, concreto armado en elementos estructurales, cubiertas ligeras de lámina galvanizada,

la técnica predominante es la tradicional del entorno o la autoconstrucción, por lo que se presentan problemas térmicos como la baja inercia térmica, una alta absorción solar y una ventilación cruzada limitada. En Huntingdon, los materiales de construcción empleados son: madera tratada, tablaroca, ladrillo cerámico, revestimientos vinílicos y cubiertas inclinadas con teja asfáltica; el sistema constructivo es conocido como *Wood frame*, un sistema de marcos ligeros con aislamiento térmico. A diferencia de la contraparte, estos materiales cuentan con una mejor respuesta térmica, alta reflectancia en cubiertas y un aislamiento térmico eficiente. En la siguiente tabla se muestra una comparativa de materiales empleados con sus principales propiedades térmicas.

Material	Contexto	Albedo ¹	Conduct. térmica (W/mK)	Capacidad calorífica (J/kg)	Emisividad	Observaciones
Block de concreto	Estado de México	0.15	0.70	880	0.90	Alta absorción térmica, inercia media
Lámina galvanizada	Estado de México	0.30	50.0	450	0.05	Transmite rápidamente el calor, genera sobrecalentamiento
Tabique rojo	Estado de México	0.35	0.60	800	0.85	Más aislante que el concreto, pero sin ventilación pierde eficacia
Madera tratada	Huntingdon	0.45	0.12	1700	0.90	Buen aislante, baja conductividad térmica
Teja asfáltica	Huntingdon	0.20	0.75	920	0.95	Mayor inercia, moderada reflexión, pero combinada con aislamiento
Revestimiento vinílico	Huntingdon	0.55	0.19	1400	0.85	Alta reflectancia, buena durabilidad térmica

Tabla 24: Análisis térmico comparativo de materiales

Los materiales de construcción presentan características específicas con respecto a la radiación solar, las cuales son: a) materiales de baja reflectancia (albedo<0.3), los cuales absorben la mayor cantidad de radiación solar posible, incrementando la temperatura superficial y la transferencia de calor hacia el interior del edificio, b) superficies oscuras y rugosas, las cuales aumentan la emisión de calor por convección hacia el ambiente, c) materiales metálicos, como la lámina galvanizada, se calientan de forma rápida y lo transmiten hacia el interior del espacio arquitectónico, y d) cubiertas ligeras con aislamiento, que permiten regular de manera uniforme la carga térmica, lo que evita la acumulación excesiva de calor.

8.4.2 Análisis Comparativo del Consumo Energético

En este apartado se analizan los consumos promedios mensuales de electricidad, gas LP y agua, de las dos localidades en estudio, las cuales, con base en las características particulares de cada contexto, influyen directamente en los patrones de consumo energético residencial, donde los sistemas de climatización hacen una diferencia significativa en este tipo de consumos, y cuyos resultados se ven impactados por los costos estimados y las emisiones de carbono de cada uno de estos sistemas. Además, todo este gasto energético contribuye significativamente a la formación de la Isla de Calor Urbana (UHI) de cada región, ya que al final de cada proceso energético, el gasto generado se transforma en calor, escapa al exterior y se distribuye en el ambiente, afectando a la salud de la población en general.

Tabla comparativa de consumos promedio mensuales

Categoría	Sistema / Recurso	Consumo Mensual Promedio	Costo Promedio Mensual	Emisiones CO₂ (kg/mes)	Comentarios
Electricidad	Red eléctrica (CFE)	350 kWh	\$190 MXN (~\$11 USD)	199 kg	Uso promedio en iluminación y electrodomésticos
Gas LP	Cilindros / Tanques estacionarios	40 kg	\$900 MXN (~\$53 USD)	120 kg	Uso en cocina, agua caliente y calefacción ocasional

Agua Potable	Servicio municipal	10,000 litros	\$150 MXN (~\$9 USD)	2 kg	Costo subsidiado, uso doméstico regular
Calefacción	Estufas eléctricas / resistencias	~60 kWh (ocasional)	\$32 MXN (~\$2 USD)	34 kg	Poco uso; solo en temporadas frías
Enfriamiento	Ventiladores eléctricos	~80 kWh (verano)	\$45 MXN (~\$2.5 USD)	45 kg	Uso estacional en pocas viviendas
Enfriamiento	Aire acondicionado (mini split)	~200 kWh	\$120 MXN (~\$7 USD)	114 kg	Presente en viviendas de mayor nivel adquisitivo

Tabla 25: Comparativa de consumo, costos y emisiones

Para este análisis, el tipo de vivienda no fue detallado en los registros municipales disponibles; por tanto, se consideró un promedio estimado basado en el perfil predominante de la zona (viviendas unifamiliares y dúplex).

Debido a la temperatura media ambiental, que ronda los 15°C-18°C, en Tlalnepantla de Baz se ve reducido el uso de los sistemas de calefacción y de enfriamiento, no se puede decir que no son necesarios ya que su colocación y uso depende de las posibilidades económicas de las personas. El mayor recurso empleado es la electricidad, con un consumo mensual promedio de 350 kWh, que equivale a un aproximado de \$190 MXN, el servicio básico domestico (CFE, 2023); para este consumo, la emisión de CO₂ al ambiente es de casi 200 kg por hogar.

Existen dos tipos de gas utilizado en la región, el gas LP y el gas natural, ambos son empleados para actividades domésticas, como lo es la cocción de alimentos y el calentamiento del agua, generando un consumo promedio de 40 kg al mes, por cada hogar, que en cuestiones económicas representa un gasto alrededor de \$900 MXN, y una huella de carbono estimada en 120 kg.

El consumo de agua potable se utiliza en relación con el abasto proporcionado por los servicios municipales, siendo la zona metropolitana, en la que se encuentra nuestro objetivo de estudio, la

zona o región de mayor consumo para uso doméstico e higiene personal; por tanto, se estima que un hogar promedio consume 10,000 litros mensuales y una huella de carbono de 2 kg de CO₂.

Durante los meses más cálidos del año, abril y mayo, algunos hogares emplean ventiladores eléctricos o sistemas de aire acondicionado tipo mini split, su uso genera entre 45 y 114 kg de CO₂ al mes, dependiendo de las horas de uso de estos sistemas.

Para el contexto urbano-arquitectónico del sitio de estudio, es menester una rehabilitación o readaptación del espacio, empleando materiales reflectantes, aislamiento térmico y ventilación cruzada, algunos principios de la arquitectura bioclimática para reducir la carga térmica interna de las edificaciones. El uso de materiales de construcción de bajo albedo, la orientación desfavorable de las fachadas, la escasa ventilación natural en las viviendas, y una mala traza urbana, contribuyen a un aumento del efecto de la Isla de Calor Urbana en el contexto.

Huntingdon, Pennsylvania

Para este análisis, se consideraron tres recursos básicos: energía eléctrica, gas natural y agua potable, asimismo, se evaluaron los sistemas de climatización empleados, sus costos y la huella de carbono asociada. Cabe resaltar que se trata de un clima templado con inviernos fríos, situación que implica el uso de otros sistemas constructivos para la región; la información obtenida fue de organismos oficiales del gobierno estadounidense.

Categoría	Sistema / Recurso	Consumo Mensual Promedio	Costo Promedio Mensual	Emisiones CO₂ (kg/mes)	Comentarios
Electricidad	Red eléctrica (grid mix)	850 kWh	\$119 USD	484 kg	Mezcla de fuentes (carbón, gas, renovables)
Gas Natural	Calefacción	100 CCF (invierno)	\$125 USD	530 kg	Principal sistema de calefacción

Agua Potable	Servicio municipal	3,500 gal	\$30 USD	14 kg	Consumo medio, depende del tratamiento
Calefacción	Horno de gas natural	~100 CCF	\$125 USD	530 kg	Eficiente en climas fríos
Calefacción	Bomba de calor eléctrica	~850 kWh	\$119 USD	484 kg	Más eficiente si es geotérmica
Aire Acondicionado	Central (eléctrico)	~1,000 kWh (verano)	\$140 USD	570 kg	Solo en Verano
Aire Acondicionado	Mini-split / ventana	~600 kWh (verano)	\$84 USD	342 kg	Más común en casas sin ductos

Tabla 26: Comparativa de consumo, costos y emisiones

Con base en el análisis, se presenta un patrón de consumo energético de acuerdo con el clima que se presenta en las diversas estaciones del año, en el invierno, el gas natural es el recurso dominante, con un promedio de 100 CCF por mes, equivalente a un gasto de \$125 USD, lo que genera una producción de 530 kg de CO₂ al mes por vivienda (EPA, 2023); este sistema es el más utilizado por las nuevas viviendas debido a su alta eficiencia térmica en climas fríos y por los costos moderados de instalación y mantenimiento.

Por otra parte, en los meses cálidos los sistemas de aire acondicionado o de enfriamiento incrementan el consumo eléctrico, con un gasto hasta de 1,000 kWh/mes, equivalentes a 570 kg de CO₂, dependiente del tipo de red eléctrica que hay en el estado (EIA, 2023). El consumo de agua potable también está asociado al uso de la energía en forma indirecta, esto es por medio de procesos de bombeo, tratamiento y distribución, los cálculos estimados se encuentran alrededor de 3,500 galones por mes (Water Research Foundation, 2011).

La elección de los sistemas constructivos y de los materiales de construcción no solo se debe a la abundancia existente en la región, también a la consideración de la eficiencia térmica pasiva del edificio y de la compatibilidad existente entre estos sistemas. En la región de estudio, el uso de combustibles fósiles es predominante en sistemas de calefacción debido a la antigüedad que tienen,

por lo que, con la aplicación del diseño bioclimático en el entorno urbano-arquitectónico mediante estrategias como la orientación solar, un aislamiento térmico eficiente y la ventilación cruzada, este consumo se podría reducir hasta un 30% (Energy Star, 2023).

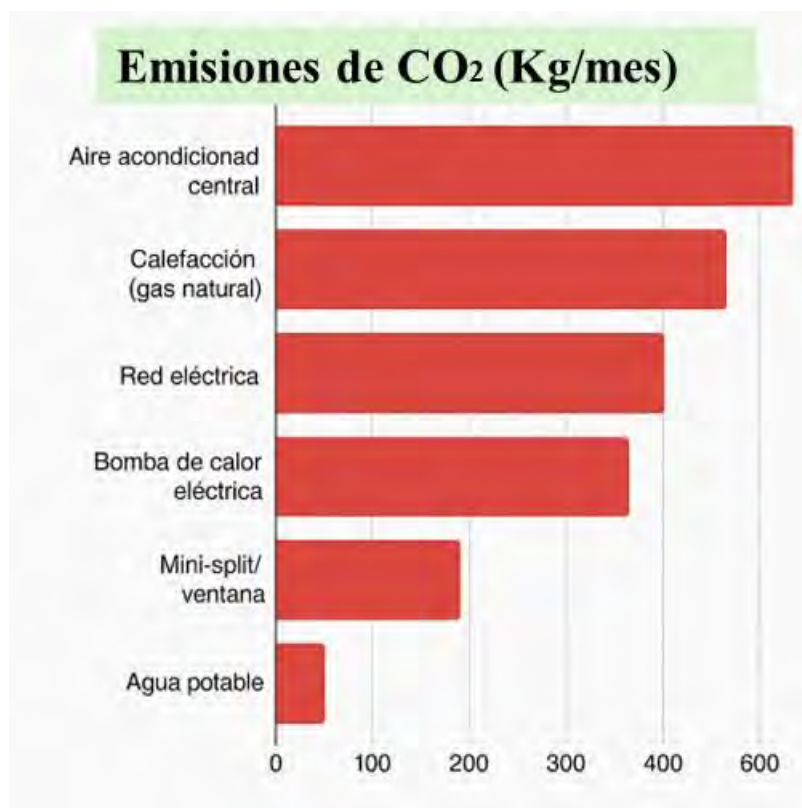


Imagen 150: Emisiones de CO₂ por tipo de sistema

Comparativa de consumo energético

Para el análisis comparativo de consumo energético entre Tlalnepantla de Baz, Estado de México, y Huntingdon, Pennsylvania, se consideró una vivienda unifamiliar promedio, de aproximadamente 90 m², que corresponde a la tipología más común en el contexto urbano-arquitectónico de Viveros de la Loma, en Tlalnepantla de Baz (viviendas tipo dúplex o unifamiliares) y a viviendas unifamiliares aisladas en Huntingdon, PA.

Debido a la falta de datos específicos oficiales o registros de consumos por tipología en cada caso, se tomó como referencia información reportada por fuentes oficiales de cada país -INEGI para

México y U.S. Energy Administration para EE. UU.-, complementada con estudios comparativos previos (Santamouris, 2014; Palme et al., 2021). En ambos casos, se estimaron valores de consumo anual en electricidad para climatización (refrigeración y calefacción) y usos generales (iluminación, equipos, etc.), asumiendo condiciones promedio de ocupación (4 personas por vivienda), sin considerar instalaciones de generación fotovoltaica ni otras tecnologías de autoconsumo. Esta aclaración es fundamental para entender que los valores presentados son estimaciones orientadas basadas en promedios y no representan consumos exactos de viviendas específicas. El objetivo es ilustrar la relación entre características urbano-arquitectónicas y la demanda energética derivada de las condiciones térmicas locales.

Como se observa en la imagen 151, la ciudad de Huntingdon muestra una carga energética mucho mayor debido al uso de los sistemas de calefacción y de aire acondicionado, como consecuencia del clima extremo que se vive, donde los inviernos son fríos y los veranos cálidos; por otra parte, la ciudad de Tlalnepantla de Baz muestra un consumo más equilibrado de energía, en gran parte por la menor dependencia de sistemas mecánicos para el acondicionamiento térmico.

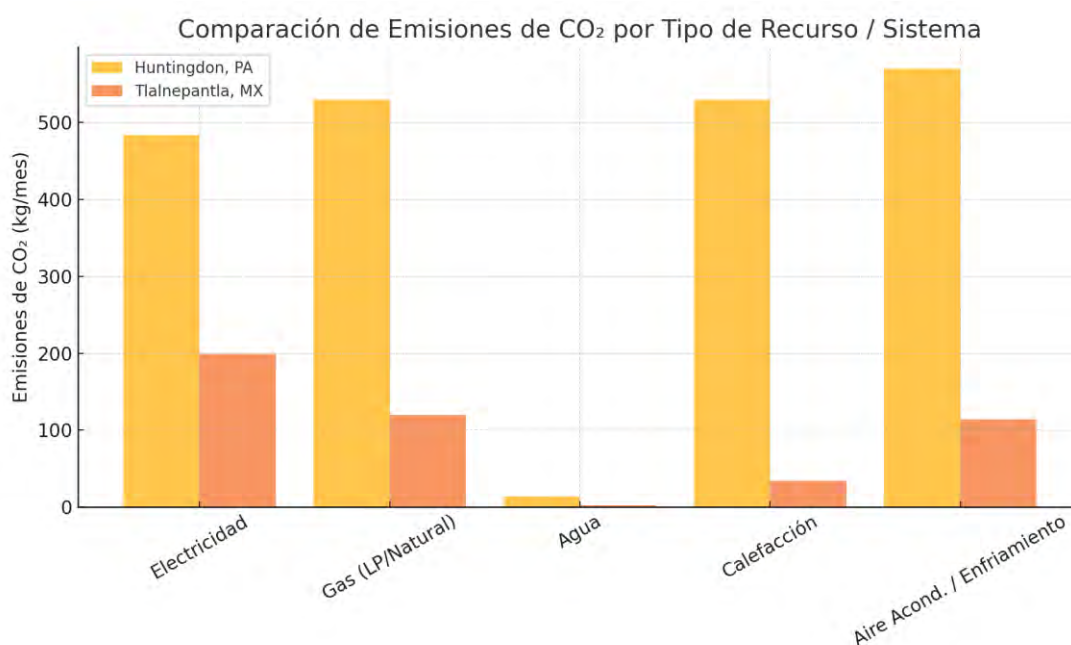


Imagen 151: Emisiones de CO₂ por tipo de sistema

El gas natural y LP son la principal fuente de emisiones contaminantes en ambos lugares, en Huntingdon el gas natural para la calefacción, con un promedio mayor a 500 kg de CO₂. La principal fuente de emisiones en Huntingdon es el gas natural utilizado para calefacción, con más de 500 kg de CO₂ al mes por hogar, mientras que en Tlalnepantla de Baz el consumo es mucho menor, con un promedio aproximado de 120 kg de CO₂ por mes. Con respecto al consumo eléctrico, también es mucho mayor en Huntingdon que en Tlalnepantla de Baz, con 850 kWh/mes frente a 350 kWh/mes, estas diferencias evidencian la necesidad de adaptar estrategias energéticas y de diseño arquitectónico para cada entorno climático.

8.5 Conclusiones

La Isla de Calor Urbana no es solo un fenómeno climático, sino una consecuencia directa de cómo se diseñan y construyen nuestras ciudades. El entorno construido, los materiales y el trazo urbano tienen un rol protagónico en su aparición y en su mitigación. La arquitectura y el urbanismo deben avanzar hacia un enfoque bioclimático, sensible al entorno, y adaptativo a las condiciones locales, promoviendo la equidad térmica y la resiliencia ambiental.

En el contexto del cambio climático y el aumento sostenido de las temperaturas urbanas, la resiliencia térmica de las ciudades se vuelve un objetivo estratégico. Las Islas de Calor Urbana no solo inciden en la percepción térmica, sino también en el consumo energético, la salud pública, la biodiversidad urbana y la equidad espacial. Las soluciones deben integrarse desde el urbanismo, el diseño arquitectónico y la regulación constructiva.

La mitigación de la Isla de Calor Urbana exige no solo intervenciones técnicas sino también una transformación estructural del modelo urbano. La incorporación de cubiertas reflectantes, pavimentos de alta reflectancia, fachadas verdes, techos ajardinados y dispositivos de sombreado natural son elementos fundamentales de la arquitectura climáticamente sensible.

Asimismo, la planificación urbana debe contemplar corredores bioclimáticos, alineaciones viales que favorezcan la ventilación natural, y una redensificación controlada que permita la

permeabilidad térmica y social. La vegetación urbana, además de su función estética, actúa como modulador térmico, absorbiendo radiación solar y reduciendo la temperatura del aire circundante.

Un aspecto clave en la mitigación de la UHI es la participación comunitaria en la regeneración de espacios públicos, la mejora de fachadas y la rehabilitación térmica de viviendas. Las soluciones de bajo costo y bajo impacto ambiental deben integrarse al entorno construido existente, en especial en sectores vulnerables. Aquí es donde los modelos de construcción vernáculos y técnicas tradicionales adaptadas al clima local ofrecen una valiosa lección para el diseño contemporáneo.

8.6 Recomendaciones de Diseño Urbano-Arquitectónico

Las recomendaciones que se proponen son generales, comprenden a los dos sitios de estudio con base en los resultados de los análisis previos, por lo que en el aspecto urbano se enlista lo siguiente:

- La planificación de los trazados urbanos debe permitir la ventilación natural del entorno, proponiendo edificios de poca altura, además de contar con corredores verdes que favorezcan la circulación del viento.
- Aumentar la superficie de la cobertura vegetal urbana, en un porcentaje mayor al 30% por colonia o barrio.
- Emplear materiales de construcción con un alto albedo y alta permeabilidad para los pavimentos y las banquetas.

Con respecto al aspecto arquitectónico, las sugerencias son:

- Emplear materiales de construcción con una alta reflectancia y una baja conductividad térmica.
- Valorar la incorporación de techos verdes o techos blancos, muros verdes en fachadas y optimizar la ventilación cruzada en espacios interiores.
- Emplear los principios del diseño bioclimático, aprovechar la orientación solar y la sombra natural de la vegetación existente.

Un aspecto muy importante, que existe en la sociedad estadounidense, es el actuar como comunidad, por experiencia propia, las personas que actúan como comunidad logran alcanzar acuerdos y, por consiguiente, los objetivos establecidos gracias a un interés genuino por dar solución a los problemas que se presentan. A partir de esta experiencia, se propone como comunidad:

- Promover la rehabilitación térmica participativa de las viviendas.
- Establecer huertos urbanos y jardines comunitarios en espacios libres y de fácil acceso al público.
- Instruir a la comunidad sobre los efectos de la Isla de Calor Urbana para establecer estrategias de mitigación pasivas.

Por último, el uso de las herramientas tecnológicas como la termografía, la modelación climática urbana, los simuladores energéticos (como DesignBuilder o EnergyPlus), y el análisis del albedo urbano, permite tomar decisiones arquitectónicas sobre el interior de los espacios. La aplicación de la ciencia y la tecnología para el diseño conlleva una gran responsabilidad, la cual recae en las personas que toman las decisiones para contribuir a la conformación de ciudades más habitables, equitativas y sostenibles.

Conclusiones generales y aportes metodológicos

La investigación desarrollada tuvo como eje central la identificación y análisis del fenómeno de la Isla de Calor Urbana (UHI) mediante el diseño de un método de detección basado en el uso de termografía, registros de temperatura ambiental y puntos de control, con el propósito de identificar y analizar los factores que contribuyen a su formación en entornos urbano-arquitectónicos. A partir del desarrollo metodológico propuesto, la recopilación de datos empíricos y su análisis sistemático, fue posible corroborar que la termografía es una herramienta eficaz para detectar patrones térmicos relacionados con la presencia del fenómeno, esta aproximación permitió no solo detectar con precisión las áreas de mayor acumulación térmica dentro del entorno urbano, sino también establecer correlaciones claras entre el comportamiento térmico de las superficies construidas y los factores que lo propician, como la densidad edificatoria, los materiales, el uso del suelo y la vegetación disponible. A continuación, se presenta un diagrama representativo del método propuesto a lo largo de esta investigación:

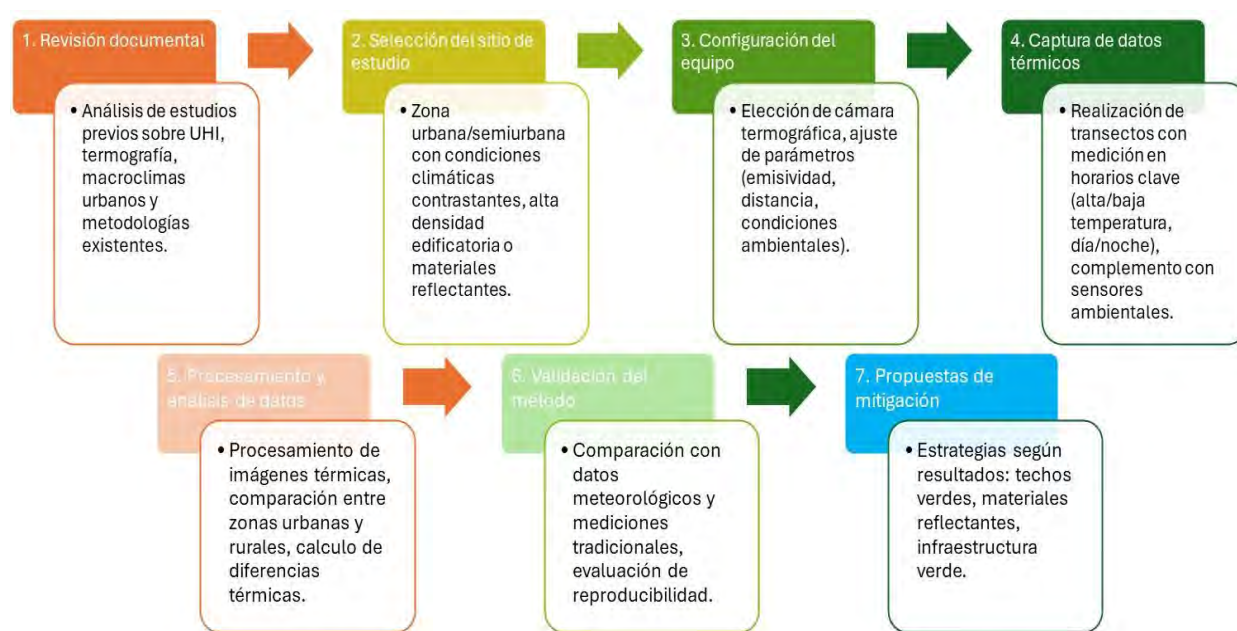


Imagen 152. Diagrama descriptivo del método propuesto

El método desarrollado, conjuntar una cámara termográfica y registradores de temperatura ambiental, fue adecuado y efectivo para el estudio de la Isla de Calor Urbana (UHI). Esta combinación permite tener una visión más completa y precisa de las variaciones térmicas en el área urbana y cómo estas se relacionan con las temperaturas del aire y las características del entorno. A continuación, la explicación de las cualidades de cada componente para la investigación:

- Cámara termográfica:

Una herramienta versátil para medir la temperatura superficial de los objetos y superficies proporciona datos sobre cómo se distribuye el calor en la ciudad, mostrando las zonas más cálidas (generalmente aquellas con superficies de materiales como concreto, asfalto, etc.) y las zonas más frescas (como áreas verdes o cuerpos de agua). Las cámaras termográficas son particularmente útiles porque permiten visualizar de manera rápida y detallada las diferencias de temperatura a nivel de la superficie, lo que es crucial para entender las dinámicas de la Isla de Calor Urbana. Además, ofrecen imágenes visuales que son muy útiles para comunicar los resultados y para observar la distribución espacial del calor.

- Registradores de temperatura ambiental:

Capturan las temperaturas del aire a lo largo del tiempo y en diferentes puntos geográficos, permiten monitorear la variación térmica en el aire a diferentes horas del día y estaciones del año, y contrastar estos registros con las temperaturas superficiales registradas por la cámara termográfica para entender cómo las superficies cálidas (como pavimentos y edificios) afectan la temperatura del aire en esa área, especialmente durante las horas pico de calor.

Los datos de temperatura ambiental permitirán observar las variaciones en la temperatura del aire a nivel de la ciudad y las diferencias con las áreas rurales o zonas sin urbanizar, lo cual es crucial para determinar la magnitud y el impacto de la UHI. Cabe resaltar la diferencia entre temperatura radiante y temperatura ambiental, la primera refleja la cantidad de radiación emitida por una superficie, la cual depende de factores como la absorción de energía solar por parte del suelo,

materiales urbanos (asfalto, concreto), vegetación, entre otros; es una medición que se asocia más a la energía térmica irradiada por la superficie. La segunda, se refiere a la temperatura del aire en un determinado nivel de la atmósfera (generalmente a la altura de la cabeza o el suelo), esta es la medida más comúnmente usada para determinar el confort térmico y la existencia de una UHI, ya que es la que más influye en la sensación de calor de las personas y en los estudios meteorológicos.

- La zona de estudio:

Es el lugar en el cual se explora si el fenómeno de la Isla de Calor Urbana es evidente a partir de las diferencias entre las temperaturas de las tres fuentes de medición:

1. Transecto, el recorrido a través de un área urbana donde se mide la temperatura ambiental y la temperatura radiante en diferentes puntos mediante registradores de temperatura e imágenes termográficas, proporcionando temperaturas máximas, medias y mínimas en cada parte de este.
2. Punto de control, establecido en un área representativa de la zona rural o no urbanizada, preferentemente libre de la influencia directa de la ciudad, este punto permite tener una referencia constante y confiable para comparar las mediciones que se realizan en diferentes puntos urbanos.
3. Estación climática: Se toma la temperatura de la estación climática más cercana para hacer una comparativa de las temperaturas globales con las mediciones específicas del área urbana.

- Análisis de datos:

Al comparar las mediciones tomadas en áreas urbanas con las del punto de control, se podrá detectar las diferencias significativas entre la temperatura urbana y rural, indicativo claro de la presencia de una Isla de Calor Urbana. Además, puede permitir ajustar cualquier error que se haya podido generar en la medición debido a factores locales (como la sombra de un edificio o la proximidad a fuentes de calor). Estos registros ayudan a validar los resultados: si la temperatura

del aire en el área urbana es mucho más alta que la del punto de control, esto refuerza la presencia de una UHI.

La combinación de la cámara termográfica y los registradores de temperatura ambiental, cubren las temperaturas superficiales como las temperaturas del aire, lo que proporciona una visión más completa de la dinámica térmica de la ciudad. Al tener un punto de control, se obtienen datos comparativos importantes para identificar diferencias térmicas claras entre las áreas urbanas y rurales, que es la base para confirmar una Isla de Calor Urbana; por último, la cámara termográfica proporciona una alta resolución espacial para identificar patrones térmicos detallados, mientras que los registradores de temperatura ambiental permiten un monitoreo temporal constante.

Si bien las temperaturas radiantes son una herramienta útil para entender cómo se acumula el calor en las superficies de una ciudad, no son suficientes por sí solas para confirmar la existencia de una Isla de Calor Urbana. Sería necesario complementarlas con datos sobre la temperatura del aire, la humedad y, posiblemente, la distribución de la vegetación y las características urbanas para obtener una imagen más precisa de la UHI. En resumen, para una identificación más completa y precisa de la Isla de Calor Urbana, se requiere un enfoque multidimensional que considere tanto las temperaturas radiantes como otros factores térmicos y meteorológicos.

Además, con base en los diversos experimentos realizados para la investigación, se recomiendan los siguientes puntos a considerar:

- Realizar mediciones en diferentes momentos, no solo cuando se presenta la mayor temperatura en el día, también en la noche, esto servirá para comprender el comportamiento del fenómeno presentado.
- Hacer las mediciones en distintas condiciones climáticas para obtener una perspectiva más amplia de la Isla de Calor Urbana en contextos diferentes.
- Ampliar el transecto para obtener una mayor cobertura de la zona de estudio, esto servirá para obtener datos más representativos del recorrido y las zonas de control.

- Realizar correlaciones entre las mediciones térmicas y ambientales para verificar las variaciones de temperatura entre los dos parámetros.

Dentro de los aspectos importantes alcanzados en la investigación se observa que la presencia de materiales constructivos con baja reflectancia solar y alta capacidad calorífica, la escasa presencia de cobertura vegetal y la alta densidad urbana, son factores predeterminantes en la generación de microclimas urbanos con temperaturas significativamente más altas con respecto a las regiones circundantes. Aunque las áreas urbanas cuenten con materiales como el concreto o el asfalto, lo que genera un ambiente mucho más cálido debido a la alta capacidad de absorción de calor y, como consecuencia, temperaturas radiantes más altas, no siempre determina que la temperatura ambiental sea significativamente más alta en la zona; existen áreas urbanas en las cuales la vegetación y las zonas verdes tienen un efecto de enfriamiento que contrarresta la acumulación de calor en ciertas zonas, el uso de las imágenes termográficas permiten visualizar las diferencias térmicas en diversos momentos del día, lo que fortalece la validez del enfoque adoptado para esta investigación.

Con respecto a la contribución al conocimiento, se propone una metodología replicable que permite adaptarse a distintos contextos urbanos, particularmente en zonas sin planificación urbana adecuada, cuyo desafío mayor es disminuir los efectos del cambio climático mejorando la habitabilidad urbana y arquitectónica en beneficio de la población, esta propuesta permite obtener datos más precisos para el diseño de estrategias de mitigación que puedan implementarse en el contexto en estudio, no todas las propuestas se generalizan ya que cada contexto es diferente y diverso.

En general, para poder determinar la existencia de la Isla de Calor Urbana en un sitio es necesario encontrar diferencias significativas de la temperatura ambiental entre el transecto, el punto de control y la estación climática, con respecto a la temperatura ambiental circundante del lugar, este aumento en la temperatura no solo se debe a la acumulación de calor en las superficies urbanas y de los espacios arquitectónicos que los conforman, también a la combinación de factores como la humedad, el viento, la radiación solar y la precipitación pluvial, entre otros aspectos.

La comparación de registros obtenidos entre los puntos de medición nos indica la presencia de la Isla de Calor Urbana en ambas zonas en estudio, los cuales se describen a continuación:

1. Punto de control vs. transecto, cuando las temperaturas registradas en el transecto son consistentemente más altas que las del punto del control, podría tratarse de la acumulación de calor en el sitio; en algunos casos, cuando se muestran más bajas que las registradas en el punto de control, significa que este último es el lugar con la acumulación de calor respecto al transecto.
2. Punto de control vs. estación climática, esta comparativa es el referente más inmediato de la presencia de la Isla de Calor Urbana, ya que es muy probable que la estación se encuentre en una zona semiurbana o rural, registrando temperaturas más bajas que las del ámbito urbano. Cuando las temperaturas registradas sean similares, será necesario considerar el cambio de lugar del punto de control y las características del sitio para conocer qué factores pudieran estar afectando los resultados.
3. El análisis de las temperaturas máximas, medias y mínimas registradas en el transecto permite identificar la presencia de la Isla de Calor Urbana en el sitio, siempre y cuando los registros sean mayores a los datos obtenidos en el punto de control. Esta diferencia de temperaturas deberá ser notoria al momento de registrar y comparar los datos, además de sumar el análisis de las imágenes termográficas y sus mediciones térmicas del transecto, lo que refuerza el método desarrollado y empleado en esta investigación.
4. En la parte urbano-arquitectónica, se realiza el análisis de los materiales de construcción empleados en las diversas superficies del contexto, además de factores agregados como el uso de suelo, el sistema de transporte, las áreas verdes, ya que hay que considerar la afectación que se tiene por la acumulación de calor en ciertas zonas del transecto, permitiendo la identificación de puntos de calor significativos en el transecto.
5. Correlación de la imágenes termográficas con los registros del transecto, esto permite conocer la distribución espacial de la temperatura en áreas específicas, este análisis nos proporciona información acerca de la acumulación del calor en las superficies urbano-arquitectónicas, combinando los registros termográficos con los registros del transecto y la comparación con la estación climática; de esta forma se identifican visualmente las zonas más cálidas para evaluar la intensidad de la Isla de Calor Urbana.

Por experiencia, es importante comparar la variabilidad de las temperaturas en distintas horas del día, ya que, en algunos casos, las Islas de Calor Urbanas son más intensas durante el día, sin embargo, también pueden presentarse por la noche, mostrando una menor oscilación térmica entre el día y la noche. Cabe recordar que hace falta considerar las condiciones meteorológicas en la zona de estudio durante la medición, como la velocidad del viento, la nubosidad y la radiación solar, factores que influyen en la cantidad de calor acumulado en el entorno urbano; al final, es importante que los datos de temperatura ambiental sean consistentes y sigan el patrón esperado de la zona cálida con respecto al entorno rural o de la estación climática para afirmar la existencia del fenómeno en estudio.

El diseño metodológico planteado para esta investigación permitió integrar una tecnología de vanguardia para el análisis térmico-espacial con instrumentos de medición ambiental práctico y eficientes, resultando en una herramienta innovadora para un diagnóstico urbano-arquitectónico sobre la acumulación del calor. La combinación de imágenes termográficas, registradores de temperatura y la observación directa en el campo demostró que los materiales de construcción de las superficies urbano-arquitectónicas, la morfología urbana, la cobertura vegetal y la densidad de construcción son variables determinantes en la formación y durabilidad de microclimas cálidos en zonas urbanas con alta densidad constructiva, o en el caso de Huntingdon, con alta evapotranspiración de los elementos vegetales.

La Isla de Calor Urbana no solo afecta el entorno urbano al influir en el comportamiento térmico de las edificaciones y el espacio público, desde la perspectiva arquitectónica la acumulación de calor transforma la habitabilidad interior de los espacios al alterar los parámetros de confort térmico y modificar el uso del espacio, así como el incremento de la demanda energética para la climatización, repercutiendo en la necesidad de integrar a los procesos de diseño arquitectónico y de planificación urbana el análisis térmico de materiales y de espacios, cuyo objetivo será promover soluciones sustentables y resilientes frente a las acciones del cambio climático.

Con base en la investigación desarrollada, las limitantes que se encontraron para el registro de datos fueron las variables meteorológicas inesperadas, como el aviso de viento extremo para Huntingdon

o la contingencia ambiental para Tlalnepantla de Baz; restricciones para acceder a ciertos sectores urbanos, por la inseguridad del sitio; interferencias en el transecto por el tránsito vehicular o algún evento de reparación de las vialidades, y la ocupación alterna del espacio público. Estas condicionantes nos ayudan a mejorar de una forma más eficiente el diseño del transecto y las técnicas para las mediciones ambientales.

Para una proyección futura de la línea de investigación se recomienda la aplicación de la metodología a diversos periodos del año, especialmente en épocas de transición térmica y de bajas temperaturas ya que, en teoría, el fenómeno se presentará en la época de mayor calor registrado en el sitio. Respecto al análisis de datos, se sugiere el uso de sensores automatizados para una captura más fidedigna de los registros y, el uso de un software que permita el modelado urbano de la exposición de la Isla de Calor Urbana en un periodo determinado. Además, se propone una integración de otras disciplinas para estudiar y analizar los componentes sociales, climáticos y tecnológicos para el desarrollo de estrategias de adaptación urbanas que contrarresten estos efectos, además de una participación de los habitantes de la zona para conocer sus necesidades y percepciones.

Estos resultados confirman la hipótesis sobre el uso de la termografía como una tecnología eficaz para el estudio y validación de forma empírica del fenómeno conocido como Isla de Calor Urbana, el uso de imágenes termográficas revelaron diferencias significativas en la temperatura superficial entre los diversos sectores urbanos y rurales de los sitios de estudio. Las temperaturas máximas del transecto superaron en varios grados a las medidas del punto de control y de las estaciones climatológicas, dejando como evidencia la gran magnitud del calentamiento inducido por la estructura urbana, manifestando el deterioro progresivo de la calidad térmica del espacio habitable, tanto en interiores como en exteriores. El calor acumulado en el ambiente no solo impacta en los parámetros de confort ambiental, sino que también incrementa la demanda energética de los sistemas de climatización, acentuando la vulnerabilidad de sectores sociales como los niños, los adultos mayores y las personas en situación de calle), todo esto contribuye a la degradación del espacio público.

Con respecto a la aportación metodológica, esta investigación ofrece una propuesta replicable para otros contextos urbanos, con la ventaja de ser adaptable a distintos grados de desarrollo y diversas escalas de intervención, todo esto gracias a las herramientas de fácil implementación en el campo, accesibles para los gobiernos locales, instituciones académicas y grupos comunitarios que buscan comprender mejor las dinámicas térmicas de los entornos. Además, esta investigación sugiere la integración de criterios térmicos desde el principio de la conceptualización del diseño urbano y arquitectónico, haciendo énfasis en la orientación de las calles, el uso de materiales de alto albedo, la incorporación de la cobertura vegetal propia del lugar, techos y muros verdes, superficies permeables y sombreados estratégicos en espacios públicos como estrategias que puedan mitigar la formación de la UHI, mejorando la habitabilidad del contexto urbano-arquitectónico y reduciendo el impacto ambiental.

En conclusión, esta tesis es una aportación significativa al campo de la arquitectura bioclimática, al proponer un método de análisis del aspecto térmico de un contexto urbano-arquitectónico determinado, integrando la tecnología termográfica con el monitoreo ambiental como una parte importante del diseño urbano a través de la conjunción de variables físicas, constructivas y climáticas que generen conocimiento para la Elaboración de políticas públicas, planificación urbana sostenible y estrategias de adaptación climática a escala local.

Fuentes de consulta

- Aghamohammadi Nasrin et al. (2021). Outdoor thermal comfort and somatic symptoms among students in a tropical city. *Sustainable Cities and Society*, Volume 72, September 2021, 103015. Consultado el 19 de agosto de 2022, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103015>
- Azqueta, Diego (1994). *Valoración económica de la calidad ambiental*. España: McGraw-Hill.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>.
- Cheng Cong Wang et al. (2022). Efficient cooling of cities at global scale using urban green space to mitigate urban heat island effects in different climatic regions. *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 74, August 2022, 127635. Consultado el 22 de julio de 2022, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127635>
- Comisión Federal de Electricidad. (2023). Tarifas de energía eléctrica doméstica. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREDomesticas.aspx>
- CONAGUA. (2022). Estadísticas del agua en México. <https://www.gob.mx/conagua>
- Cui, Y. Y. y De Foy, B. (2012). Seasonal Variations of the Urban Heat Island at the Surface and the Near-Surface and Reductions due to Urban Vegetation in Mexico City. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51, 855–868.
- Davis, Mike (2006). *Planeta de ciudades miseria*. España: FOCA.
- De Hoyos Martínez, R., Pérez Moreno, MA., & Salas García, A. (2005). *La habitabilidad en la vivienda*. México: Trillas.
- Dinda, Apurba y Chatterjee, Soumendu (2022). Assessing the local impacts of heat advection on urban heat islands in Kolkata Metropolitan Area. *Urban Climate*, Volume 42, March 2022, 101139. Consultado el 20 de julio de 2022, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101139>
- Edwards, Brian (2001). *Guía básica de la sostenibilidad*. México: Gustavo Gili.
- Eliash Díaz, Humberto (2009). *Desarrollo económico y desarrollo urbano: una aleación ineludible*. Chile: Red Urbano.
- Elsayed, I. (2009). Mitigation of the Urban Heat Island of the City of Kuala Lumpur, Malaysia. *Middle East Journal of Scientific Research* 11, 1602-1613.
- ENERGY STAR. (2023). Home Performance with ENERGY STAR. U.S. Department of Energy. <https://www.energystar.gov>
- Energy Information Administration. (2023). Monthly Energy Review. U.S. Department of Energy. <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/>
- Environmental Protection Agency. (2023). eGRID Summary Tables 2022. <https://www.epa.gov/egrid>
- Environmental Protection Agency. (2023). GHG Emission Factors Hub. <https://www.epa.gov/climateleadership/ghg-emission-factors-hub>

- Fabbri, V. y Costanzo, V. (2020). Drone-assisted infrared thermography for calibration of outdoor microclimate simulation models. *Sustainable Cities and Society*, Volume 52.
- Garzón, Beatriz (2007). *Arquitectura bioclimática*. Argentina: Nobuko.
- González Torres, Y. (2008). *Condiciones de habitabilidad urbana en México*. México: UNAM
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría* (5.^a ed.). McGraw-Hill.
- Higuera, Esther (2006). *Urbanismo bioclimático*. Barcelona: Gustavo Gili.
- <http://www.ii.unam.mx/es-mx/Investigacion/Proyecto/Paginas/analisis-isla-calor-urbana.aspx>
- https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_2011/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual.html
- Imran, H. M, Kala, J., Ng, A. W. M, & Muthukumaran, S. (2019). Green infrastructure as a climate change adaptation strategy.
- INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda: Características de las viviendas particulares habitadas. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- Jauregui, Ernesto (1997). Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, Volume 31, Issue 22, November 1997, Pages 3821–3831. Consultado el 20 de septiembre de 2022, disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00136-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00136-2)
- Jirón, P. (2004) Habitabilidad y vida cotidiana: una mirada desde la mujer en barrios de la ciudad de Santiago. *Eure*, 30(91), 35-52.
- Khan Academy. (s.f.). Correlación y causalidad. <https://es.khanacademy.org/math/statistics-probability/describing-relationships-quantitative-data>
- Martínez, F. et al. (2004). Valoración del impacto de la ola de calor del verano de 2003 sobre la mortalidad. *Gac Sanit*, 18 (Supl 1), 250–258.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2018). *Applied statistics and probability for engineers* (7th ed.). Wiley.
- Morillón Gálvez, David (2010). *Arquitectura sostenible: Bases, soportes y casos demostrativos*. Argentina: Nobuko.
- Nigro, Viviana, et al. (2011). *Comunidad sustentable*. Argentina: Nobuko.
- Oikonomou, E. et al. (2012). Measuring urban microclimate.
- Oke, T.R. (1973). City size and Urban Heat Island. *Atmospheric Environment* (1967), Volume 7, Issue 8, August 1973, Pages 769–779. Consultado el 20 de septiembre de 2022, disponible en: [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6).
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>.
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press.
- Orlanski, I. (1975). A rational subdivision of scales of atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56, 527–530.

- Palme, M, Lobato-Cordero, A, & Carrasco, C. (2021). Urban heat islands and energy consumption in Latin American cities: Review and perspectives. *Energy and Buildings*, 250, 111-129. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111129>.
- Palme y Carrasco (2022). Urban heat island in Latin American cities: a review of trends, impacts, and mitigation strategies. Chile. Consultado el 01 de diciembre de 2022, disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85539-6.00014-7>
- Papparelli, Alberto y Kurbán, Alejandra (2008). Planificación sustentable del espacio urbano. Argentina: Nobuko.
- Rajagopalan, Priyadarsini et al. (2014). Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city. *Solar Energy*, Volume 107, September 2014, Pages 159–170. Consultado el 01 de agosto de 2022, disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.042>
- Rakha, T. y Gorodetsky, A. (2018). Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones. *Automation in Construction*, volumen 93.
- Ramírez Ponce, L. (2001). La habitabilidad en la vivienda social. México: Universidad de Guadalajara.
- Sailor, D. J. y LU, L. (2004). A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas.
- Salas Espíndola, Hermilo (2005). Arquitectura, cambio global y desarrollo sustentable. Tesis de doctorado, México: Facultad de Arquitectura, UNAM
- Sánchez Cohen, Ignacio (2011). Toma de decisiones para el desarrollo sostenible de los recursos naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, pub. esp. núm. 1, México: Red Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Santamouris, M (2014). Cooling the cities -A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat islands and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682-703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>.
- Santamouris, M (2014). On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and Buildings*, 82, 100-113.
- Santamouris, M et al. (2001). On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy*, Vol 70, 201–216.
- Secretaría de Energía. (2022). Prospectiva del sector energético 2022–2036. <https://www.gob.mx/sener>
- SEMARNAT. (2021). Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. <https://www.gob.mx/semarnat>
- Senevirathne et al. (2021). Effects of pavement texture and colour on Urban Heat Islands: An experimental study in tropical climate. *Urban Climate*, Volume 40, December 2021, 101024. Consultado el 28 de julio de 2022, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101024>

- Silva H. et al. (2022). A comprehensive methodology for assessing outdoor thermal comfort in the touristic city of Porto. Consultado el 16 de noviembre de 2022, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101264>
- Solanas, J. (2010). Nuevas formas de habitar el espacio público: entre la habitabilidad y la sostenibilidad. España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Soto-Estrada, E.; Correa-Echeverí, S. y Posada-Posada, M (2017). Thermal analysis of urban environments in Medellin, Colombia, using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Journal of Urban and Environmental Engineering*, Volumen 11 (2).
- Tepanosyan, G. et al. (2021). Studying spatial-temporal changes and relationship of land cover and surface Urban Heat Island derived through remote sensing in Yerevan, Armenia. *Building and Environment*, Vol. 187.
- Triola, M F. (2020). Estadística (13.ª ed.). Pearson Educación.
- U. S. Energy Information Administration (EIA). (2022). Residential Energy Consumption Survey (RECS).
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (s.f.). Correlación lineal y coeficiente de correlación de Pearson. <https://www.matemunammx/correlacion-pearson>
- Vitruvio. (s. I a.C./1787). *De Architectura* (Ortiz y Sanz, Trad.). Reimpresión moderna. (Obra original publicada s. I a.C.).
- Water Research Foundation. (2011). Energy Index Development for Benchmarking Water and Wastewater Utilities. <https://www.waterrf.org/research/projects/energy-index-development-benchmarking-water-and-waste-water-utilities>
- Wirth, L. (1938). Urbanism as a Way of Life. *American Journal of Sociology*, 44(1), 1-24.
- Wong Kim, S. y Brown, R. D. (2021). Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. *Science of The Total Environment*, Volumen 779.
- Yang, J. (2017). Applications of remote sensing and GIS in urban heat island studies. *Urban Climate*, 21, 1-12.
- Yanga, Junjing et al. (2018). Green and cool roofs' urban heat island mitigate potential in tropical climate. *Solar Energy*, Volume 173, October 2018, Pages 597–609. Consultado el 08 de agosto de 2022, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.08.006>
- Zhendong-zou et al. (2021). Impacts of land use/land cover types on interactions between urban heat island effects and heat waves. *Building and Environment*, Volume 204, 15 October 2021, 108138. Consultado el 12 de agosto de 2022, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108138>

Paulo Cesar Velasco Maldonado

Maestro en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Ingeniero Arquitecto, Instituto Politécnico Nacional (IPN)

Gerente de Construcción en Innovación Arquitectónica VV, de proyectos arquitectónicos sostenibles, coordina la construcción y renovación de edificios residenciales, y supervisa el sitio; experto certificado en el programa internacional EDGE para Edificaciones Verdes (certificación IFC ID: GP2-MEX-210722-1143).

Con más de 20 años de experiencia en el sector de la construcción, ha trabajado en Constructora Jorica, donde fue Coordinador de Obras en proyectos de repavimentación de carreteras, renovación de escuelas primarias y construcción de edificios de apartamentos. También tiene una destacada trayectoria en el ámbito público, habiendo sido Coordinador de Obras en el Gobierno Municipal de Tizayuca, participando en proyectos importantes del Programa Federal de Hábitat 2003-2006.

En el ámbito académico, es Profesor en el ITESM Estado de México, ha impartido clases en programas de arquitectura y desarrollo sostenible en diversas universidades, como Taller de Vivienda Sostenible, Proyectos Ejecutivos, Presupuestos, y Materiales de Construcción. En su maestría en Arquitectura en la UNAM, desarrolló una tesis sobre la rehabilitación sostenible en comunidades pobres de áreas turísticas en el estado de Guerrero, México.

Entre sus logros académicos, destaca su participación en el curso Desarrollo Sostenible en el Siglo XXI en Yonsei University, Corea del Sur, con Ban Ki-moon.

Anexos

En este apartado, se integran las imágenes obtenidas en los diversos experimentos realizados para el desarrollo del método propuesto en esta investigación. Las imágenes se encuentran en el formato elegido en el software *Thermal Studio* para el análisis de los valores de la temperatura radiante durante la investigación, en este formato se establece la imagen real con su tratamiento termográfico, además, contiene tres tablas: la primera, datos generales del archivo; la segunda, los valores paramétricos de la cámara termográfica; la tercera, los valores de temperatura de los puntos de medición. Se observan también dos graficas, la primera se trata de un perfil de temperatura radiante que registra la cantidad de valores existentes en la imagen termográfica, la segunda se trata de un histograma con la cantidad de puntos detectados en dicha imagen. Por último, un mapa referenciado del lugar donde se obtuvo la imagen termográfica.

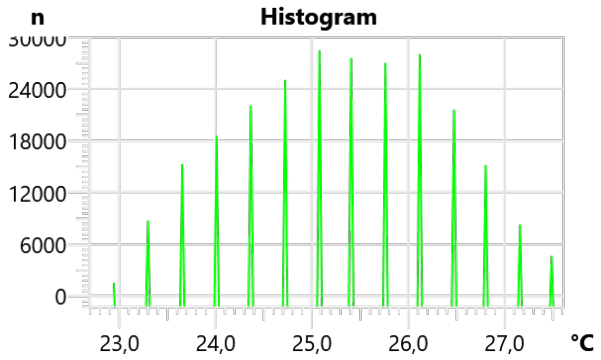
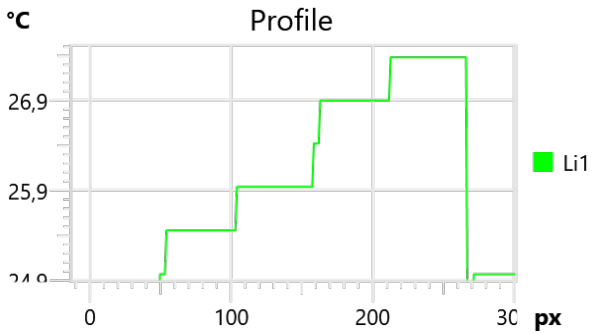


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T140547.jpg
Tamaño de archivo	1958 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	22.7 °C
Temp. máxima	49.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	28.5 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	48.7 °C
Med.	37.1 °C
Mín.	23.0 °C
Sp1	33.7 °C
Sp2	35.1 °C
Sp3	36.5 °C
Sp4	46.5 °C
Sp5	37.1 °C
Sp6	34.8 °C
Sp7	47.0 °C
Sp8	39.8 °C



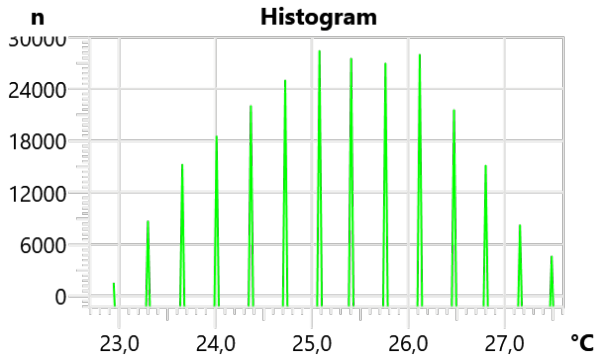
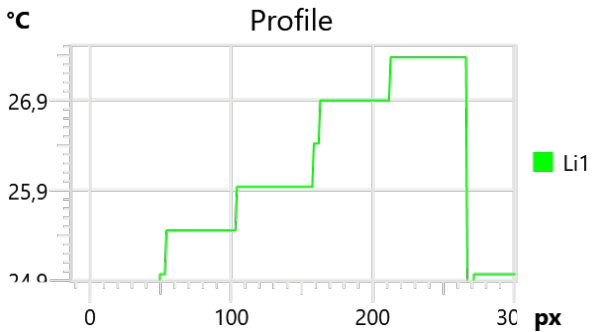


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T140802.jpg
Tamaño de archivo	2264 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	25.7 °C
Temp. máxima	49.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	32.9 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	49.3 °C
Med.	39.1 °C
Mín.	26.0 °C
Sp1	44.9 °C
Sp2	36.7 °C
Sp3	34.6 °C
Sp4	38.3 °C
Sp5	45.3 °C
Sp6	45.3 °C



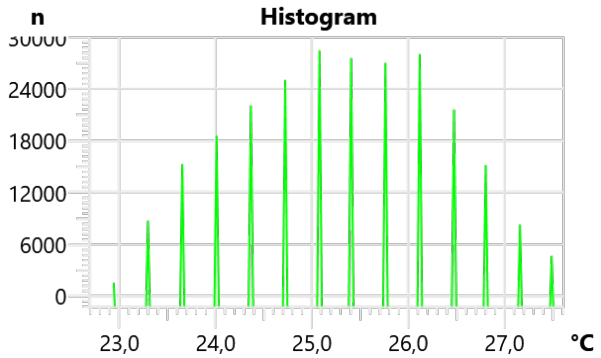
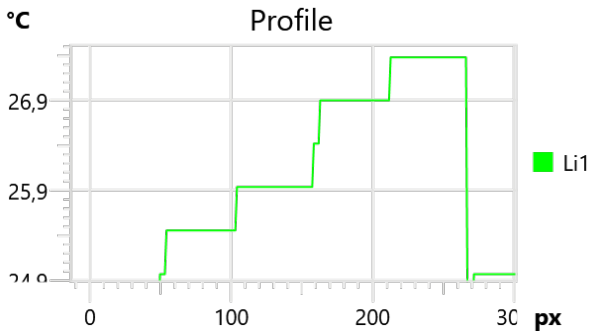


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T140945.jpg
Tamaño de archivo	2337 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	21.8 °C
Temp. máxima	50.1 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	35.2 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	50.1 °C
Med.	36.9 °C
Mín.	21.9 °C
Sp1	43.8 °C
Sp2	32.6 °C
Sp3	41.1 °C
Sp4	24.2 °C
Sp5	36.0 °C
Sp6	35.5 °C
Sp7	36.2 °C



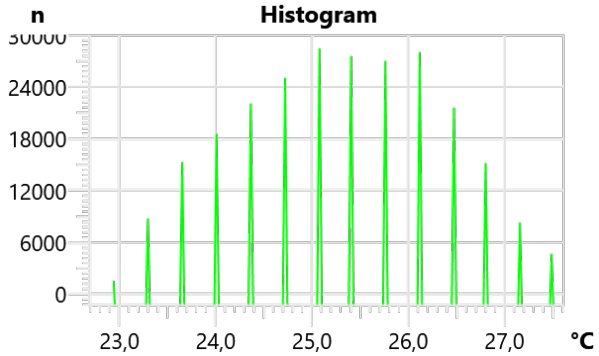
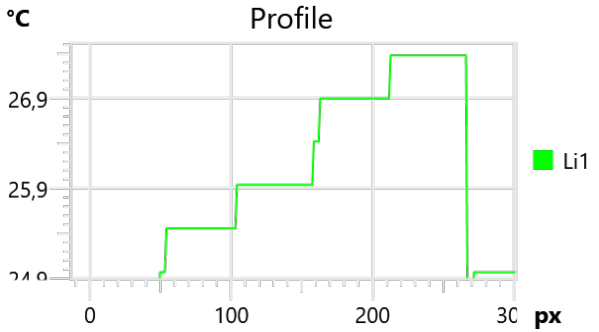


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T141107.jpg
Tamaño de archivo	2202 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	20.1 °C
Temp. máxima	46.8 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	36.3 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	46.8 °C
Med.	34.3 °C
Mín.	20.1 °C
Sp1	41.9 °C
Sp2	32.0 °C
Sp3	21.8 °C
Sp4	25.6 °C
Sp5	30.5 °C
Sp6	34.1 °C
Sp7	31.3 °C
Sp8	33.8 °C
Sp9	46.5 °C



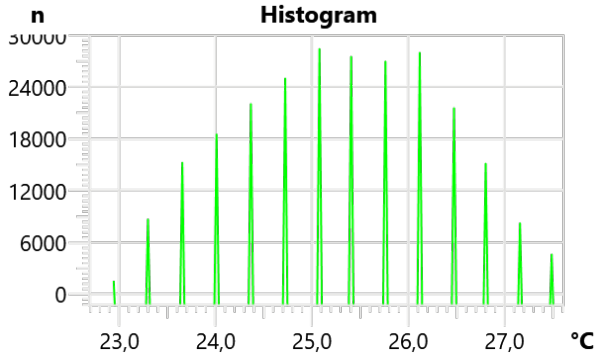
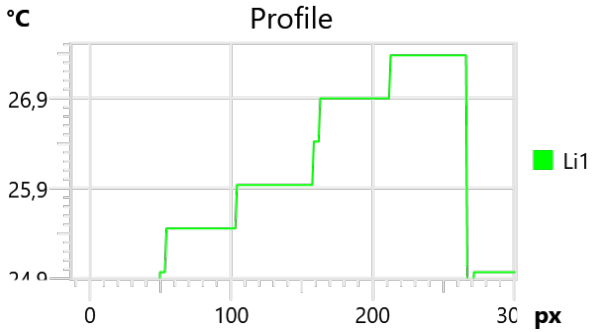


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T141254.jpg
Tamaño de archivo	2336 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	21.3 °C
Temp. máxima	48.0 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	37.3 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	48.0 °C
Med.	34.7 °C
Mín.	21.4 °C
Sp1	22.6 °C
Sp2	33.2 °C
Sp3	33.1 °C
Sp4	34.2 °C
Sp5	42.1 °C
Sp6	34.0 °C
Sp7	32.9 °C
Sp8	32.7 °C



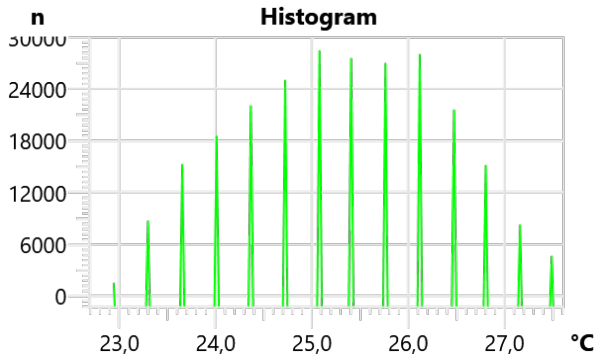
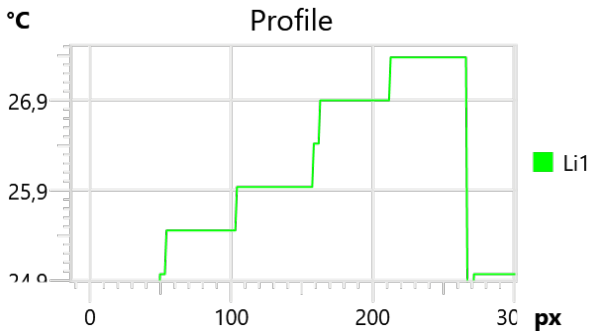


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T141419.jpg
Tamaño de archivo	2432 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	21.0 °C
Temp. máxima	50.6 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	37.7 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	50.6 °C
Med.	35.1 °C
Mín.	21.2 °C
Sp1	24.7 °C
Sp2	30.5 °C
Sp3	34.3 °C
Sp4	34.1 °C
Sp5	43.6 °C
Sp6	32.2 °C
Sp7	33.7 °C
Sp8	40.8 °C
Sp9	32.4 °C



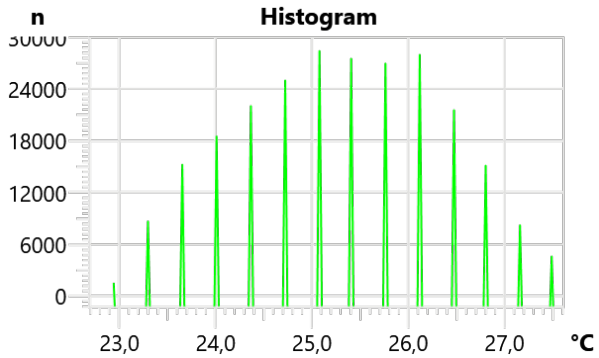
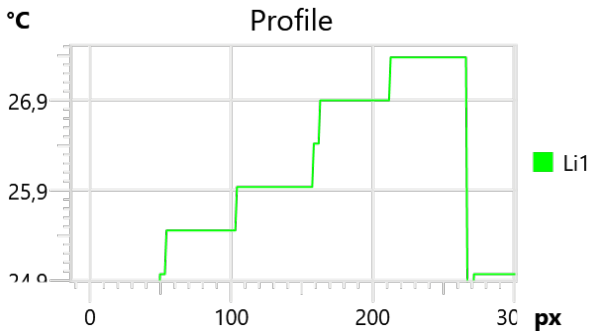


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T141546.jpg
Tamaño de archivo	2479 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	21.9 °C
Temp. máxima	45.8 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	38.4 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	45.8 °C
Med.	34.3 °C
Mín.	22.0 °C
Sp1	23.9 °C
Sp2	36.7 °C
Sp3	37.5 °C
Sp4	35.1 °C
Sp5	32.7 °C
Sp6	22.7 °C
Sp7	26.4 °C
Sp8	33.8 °C
Sp9	39.7 °C





File information

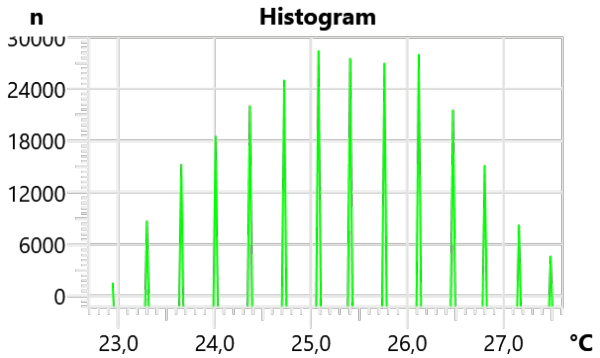
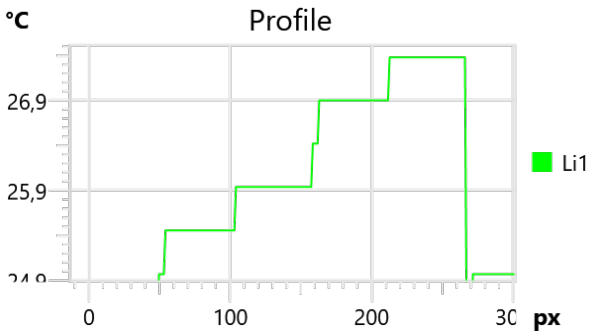
Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T141707.jpg
Tamaño de archivo	2131 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	21.9 °C
Temp. máxima	45.7 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	38.5 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	45.7 °C
Med.	35.2 °C
Mín.	22.1 °C
Sp1	32.2 °C
Sp2	45.0 °C
Sp3	38.2 °C
Sp4	35.8 °C
Sp5	32.2 °C
Sp6	23.8 °C
Sp7	32.0 °C
Sp8	32.3 °C
Sp9	33.7 °C



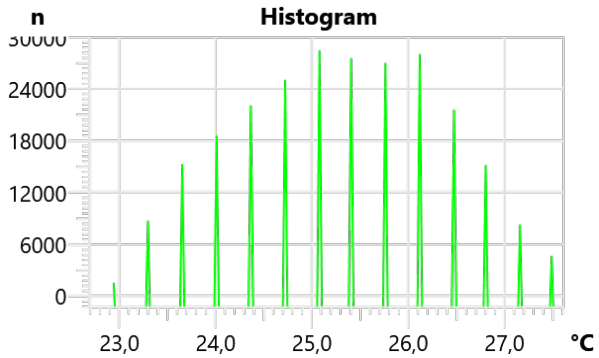
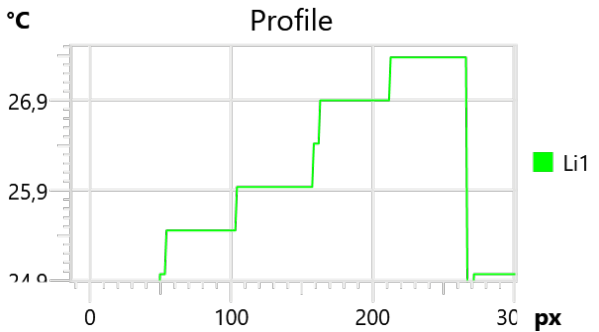


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T141903.jpg
Tamaño de archivo	2064 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	16.9 °C
Temp. máxima	47.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	39.2 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	47.3 °C
Med.	35.5 °C
Mín.	17.4 °C
Sp1	25.8 °C
Sp10	39.4 °C
Sp11	33.1 °C
Sp2	45.9 °C
Sp3	44.9 °C
Sp4	36.6 °C
Sp5	36.3 °C
Sp6	31.9 °C
Sp7	32.4 °C
Sp8	36.0 °C
Sp9	32.7 °C





File information

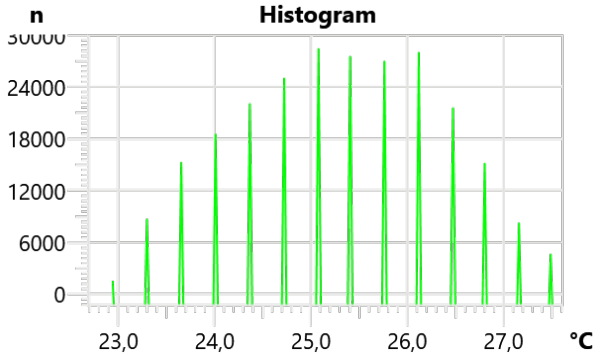
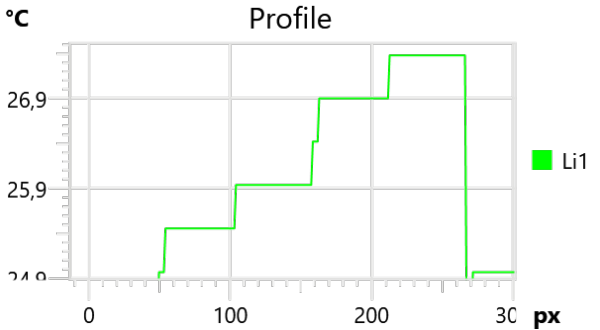
Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T142017.jpg
Tamaño de archivo	1950 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.1 °C
Temp. máxima	47.0 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	39.6 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	47.0 °C
Med.	34.0 °C
Mín.	17.1 °C
Sp1	23.5 °C
Sp10	42.1 °C
Sp2	46.7 °C
Sp3	45.2 °C
Sp4	32.3 °C
Sp5	35.6 °C
Sp6	30.9 °C
Sp7	32.0 °C
Sp8	31.7 °C
Sp9	33.8 °C



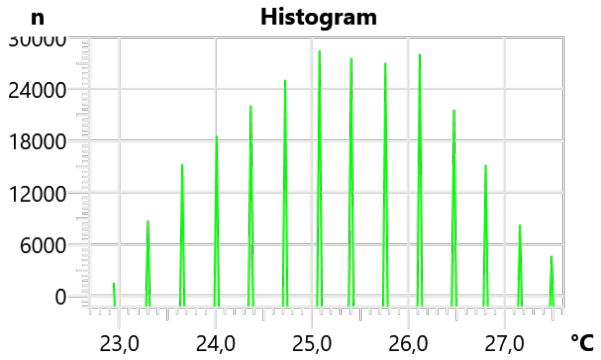
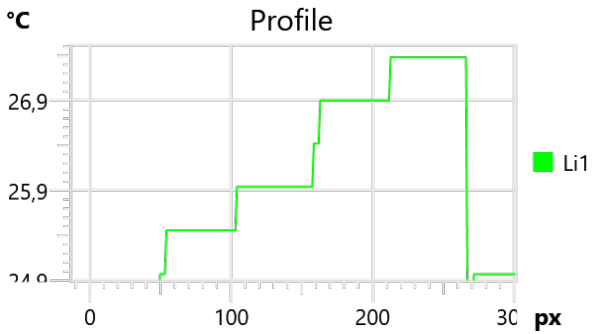


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T140547.jpg
Tamaño de archivo	1958 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	22.7 °C
Temp. máxima	49.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	28.5 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	48.7 °C
Med.	37.1 °C
Mín.	23.0 °C
Sp1	33.7 °C
Sp2	35.1 °C
Sp3	36.5 °C
Sp4	46.5 °C
Sp5	37.1 °C
Sp6	34.8 °C
Sp7	47.0 °C
Sp8	39.8 °C



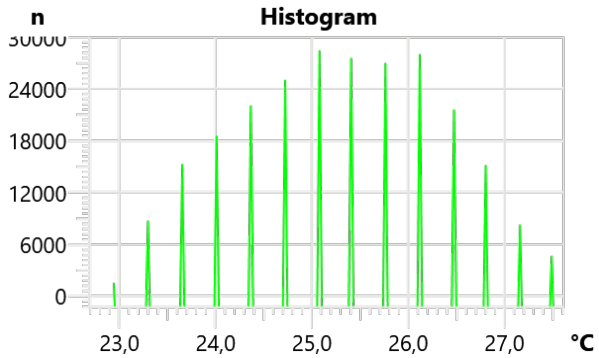
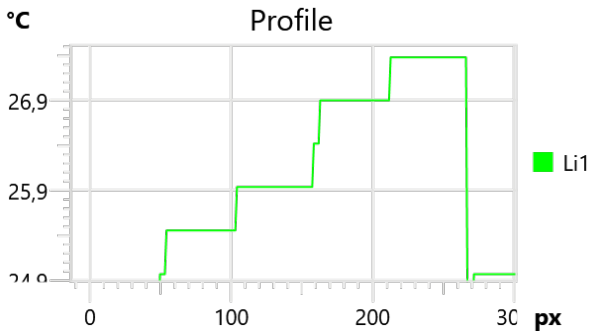


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T140802.jpg
Tamaño de archivo	2264 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	25.7 °C
Temp. máxima	49.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	32.9 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	49.3 °C
Med.	39.1 °C
Mín.	26.0 °C
Sp1	44.9 °C
Sp2	36.7 °C
Sp3	34.6 °C
Sp4	38.3 °C
Sp5	45.3 °C
Sp6	45.3 °C



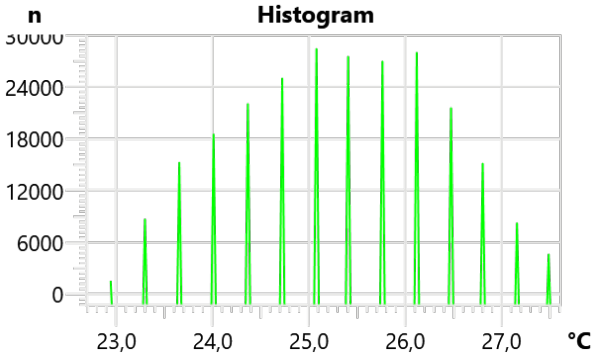
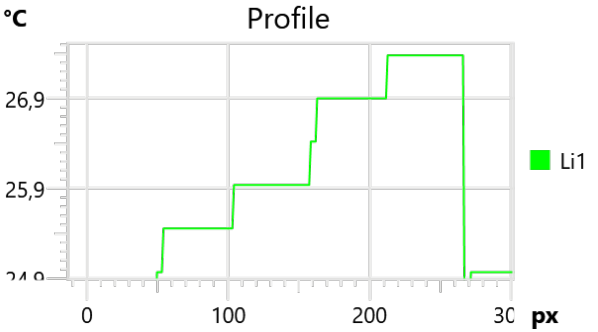


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T142148.jpg
Tamaño de archivo	1951 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	19.7 °C
Temp. máxima	50.5 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	40.7 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	50.5 °C
Med.	37.9 °C
Mín.	19.7 °C
Sp1	25.4 °C
Sp10	43.8 °C
Sp2	34.1 °C
Sp3	44.9 °C
Sp4	50.4 °C
Sp5	48.8 °C
Sp6	34.1 °C
Sp7	46.2 °C
Sp8	33.2 °C
Sp9	34.5 °C



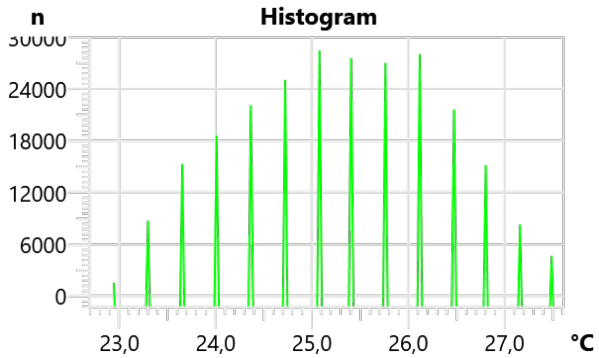
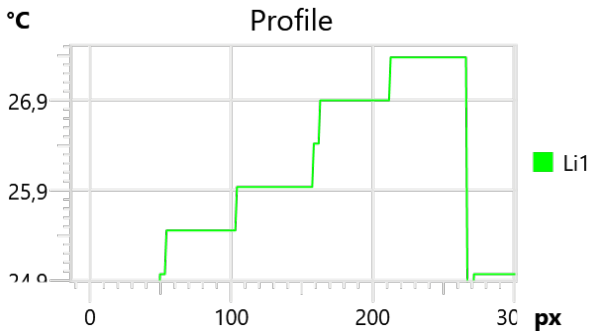


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T142321.jpg
Tamaño de archivo	1969 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.3 °C
Temp. máxima	55.6 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	40.8 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	55.6 °C
Med.	35.2 °C
Mín.	18.4 °C
Sp1	36.8 °C
Sp10	47.1 °C
Sp2	23.6 °C
Sp3	38.6 °C
Sp4	32.5 °C
Sp5	46.5 °C
Sp6	34.1 °C
Sp7	34.5 °C
Sp8	33.9 °C
Sp9	39.7 °C





File information

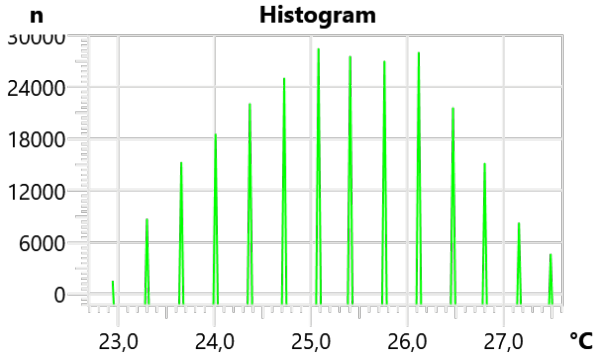
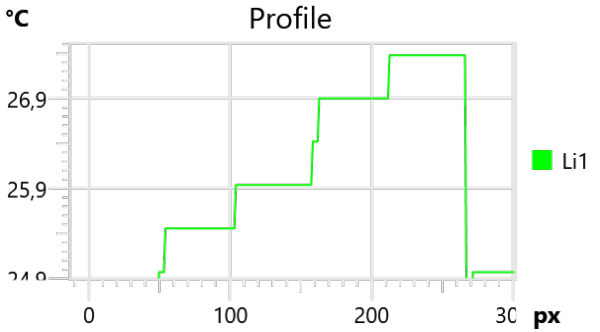
Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T142505.jpg
Tamaño de archivo	2024 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.8 °C
Temp. máxima	50.0 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	41.8 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	50.0 °C
Med.	35.7 °C
Mín.	18.8 °C
Sp1	48.5 °C
Sp10	34.7 °C
Sp2	49.2 °C
Sp3	25.1 °C
Sp4	36.0 °C
Sp5	45.0 °C
Sp6	24.6 °C
Sp7	37.5 °C
Sp8	32.7 °C
Sp9	35.3 °C





File information

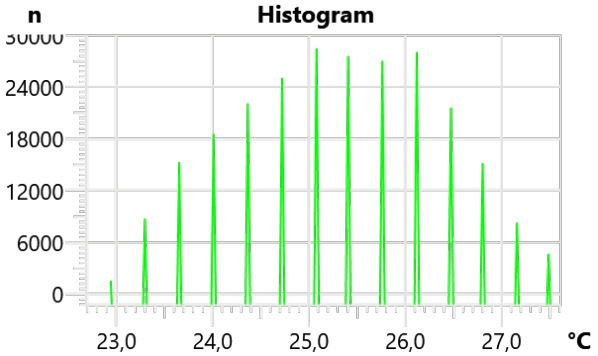
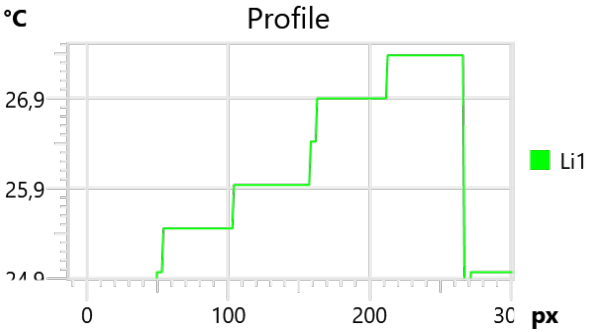
Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T142632.jpg
Tamaño de archivo	1834 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.4 °C
Temp. máxima	48.9 °C

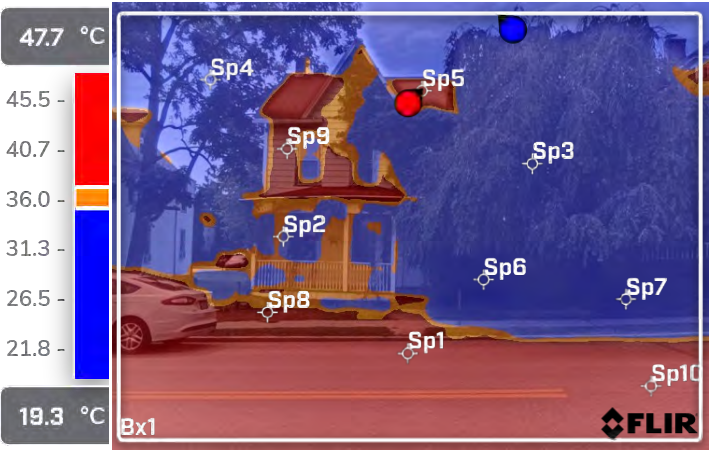
Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	42.1 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	48.9 °C
Med.	34.9 °C
Mín.	18.4 °C
Sp1	32.6 °C
Sp10	34.1 °C
Sp11	38.9 °C
Sp2	45.7 °C
Sp3	47.9 °C
Sp4	19.8 °C
Sp5	45.2 °C
Sp6	23.7 °C
Sp7	31.5 °C
Sp8	33.9 °C
Sp9	45.7 °C





File information

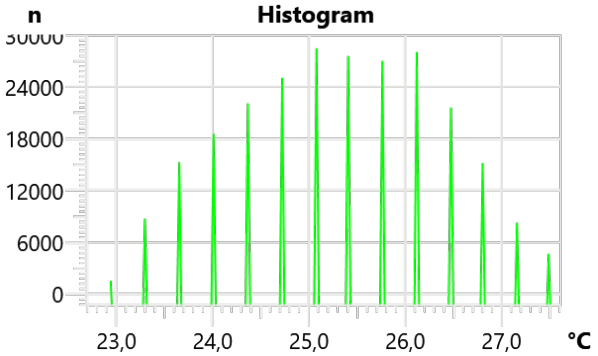
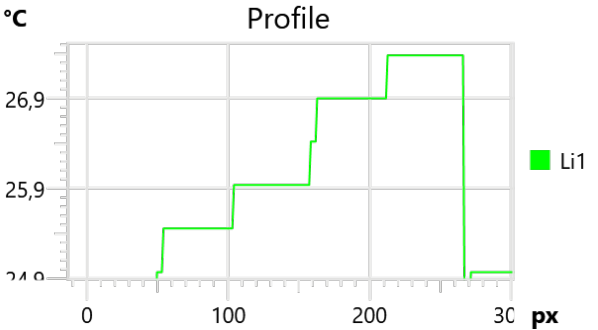
Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T142902.jpg
Tamaño de archivo	2285 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.6 °C
Temp. máxima	49.5 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	43.6 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	49.5 °C
Med.	36.2 °C
Mín.	18.6 °C
Sp1	45.1 °C
Sp10	45.4 °C
Sp2	35.0 °C
Sp3	33.1 °C
Sp4	29.0 °C
Sp5	49.3 °C
Sp6	32.0 °C
Sp7	31.4 °C
Sp8	39.5 °C
Sp9	37.3 °C



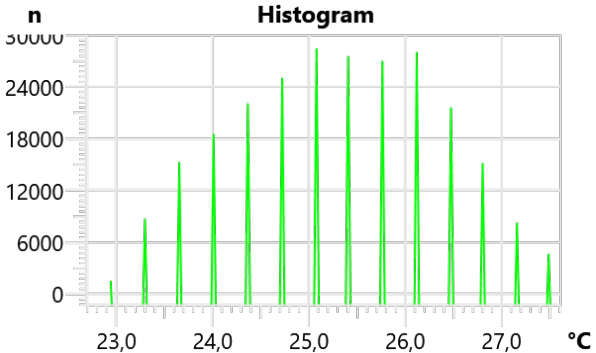
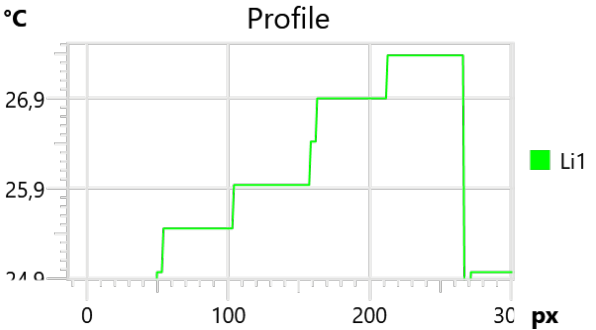


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T143042.jpg
Tamaño de archivo	2274 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	21.7 °C
Temp. máxima	54.2 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.1 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	54.2 °C
Med.	40.1 °C
Mín.	21.7 °C
Sp1	47.4 °C
Sp10	39.2 °C
Sp11	53.1 °C
Sp12	47.5 °C
Sp2	41.9 °C
Sp3	44.2 °C
Sp4	33.3 °C
Sp5	36.7 °C
Sp6	33.5 °C
Sp7	37.5 °C
Sp8	36.9 °C
Sp9	37.1 °C



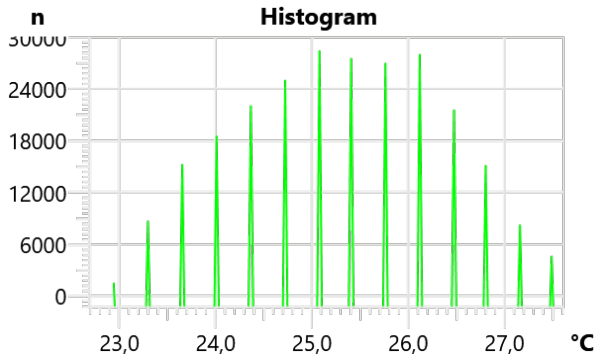
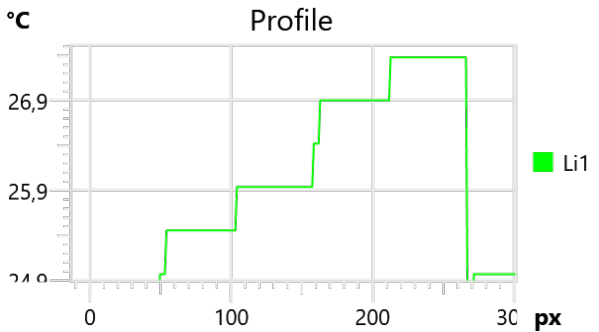


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T143209.jpg
Tamaño de archivo	2136 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.5 °C
Temp. máxima	52.8 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.4 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	52.7 °C
Med.	37.9 °C
Mín.	17.5 °C
Sp1	37.4 °C
Sp10	46.8 °C
Sp11	36.5 °C
Sp12	37.5 °C
Sp13	36.1 °C
Sp2	44.1 °C
Sp3	49.9 °C
Sp4	25.1 °C
Sp5	36.8 °C
Sp6	34.8 °C
Sp7	36.7 °C
Sp8	33.0 °C
Sp9	37.7 °C



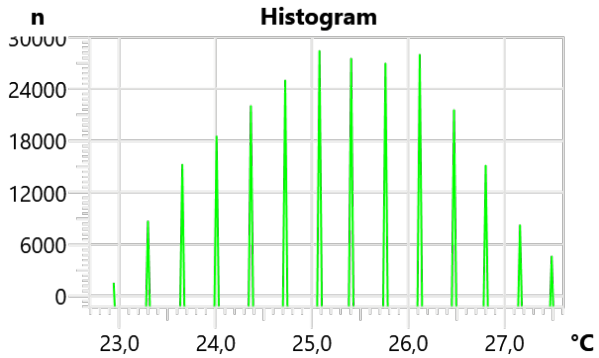
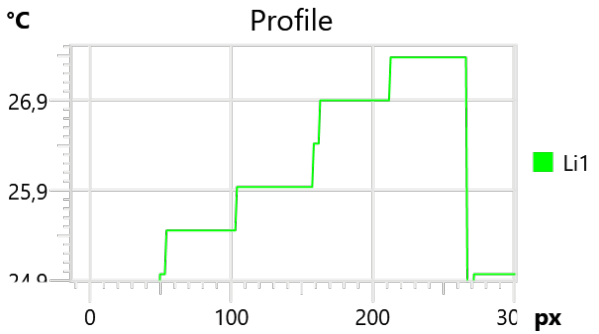


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T143338.jpg
Tamaño de archivo	2247 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.8 °C
Temp. máxima	51.8 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.8 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	51.8 °C
Med.	35.6 °C
Mín.	17.8 °C
Sp1	35.1 °C
Sp10	41.2 °C
Sp11	33.8 °C
Sp2	30.9 °C
Sp3	35.1 °C
Sp4	34.9 °C
Sp5	37.4 °C
Sp6	32.5 °C
Sp7	33.0 °C
Sp8	30.7 °C
Sp9	36.1 °C



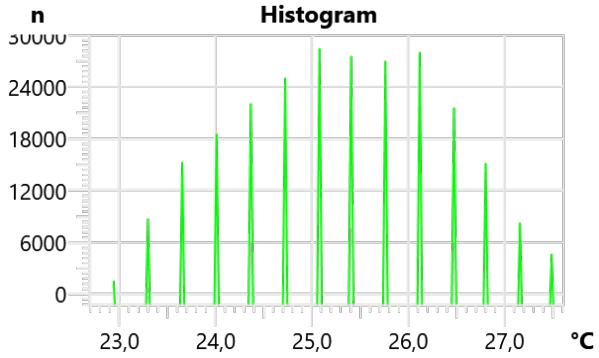
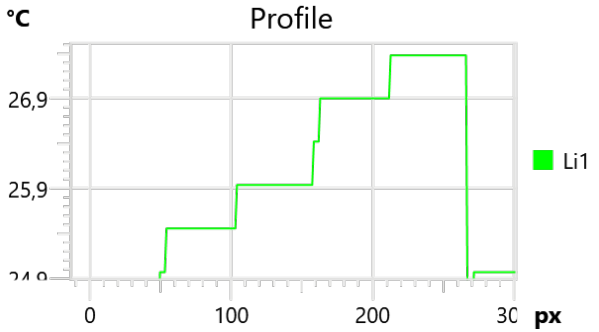


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T143343.jpg
Tamaño de archivo	2314 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	19.6 °C
Temp. máxima	52.9 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.8 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	52.9 °C
Med.	37.3 °C
Mín.	19.6 °C
Sp1	36.5 °C
Sp10	35.5 °C
Sp11	34.8 °C
Sp12	34.6 °C
Sp2	48.5 °C
Sp3	36.0 °C
Sp4	37.8 °C
Sp5	45.6 °C
Sp6	23.9 °C
Sp7	35.1 °C
Sp8	33.7 °C
Sp9	34.2 °C



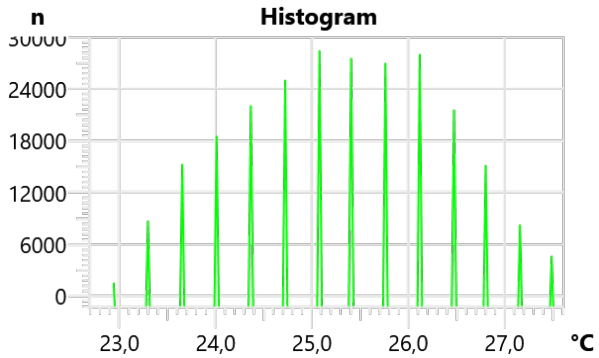
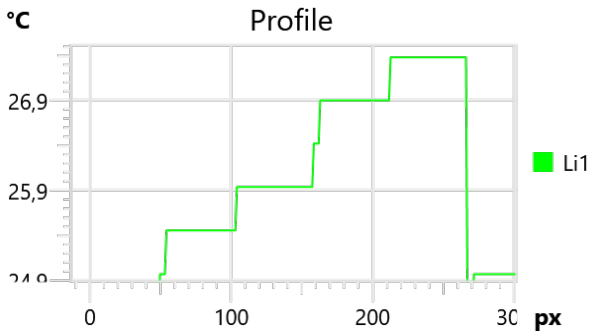


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T143500.jpg
Tamaño de archivo	2339 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.5 °C
Temp. máxima	53.1 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.9 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	53.1 °C
Med.	37.7 °C
Mín.	19.0 °C
Sp1	25.5 °C
Sp10	35.5 °C
Sp11	47.3 °C
Sp2	37.5 °C
Sp3	40.0 °C
Sp4	34.8 °C
Sp5	47.1 °C
Sp6	34.4 °C
Sp7	40.6 °C
Sp8	34.5 °C
Sp9	39.2 °C



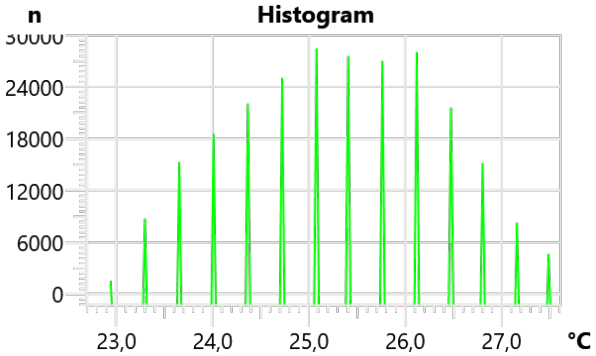
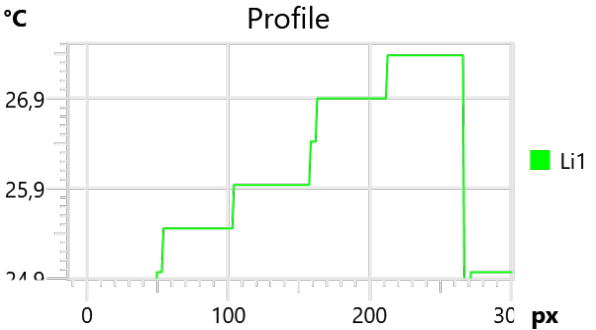


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T143614.jpg
Tamaño de archivo	2373 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	21.5 °C
Temp. máxima	51.7 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.0 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	51.7 °C
Med.	37.0 °C
Mín.	21.5 °C
Sp1	29.8 °C
Sp10	33.3 °C
Sp11	36.8 °C
Sp2	35.9 °C
Sp3	34.1 °C
Sp4	39.3 °C
Sp5	43.3 °C
Sp6	35.9 °C
Sp7	36.0 °C
Sp8	43.1 °C
Sp9	34.9 °C





File information

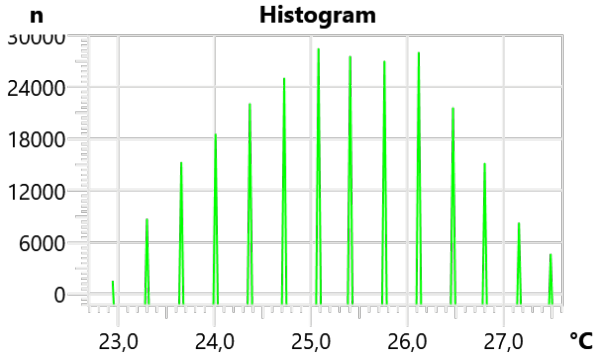
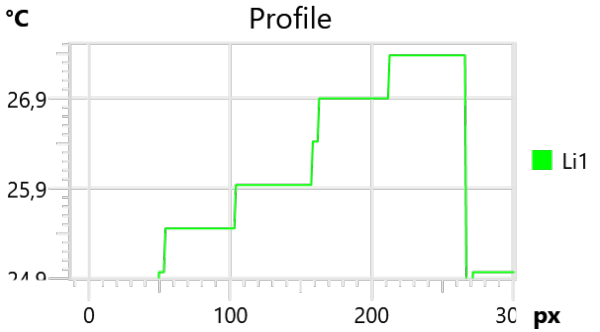
Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T143723.jpg
Tamaño de archivo	2024 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.5 °C
Temp. máxima	52.9 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.3 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	52.9 °C
Med.	38.1 °C
Mín.	18.5 °C
Sp1	27.2 °C
Sp10	33.6 °C
Sp11	36.8 °C
Sp2	36.4 °C
Sp3	50.5 °C
Sp4	37.8 °C
Sp5	46.4 °C
Sp6	39.4 °C
Sp7	31.7 °C
Sp8	33.3 °C
Sp9	39.4 °C



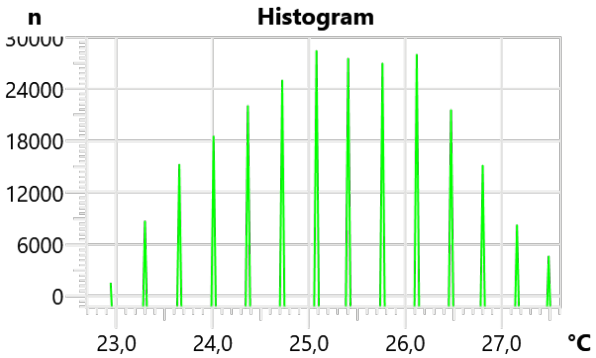
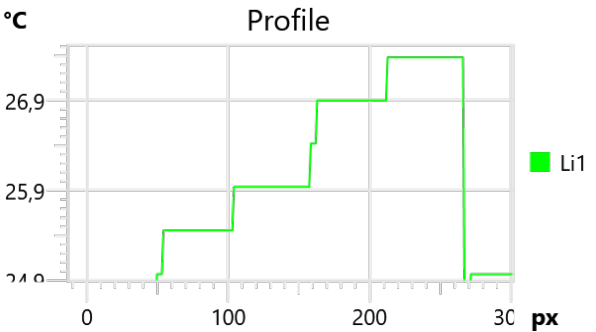


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T143843.jpg
Tamaño de archivo	2037 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.2 °C
Temp. máxima	51.2 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.9 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	51.2 °C
Med.	37.3 °C
Mín.	18.5 °C
Sp1	31.2 °C
Sp10	34.1 °C
Sp11	35.4 °C
Sp2	36.3 °C
Sp3	48.2 °C
Sp4	36.8 °C
Sp5	44.2 °C
Sp6	33.5 °C
Sp7	34.7 °C
Sp8	34.1 °C
Sp9	37.7 °C



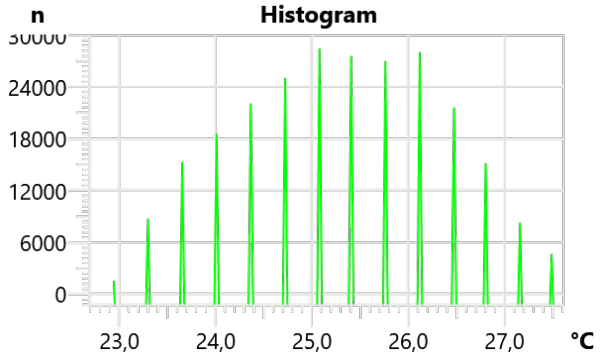
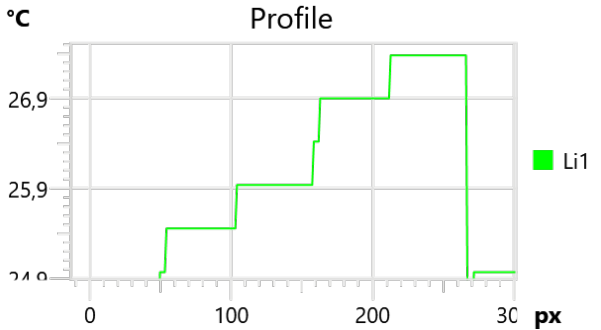


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T144001.jpg
Tamaño de archivo	2009 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	19.6 °C
Temp. máxima	50.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.1 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	50.3 °C
Med.	38.0 °C
Mín.	20.0 °C
Sp1	27.7 °C
Sp10	37.5 °C
Sp11	43.8 °C
Sp12	39.8 °C
Sp13	36.7 °C
Sp2	39.0 °C
Sp3	48.0 °C
Sp4	34.7 °C
Sp5	47.0 °C
Sp6	38.2 °C
Sp7	36.9 °C
Sp8	35.0 °C
Sp9	35.1 °C



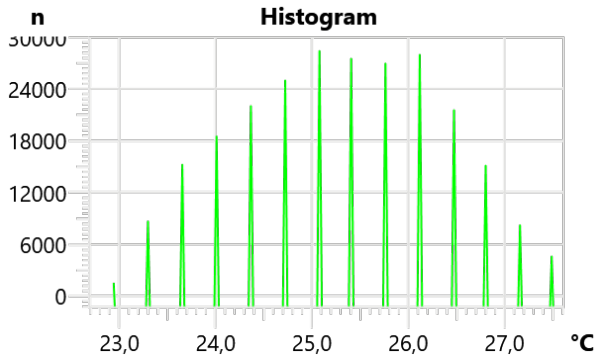
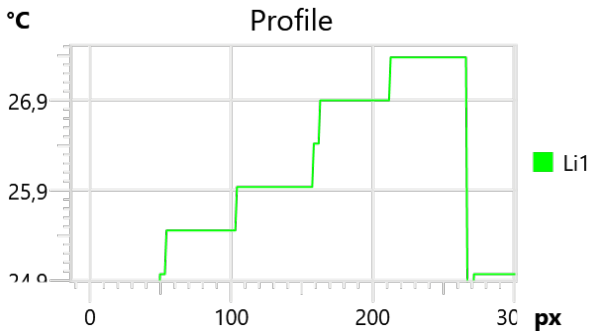


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T144125.jpg
Tamaño de archivo	1968 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.6 °C
Temp. máxima	49.1 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.9 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	49.1 °C
Med.	37.0 °C
Mín.	17.8 °C
Sp1	37.3 °C
Sp10	35.0 °C
Sp11	35.8 °C
Sp12	45.5 °C
Sp2	23.9 °C
Sp3	38.9 °C
Sp4	37.6 °C
Sp5	45.1 °C
Sp6	39.2 °C
Sp7	35.0 °C
Sp8	36.3 °C
Sp9	36.7 °C



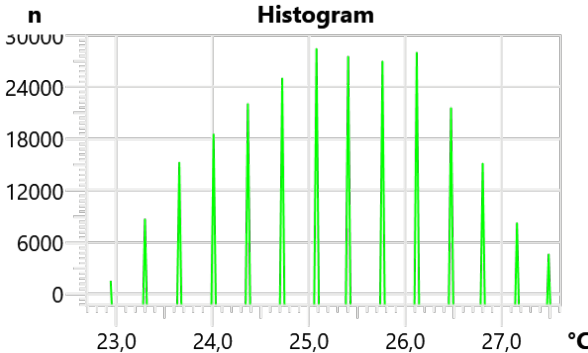
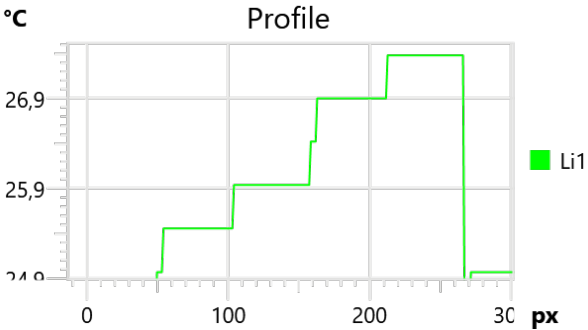


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T144325.jpg
Tamaño de archivo	2040 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	20.6 °C
Temp. máxima	48.7 °C

Parameters

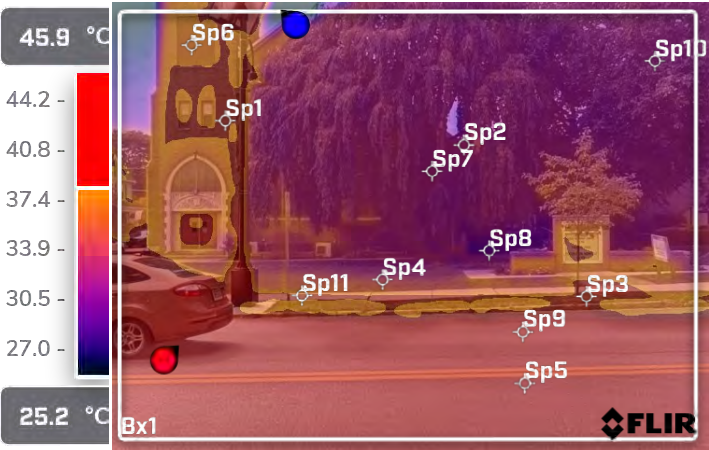
Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.6 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	48.7 °C
Med.	35.5 °C
Mín.	21.1 °C
Sp1	31.2 °C
Sp10	26.3 °C
Sp2	22.7 °C
Sp3	38.0 °C
Sp4	30.8 °C
Sp5	45.6 °C
Sp6	31.9 °C
Sp7	37.4 °C
Sp8	36.3 °C
Sp9	36.4 °C



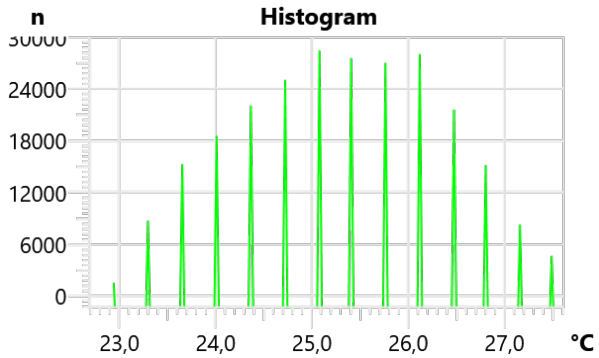
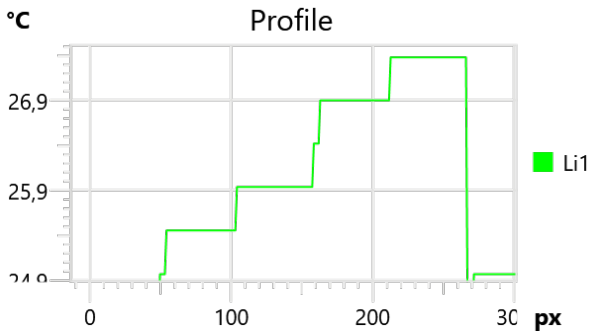


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T144518.jpg
Tamaño de archivo	2334 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	24.2 °C
Temp. máxima	47.2 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.7 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	46.4 °C
Med.	37.1 °C
Mín.	24.7 °C
Sp1	38.3 °C
Sp10	31.9 °C
Sp11	39.0 °C
Sp2	32.8 °C
Sp3	40.1 °C
Sp4	33.5 °C
Sp5	44.2 °C
Sp6	37.4 °C
Sp7	32.4 °C
Sp8	29.8 °C
Sp9	45.3 °C



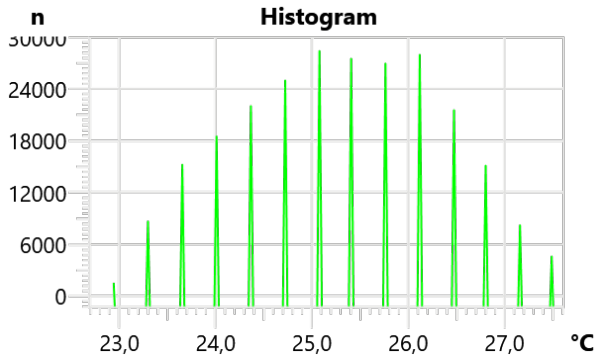
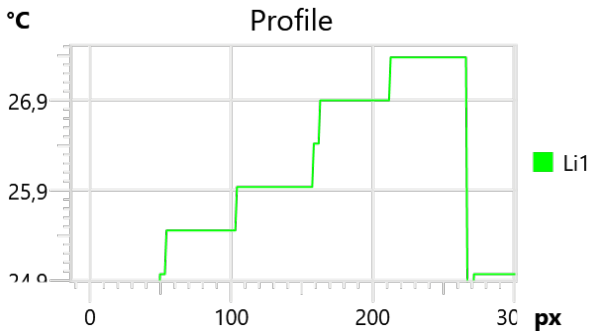


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T144520.jpg
Tamaño de archivo	2247 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	22.7 °C
Temp. máxima	47.2 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.7 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	47.2 °C
Med.	36.4 °C
Mín.	23.3 °C
Sp1	38.3 °C
Sp10	44.5 °C
Sp11	37.3 °C
Sp2	31.0 °C
Sp3	37.5 °C
Sp4	32.4 °C
Sp5	44.1 °C
Sp6	37.4 °C
Sp7	32.3 °C
Sp8	29.7 °C
Sp9	31.9 °C



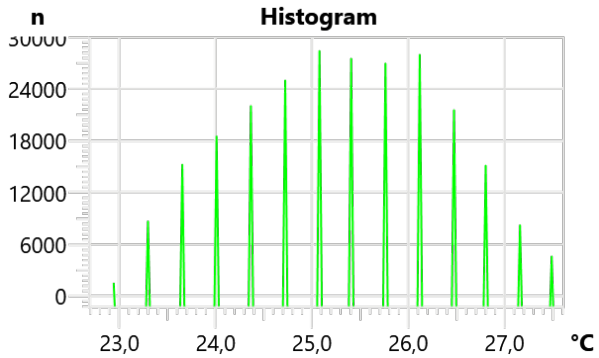
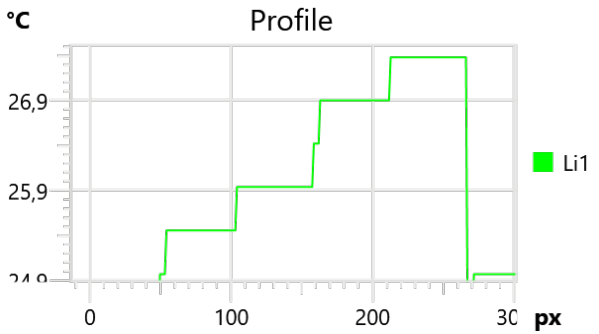


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:05:14 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T144642.jpg
Tamaño de archivo	1877 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	19.9 °C
Temp. máxima	50.4 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.7 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	50.4 °C
Med.	36.7 °C
Mín.	19.9 °C
Sp1	25.4 °C
Sp10	38.1 °C
Sp2	38.6 °C
Sp3	33.3 °C
Sp4	47.7 °C
Sp5	49.2 °C
Sp6	43.8 °C
Sp7	34.7 °C
Sp8	33.9 °C
Sp9	47.5 °C



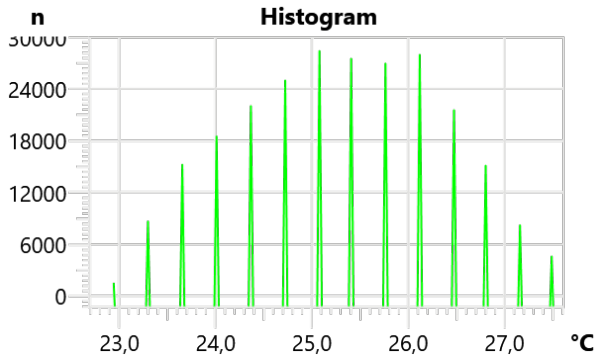
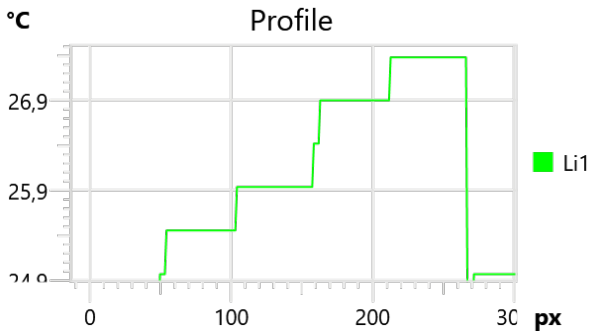


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:47:50 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T144816.jpg
Tamaño de archivo	2426 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	21.9 °C
Temp. máxima	52.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.6 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	52.3 °C
Med.	35.9 °C
Mín.	22.1 °C
Sp1	38.1 °C
Sp10	35.6 °C
Sp2	35.0 °C
Sp3	32.8 °C
Sp4	48.9 °C
Sp5	46.0 °C
Sp6	30.6 °C
Sp7	32.8 °C
Sp8	34.0 °C
Sp9	33.0 °C



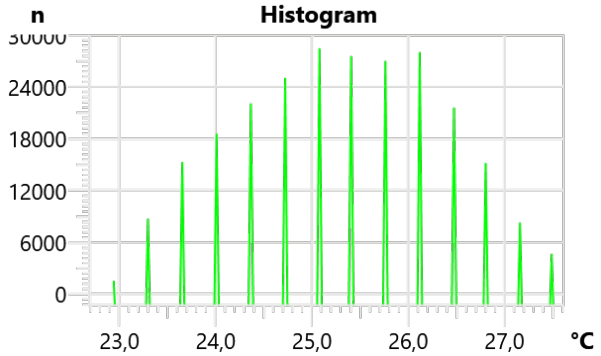
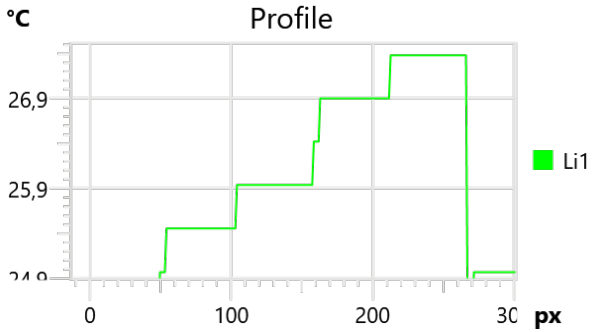


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T152916.jpg
Tamaño de archivo	2095 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	19.8 °C
Temp. máxima	51.0 °C

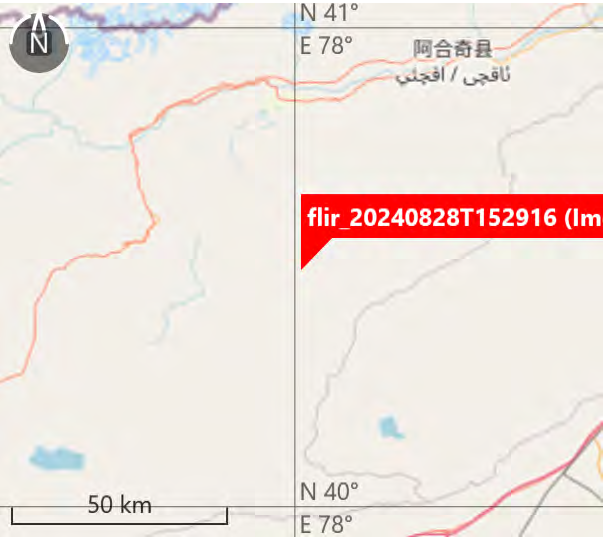
Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.2 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	50.1 °C
Med.	36.7 °C
Mín.	20.1 °C
Sp1	35.5 °C
Sp10	37.1 °C
Sp2	23.6 °C
Sp3	36.0 °C
Sp4	34.2 °C
Sp5	44.2 °C
Sp6	36.2 °C
Sp7	32.5 °C
Sp8	37.3 °C
Sp9	43.1 °C





File information

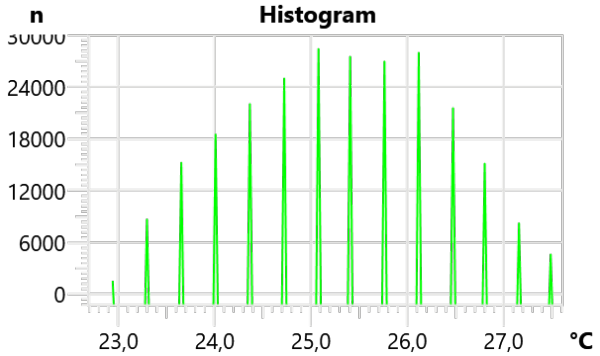
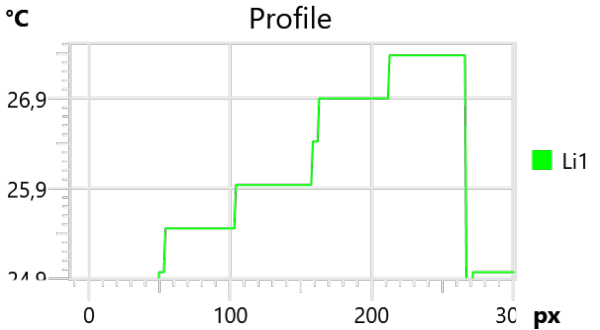
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T152747.jpg
Tamaño de archivo	2064 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	19.2 °C
Temp. máxima	48.2 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.1 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	48.2 °C
Med.	37.5 °C
Mín.	19.7 °C
Sp1	45.8 °C
Sp10	43.5 °C
Sp2	23.3 °C
Sp3	37.9 °C
Sp4	38.0 °C
Sp5	40.6 °C
Sp6	37.8 °C
Sp7	37.4 °C
Sp8	38.3 °C
Sp9	38.1 °C



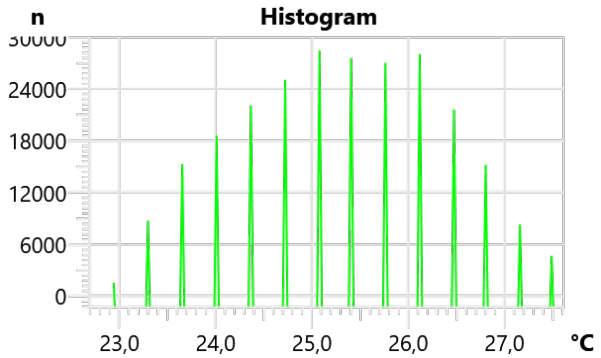
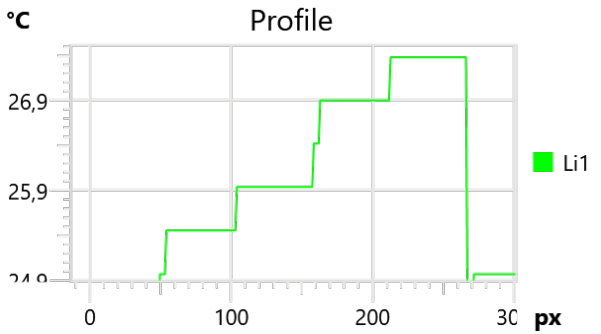


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T145114.jpg
Tamaño de archivo	2130 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	24.7 °C
Temp. máxima	50.0 °C

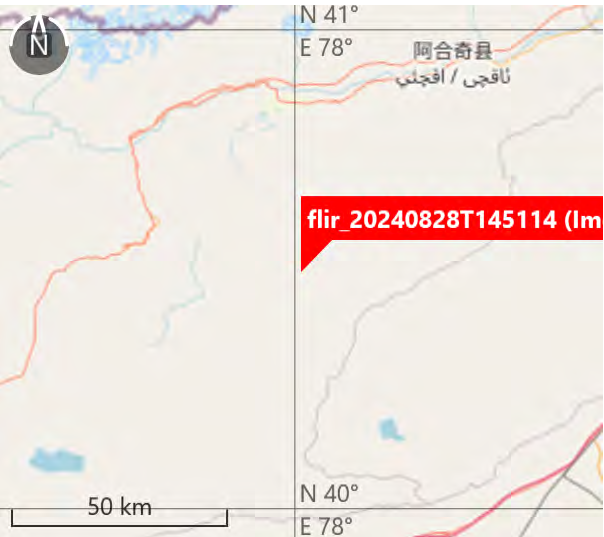
Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.7 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	49.9 °C
Med.	37.3 °C
Mín.	24.8 °C
Sp1	35.9 °C
Sp10	39.4 °C
Sp2	38.4 °C
Sp3	46.9 °C
Sp4	28.4 °C
Sp5	38.6 °C
Sp6	35.1 °C
Sp7	34.8 °C
Sp8	37.6 °C
Sp9	40.3 °C



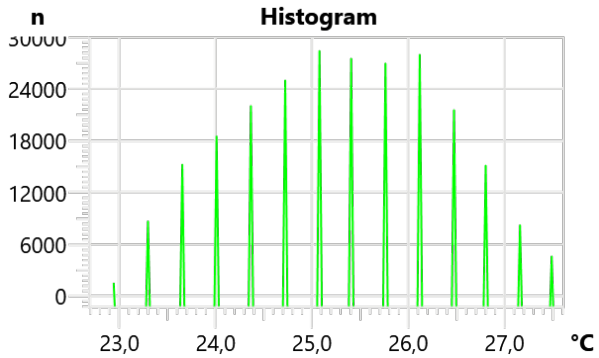
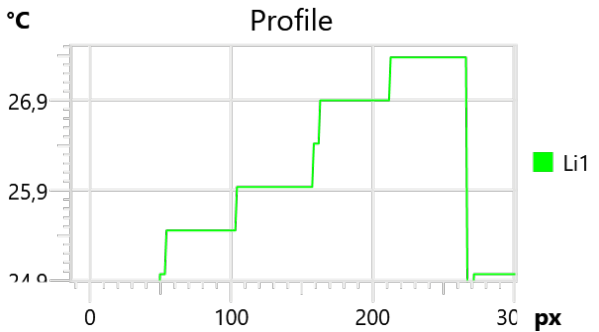


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T145235.jpg
Tamaño de archivo	1963 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	20.2 °C
Temp. máxima	50.9 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	46.3 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	50.9 °C
Med.	37.8 °C
Mín.	20.6 °C
Sp1	42.2 °C
Sp10	35.1 °C
Sp2	35.8 °C
Sp3	43.4 °C
Sp4	27.8 °C
Sp5	50.5 °C
Sp6	45.2 °C
Sp7	45.3 °C
Sp8	43.7 °C
Sp9	47.6 °C



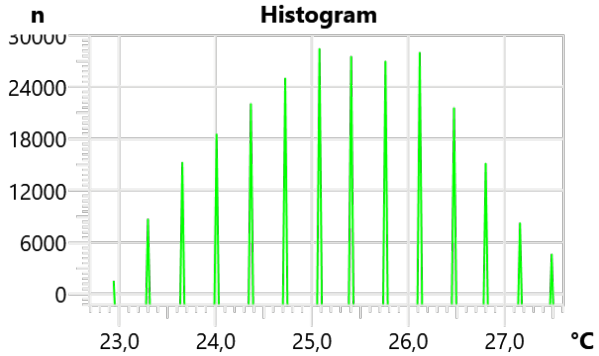
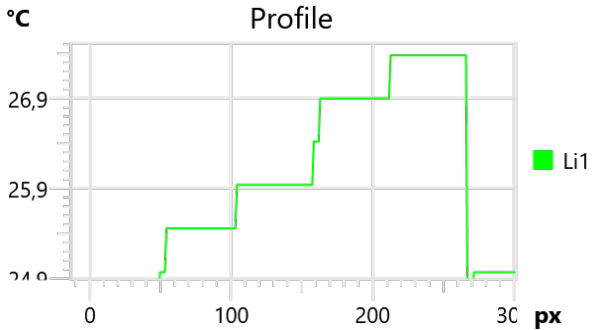


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T145355.jpg
Tamaño de archivo	1872 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	19.4 °C
Temp. máxima	51.4 °C

Parameters

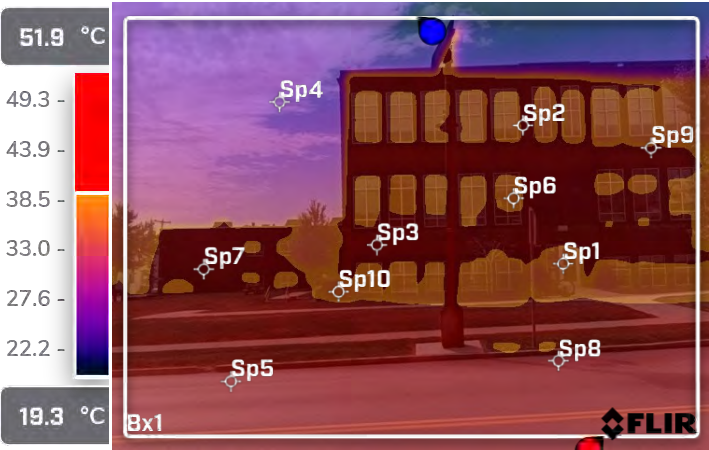
Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.8 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	51.2 °C
Med.	38.1 °C
Mín.	19.6 °C
Sp1	42.9 °C
Sp10	41.6 °C
Sp2	27.4 °C
Sp3	40.4 °C
Sp4	36.4 °C
Sp5	49.6 °C
Sp6	36.0 °C
Sp7	37.5 °C
Sp8	40.8 °C
Sp9	49.6 °C





File information

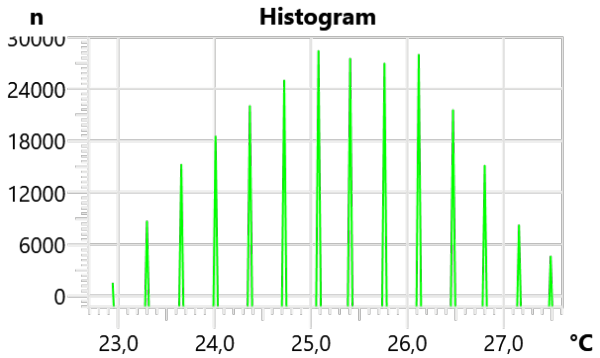
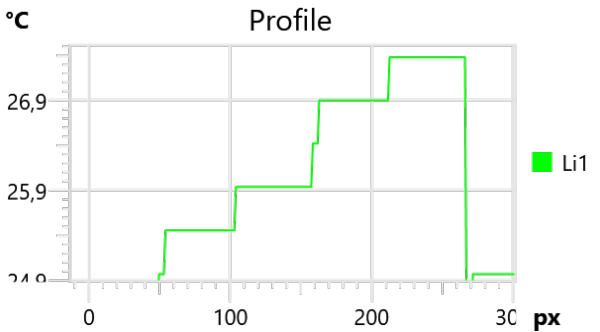
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T145510.jpg
Tamaño de archivo	1869 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	19.1 °C
Temp. máxima	52.1 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	46.3 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	51.6 °C
Med.	38.3 °C
Mín.	19.7 °C
Sp1	37.3 °C
Sp10	37.4 °C
Sp2	39.7 °C
Sp3	42.0 °C
Sp4	26.4 °C
Sp5	51.3 °C
Sp6	38.0 °C
Sp7	40.3 °C
Sp8	44.2 °C
Sp9	39.5 °C



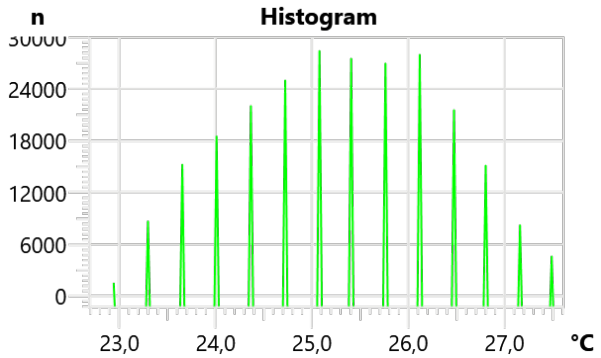
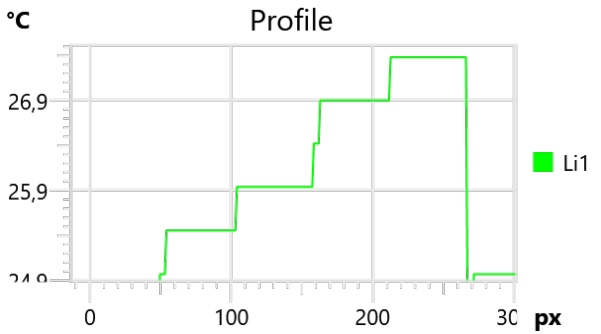


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T145635.jpg
Tamaño de archivo	2060 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	19.5 °C
Temp. máxima	51.5 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	46.4 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	51.4 °C
Med.	38.3 °C
Mín.	19.7 °C
Sp1	37.9 °C
Sp10	35.6 °C
Sp2	27.9 °C
Sp3	36.3 °C
Sp4	32.7 °C
Sp5	49.3 °C
Sp6	36.5 °C
Sp7	49.1 °C
Sp8	37.7 °C
Sp9	35.5 °C



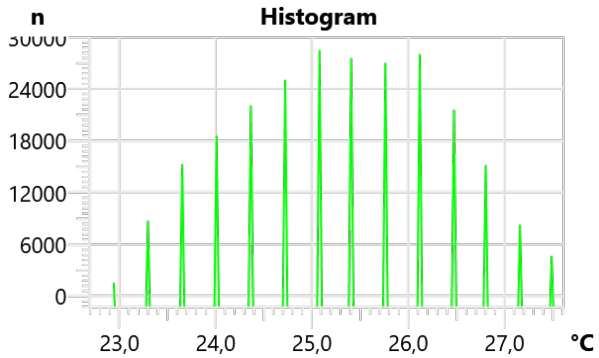
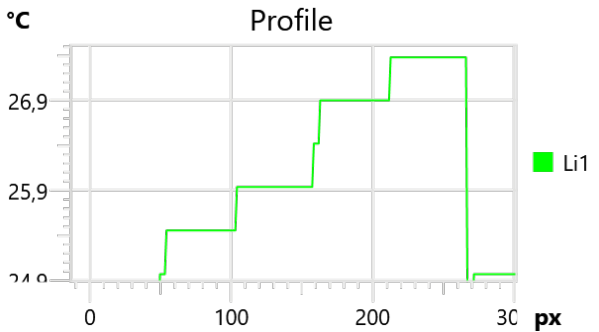


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T145804.jpg
Tamaño de archivo	1939 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.6 °C
Temp. máxima	50.4 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	46.8 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	50.3 °C
Med.	36.3 °C
Mín.	18.9 °C
Sp1	36.7 °C
Sp10	44.5 °C
Sp2	23.7 °C
Sp3	36.5 °C
Sp4	24.9 °C
Sp5	49.9 °C
Sp6	35.9 °C
Sp7	39.4 °C
Sp8	48.9 °C
Sp9	48.0 °C





File information

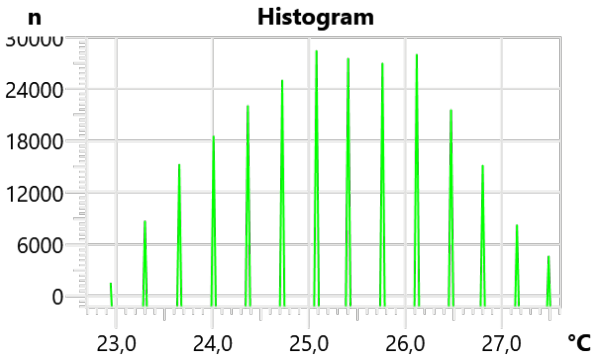
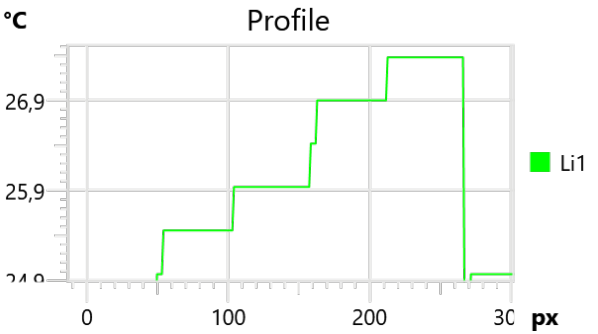
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T145924.jpg
Tamaño de archivo	1920 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	16.3 °C
Temp. máxima	50.2 °C

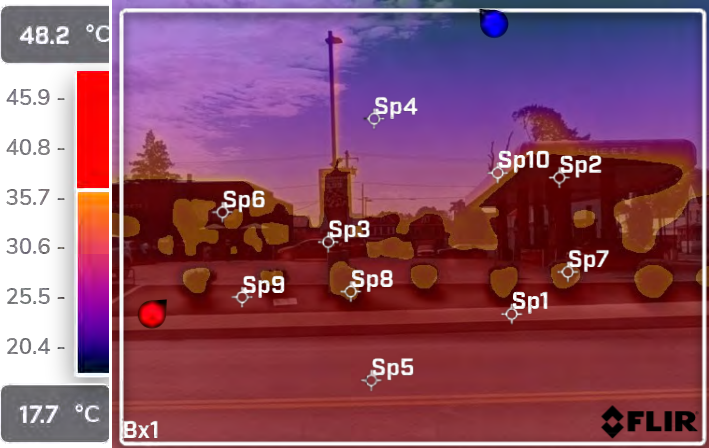
Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	46.4 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	50.2 °C
Med.	34.4 °C
Mín.	16.6 °C
Sp1	33.7 °C
Sp10	49.7 °C
Sp2	21.8 °C
Sp3	36.7 °C
Sp4	23.7 °C
Sp5	47.0 °C
Sp6	37.7 °C
Sp7	33.8 °C
Sp8	40.9 °C
Sp9	38.0 °C



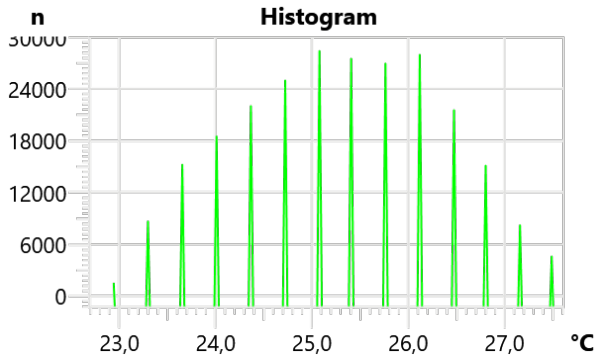
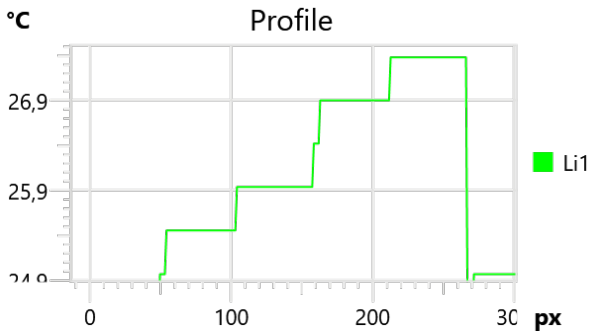


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T150043.jpg
Tamaño de archivo	1787 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.4 °C
Temp. máxima	48.8 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	46.1 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	48.8 °C
Med.	35.6 °C
Mín.	17.7 °C
Sp1	43.3 °C
Sp10	32.4 °C
Sp2	40.5 °C
Sp3	37.8 °C
Sp4	25.6 °C
Sp5	46.6 °C
Sp6	36.6 °C
Sp7	34.0 °C
Sp8	34.8 °C
Sp9	48.6 °C



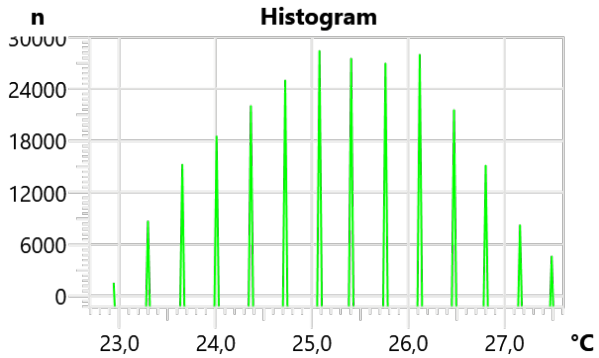
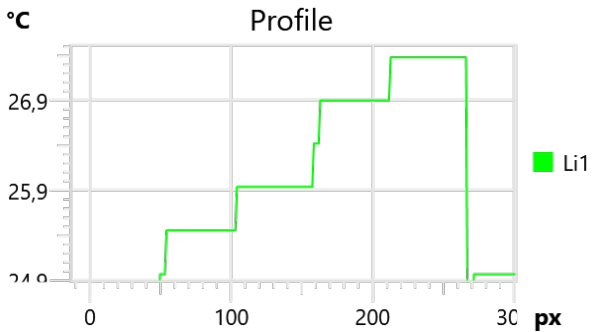


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T150219.jpg
Tamaño de archivo	1819 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.3 °C
Temp. máxima	47.8 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.8 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	47.8 °C
Med.	34.8 °C
Mín.	17.3 °C
Bx2	
Máx.	47.8 °C
Med.	34.9 °C
Mín.	17.7 °C
Sp1	42.0 °C
Sp10	36.6 °C
Sp2	26.4 °C
Sp3	37.9 °C
Sp4	24.6 °C
Sp5	45.6 °C
Sp6	39.1 °C
Sp7	36.7 °C
Sp8	36.7 °C
Sp9	39.8 °C





File information

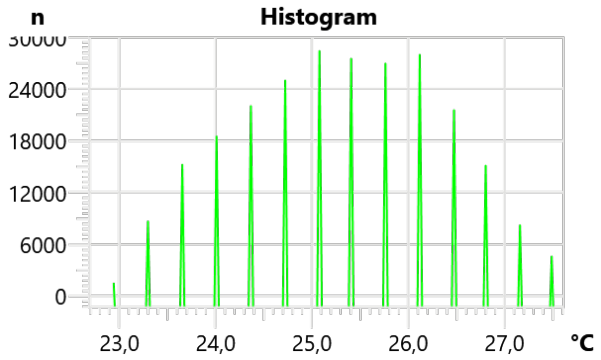
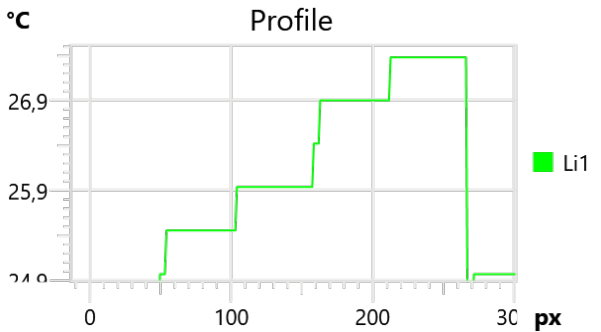
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T150343.jpg
Tamaño de archivo	1855 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.6 °C
Temp. máxima	51.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.4 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	51.3 °C
Med.	35.7 °C
Mín.	18.0 °C
Sp1	49.8 °C
Sp2	36.3 °C
Sp3	40.7 °C
Sp4	25.1 °C
Sp5	45.4 °C



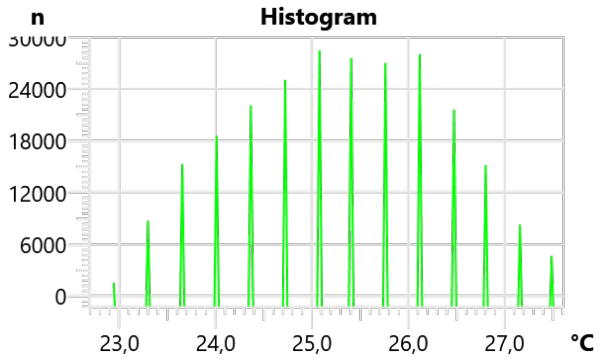
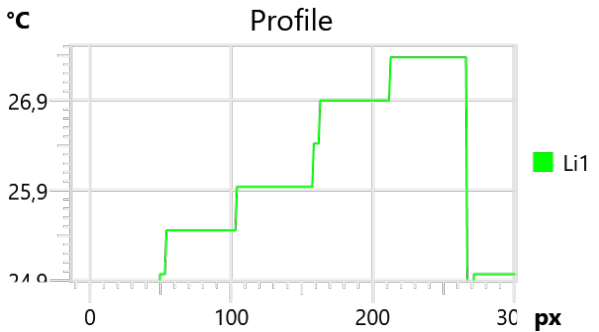


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T150348.jpg
Tamaño de archivo	1808 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.1 °C
Temp. máxima	51.0 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.3 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Sp1	50.9 °C
Sp10	39.3 °C
Sp2	36.0 °C
Sp3	40.1 °C
Sp4	24.7 °C
Sp5	45.4 °C
Sp6	32.9 °C
Sp7	33.3 °C
Sp8	42.8 °C
Sp9	42.8 °C





File information

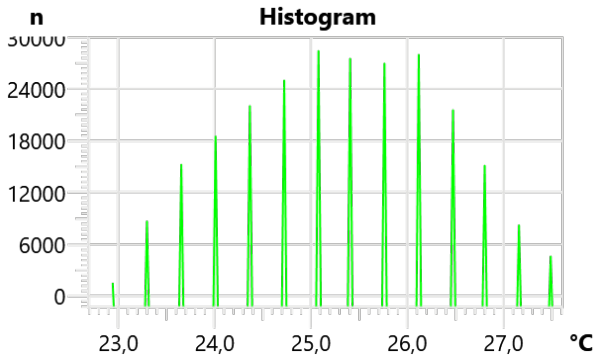
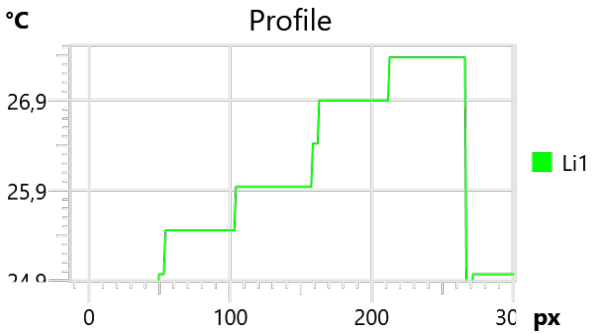
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T150520.jpg
Tamaño de archivo	1804 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.8 °C
Temp. máxima	47.5 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.4 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	47.5 °C
Med.	35.0 °C
Mín.	18.1 °C
Sp1	34.5 °C
Sp10	34.4 °C
Sp2	34.0 °C
Sp3	37.1 °C
Sp4	24.8 °C
Sp5	46.4 °C
Sp6	36.8 °C
Sp7	35.2 °C
Sp8	46.3 °C
Sp9	41.5 °C





File information

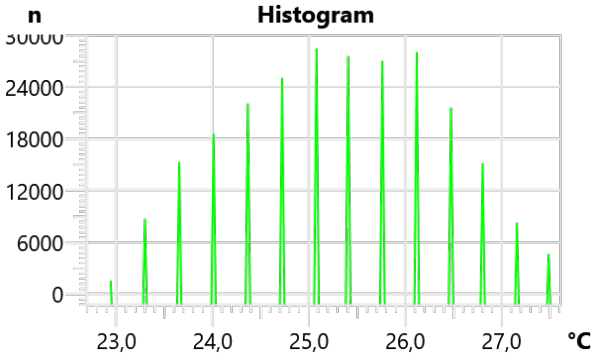
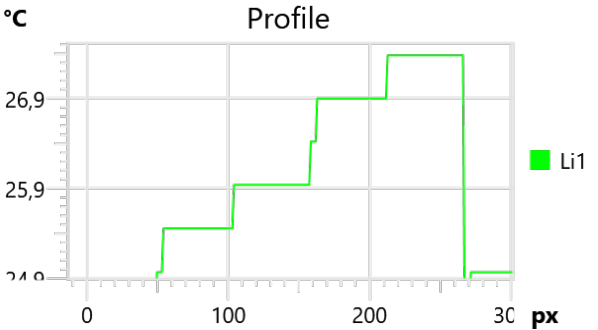
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T150634.jpg
Tamaño de archivo	1931 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.1 °C
Temp. máxima	49.5 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.1 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	48.9 °C
Med.	36.9 °C
Mín.	18.2 °C
Sp1	34.6 °C
Sp10	23.3 °C
Sp11	36.3 °C
Sp2	35.0 °C
Sp3	36.9 °C
Sp4	38.3 °C
Sp5	46.3 °C
Sp6	37.3 °C
Sp7	34.8 °C
Sp8	33.5 °C
Sp9	46.0 °C





File information

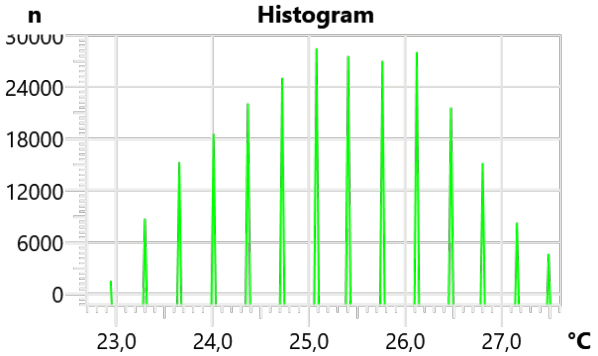
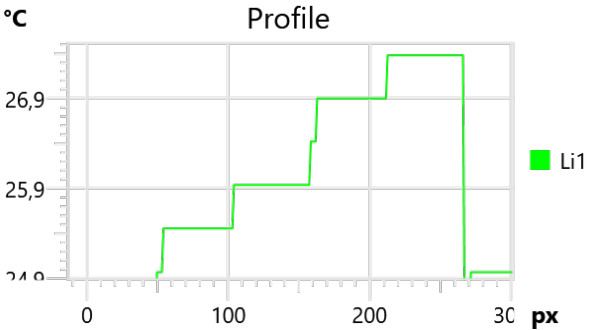
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T150830.jpg
Tamaño de archivo	1800 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.0 °C
Temp. máxima	46.9 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.8 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	46.9 °C
Med.	35.3 °C
Mín.	18.1 °C
Sp1	37.4 °C
Sp10	44.3 °C
Sp2	35.3 °C
Sp3	21.9 °C
Sp4	40.3 °C
Sp5	45.3 °C
Sp6	39.0 °C
Sp7	33.4 °C
Sp8	35.0 °C
Sp9	40.4 °C



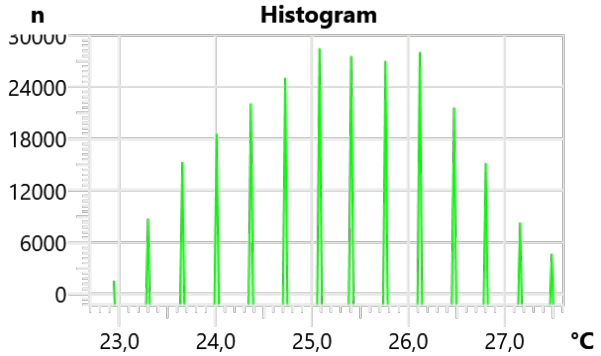
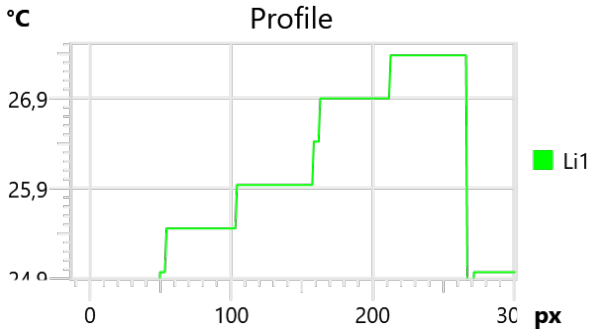


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T151003.jpg
Tamaño de archivo	1913 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	19.1 °C
Temp. máxima	48.1 °C

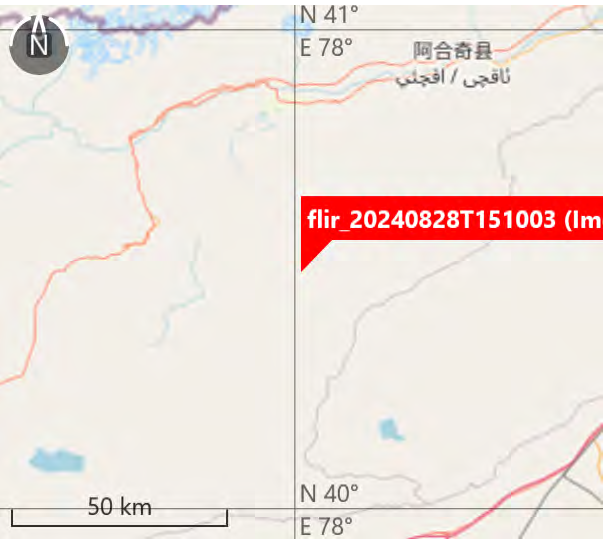
Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.1 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	47.9 °C
Med.	38.2 °C
Mín.	19.4 °C
Sp1	26.4 °C
Sp10	35.3 °C
Sp11	45.6 °C
Sp2	40.7 °C
Sp3	47.1 °C
Sp4	37.0 °C
Sp5	46.0 °C
Sp6	40.6 °C
Sp7	37.6 °C
Sp8	37.2 °C
Sp9	35.7 °C





File information

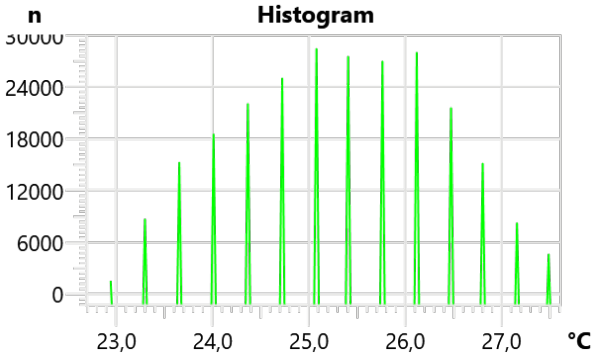
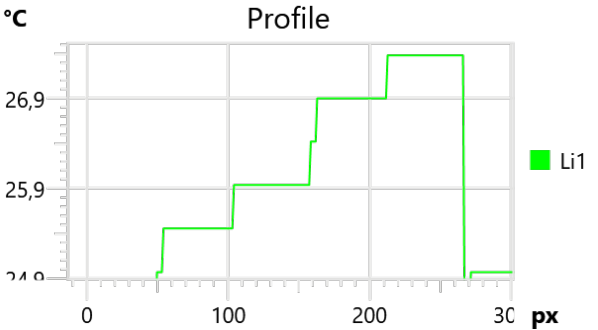
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T151149.jpg
Tamaño de archivo	1807 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.6 °C
Temp. máxima	49.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.6 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	49.3 °C
Med.	36.0 °C
Mín.	18.1 °C
Sp1	46.7 °C
Sp10	36.1 °C
Sp11	29.8 °C
Sp2	38.7 °C
Sp3	21.8 °C
Sp4	38.0 °C
Sp5	47.3 °C
Sp6	33.8 °C
Sp7	37.9 °C
Sp8	37.0 °C
Sp9	40.9 °C



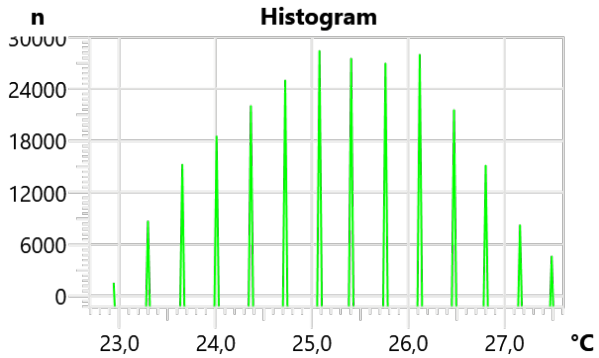
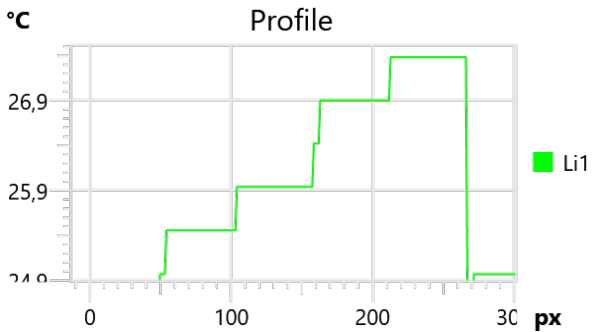


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T151343.jpg
Tamaño de archivo	1856 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	17.1 °C
Temp. máxima	53.2 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	46.4 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	53.2 °C
Med.	35.8 °C
Mín.	17.3 °C
Sp1	37.2 °C
Sp10	37.5 °C
Sp2	24.3 °C
Sp3	47.3 °C
Sp4	39.8 °C
Sp5	45.4 °C
Sp6	38.1 °C
Sp7	35.9 °C
Sp8	36.1 °C
Sp9	42.1 °C





File information

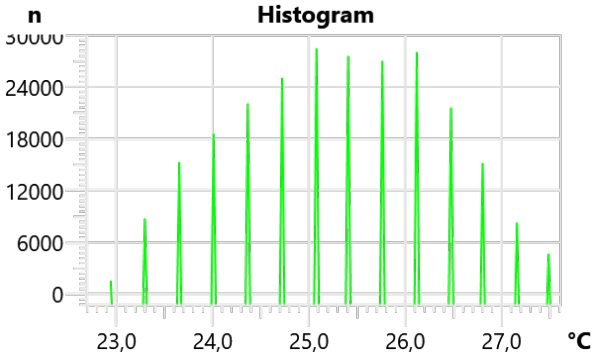
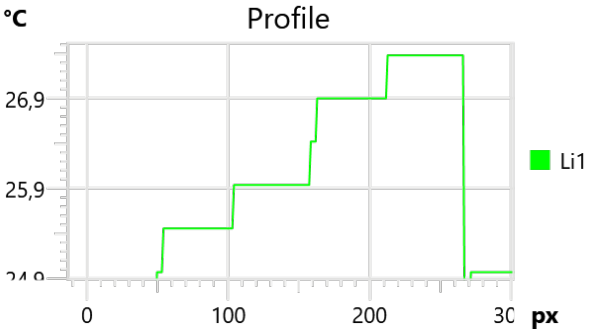
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T151521.jpg
Tamaño de archivo	1759 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	15.7 °C
Temp. máxima	51.1 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	46.5 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	51.1 °C
Med.	34.2 °C
Mín.	15.9 °C
Sp1	36.4 °C
Sp10	33.5 °C
Sp11	34.2 °C
Sp2	45.6 °C
Sp3	38.8 °C
Sp4	35.3 °C
Sp5	42.0 °C
Sp6	44.8 °C
Sp7	24.4 °C
Sp8	35.7 °C
Sp9	34.0 °C





File information

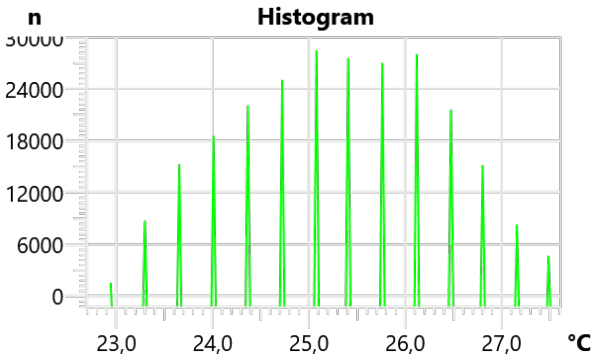
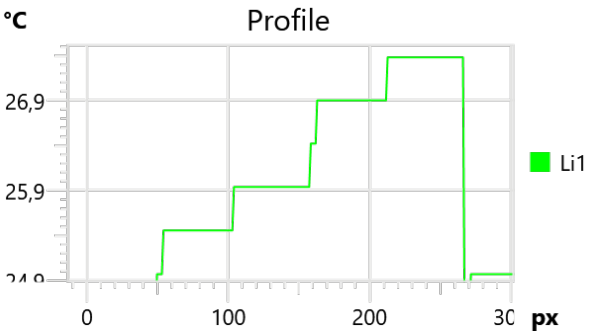
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T151715.jpg
Tamaño de archivo	2309 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	20.6 °C
Temp. máxima	48.6 °C

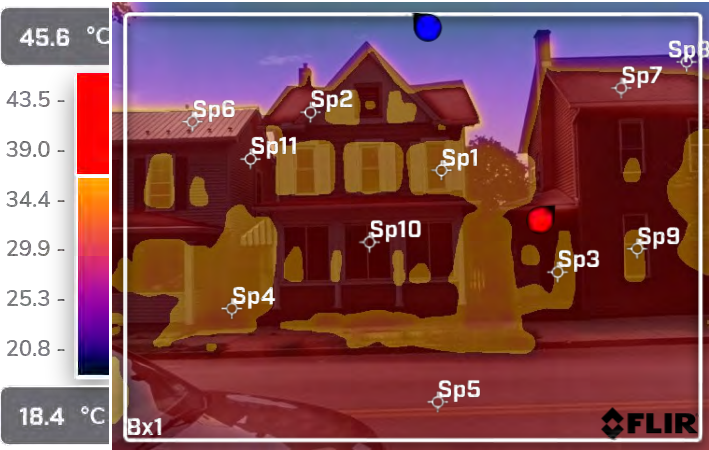
Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	46.3 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	48.6 °C
Med.	36.8 °C
Mín.	20.6 °C
Sp1	36.0 °C
Sp10	38.6 °C
Sp11	39.4 °C
Sp12	41.8 °C
Sp13	36.3 °C
Sp2	46.5 °C
Sp3	36.4 °C
Sp4	36.3 °C
Sp5	41.1 °C
Sp6	34.8 °C
Sp7	35.8 °C
Sp8	41.2 °C
Sp9	44.0 °C



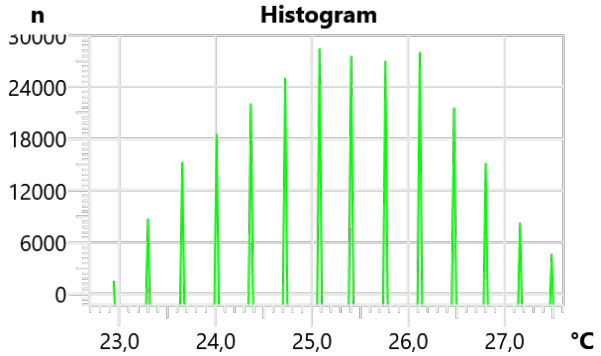
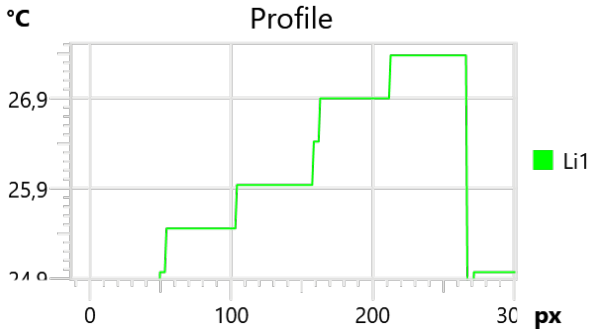


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T151844.jpg
Tamaño de archivo	1814 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.2 °C
Temp. máxima	46.2 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.6 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	46.2 °C
Med.	35.8 °C
Mín.	18.6 °C
Sp1	35.5 °C
Sp10	37.0 °C
Sp11	37.5 °C
Sp2	37.8 °C
Sp3	36.3 °C
Sp4	34.4 °C
Sp5	42.8 °C
Sp6	38.2 °C
Sp7	44.4 °C
Sp8	24.9 °C
Sp9	36.2 °C



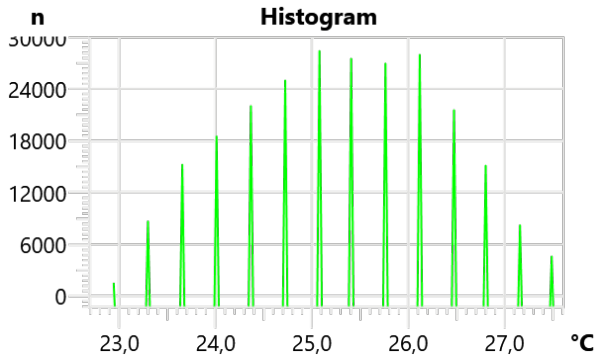
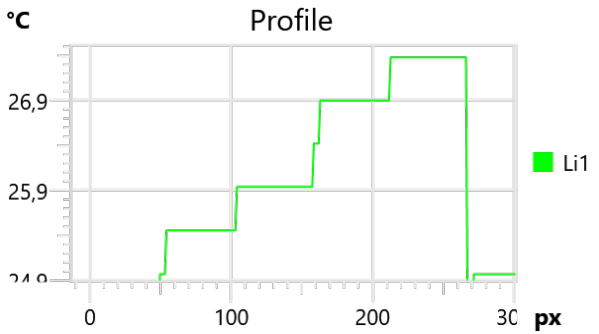


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T152021.jpg
Tamaño de archivo	1957 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.3 °C
Temp. máxima	47.2 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.4 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	47.2 °C
Med.	33.9 °C
Mín.	18.6 °C
Sp1	26.7 °C
Sp10	41.0 °C
Sp2	34.5 °C
Sp3	43.2 °C
Sp4	34.3 °C
Sp5	36.5 °C
Sp6	35.9 °C
Sp7	35.6 °C
Sp8	34.4 °C
Sp9	36.0 °C



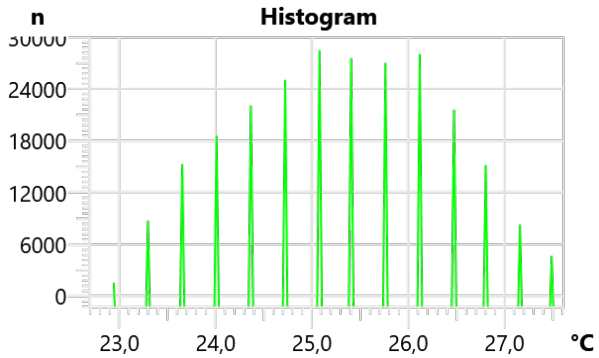
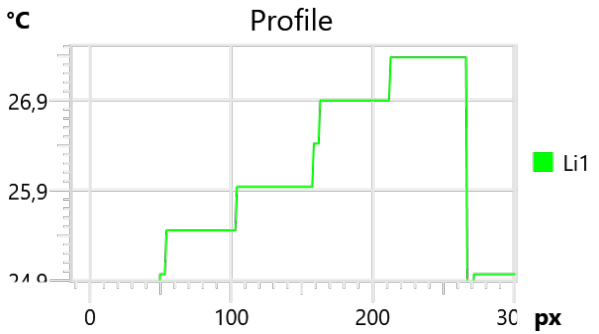


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T152216.jpg
Tamaño de archivo	2511 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	21.1 °C
Temp. máxima	43.5 °C

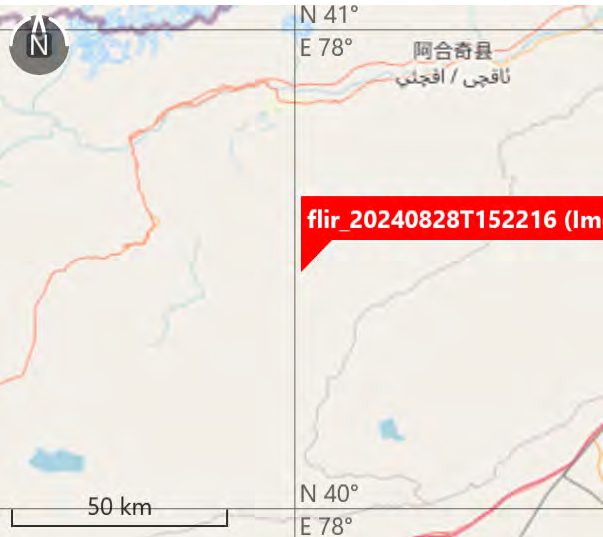
Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.8 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	43.0 °C
Med.	35.3 °C
Mín.	21.4 °C
Sp1	35.3 °C
Sp10	36.9 °C
Sp2	34.0 °C
Sp3	32.4 °C
Sp4	33.7 °C
Sp5	38.5 °C
Sp6	33.4 °C
Sp7	38.2 °C
Sp8	35.3 °C
Sp9	41.8 °C



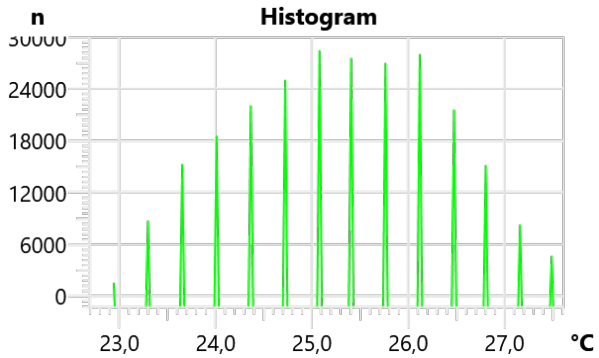
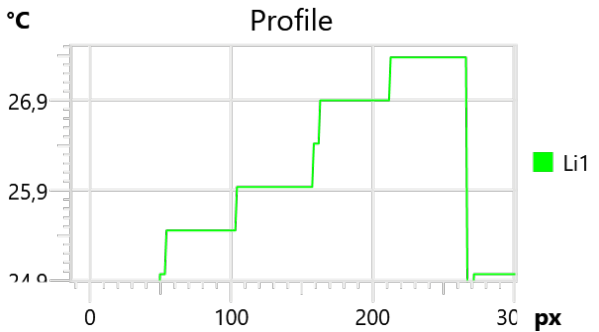


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T152403.jpg
Tamaño de archivo	2402 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	20.8 °C
Temp. máxima	47.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.7 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	47.2 °C
Med.	36.9 °C
Mín.	21.1 °C
Sp1	35.5 °C
Sp2	37.1 °C
Sp3	36.0 °C
Sp4	45.9 °C
Sp5	38.7 °C
Sp6	38.6 °C
Sp7	36.9 °C
Sp8	32.9 °C





File information

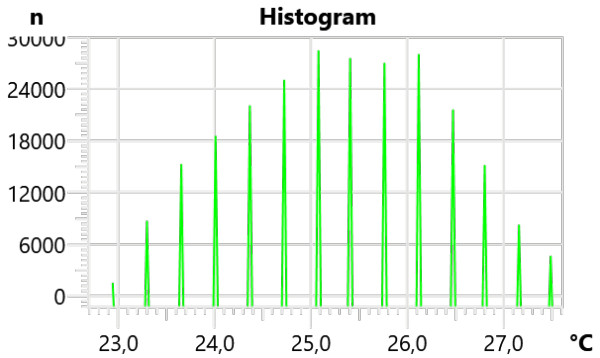
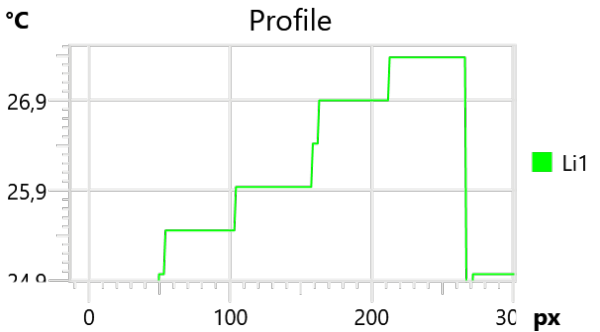
Fecha de creación	8/28/2024 2:47:50 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T144938.jpg
Tamaño de archivo	2254 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	22.5 °C
Temp. máxima	48.7 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	46.1 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	48.5 °C
Med.	37.8 °C
Mín.	23.9 °C
Sp1	37.5 °C
Sp10	37.7 °C
Sp2	36.2 °C
Sp3	32.7 °C
Sp4	41.6 °C
Sp5	47.0 °C
Sp6	33.1 °C
Sp7	40.7 °C
Sp8	41.4 °C
Sp9	44.6 °C



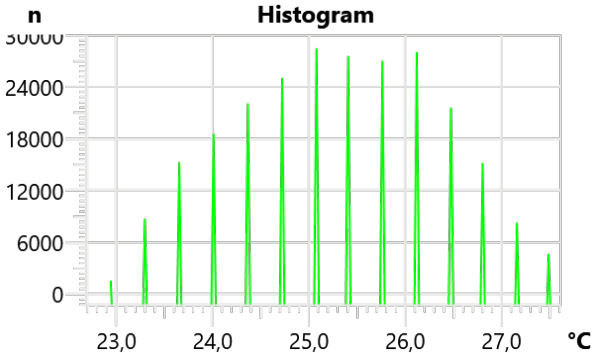
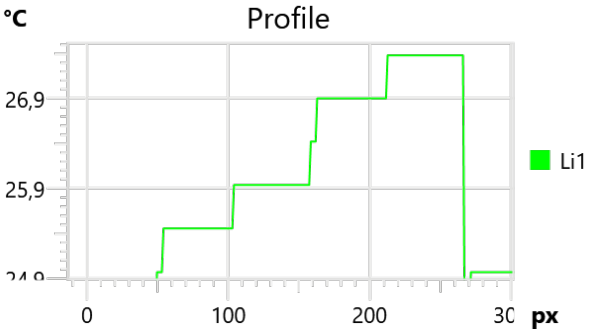


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T145106.jpg
Tamaño de archivo	2130 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	25.8 °C
Temp. máxima	50.2 °C

Parameters

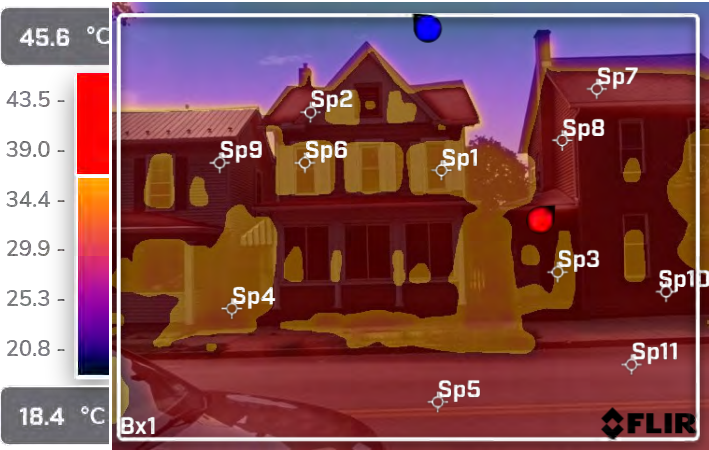
Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.7 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	50.2 °C
Med.	38.5 °C
Mín.	26.1 °C
Sp1	36.0 °C
Sp10	35.9 °C
Sp11	40.2 °C
Sp2	38.4 °C
Sp3	49.1 °C
Sp4	29.9 °C
Sp5	49.4 °C
Sp6	34.5 °C
Sp7	41.2 °C
Sp8	44.3 °C
Sp9	39.0 °C





File information

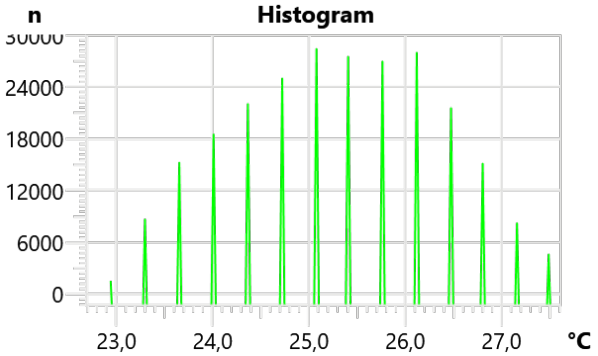
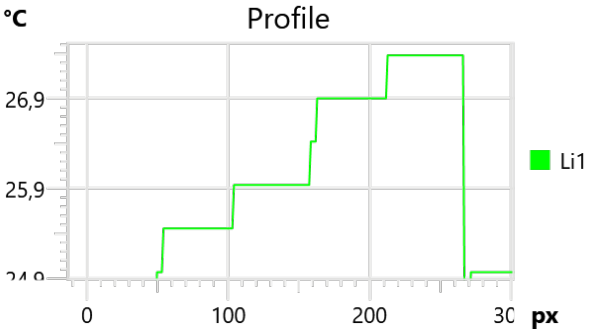
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T151844.jpg
Tamaño de archivo	1814 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.2 °C
Temp. máxima	46.2 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.6 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	46.2 °C
Med.	35.8 °C
Mín.	18.7 °C
Sp1	35.5 °C
Sp10	37.5 °C
Sp11	44.5 °C
Sp2	37.8 °C
Sp3	36.3 °C
Sp4	34.4 °C
Sp5	42.8 °C
Sp6	35.3 °C
Sp7	43.8 °C
Sp8	40.3 °C
Sp9	36.9 °C



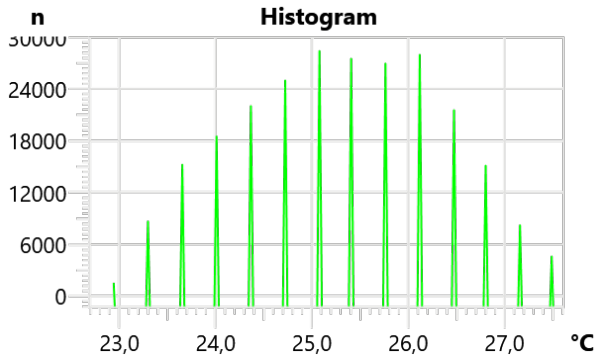
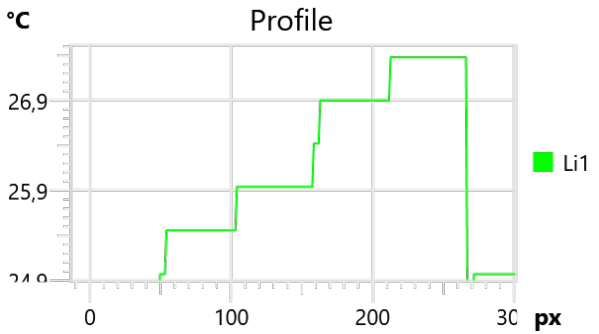


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T152021.jpg
Tamaño de archivo	1957 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	18.3 °C
Temp. máxima	47.2 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	45.4 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	47.2 °C
Med.	33.9 °C
Mín.	18.6 °C
Sp1	26.7 °C
Sp10	36.7 °C
Sp11	27.7 °C
Sp12	37.5 °C
Sp2	34.5 °C
Sp3	43.2 °C
Sp4	34.3 °C
Sp5	36.5 °C
Sp6	35.9 °C
Sp7	35.4 °C
Sp8	35.9 °C
Sp9	42.2 °C





File information

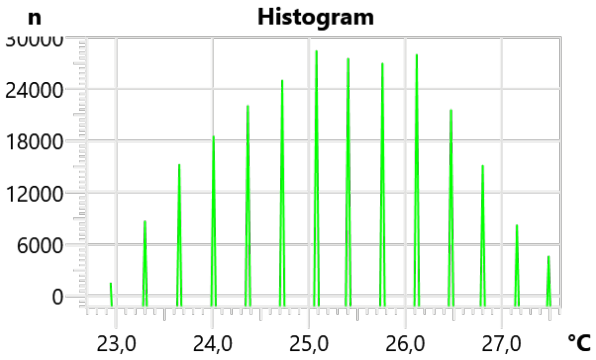
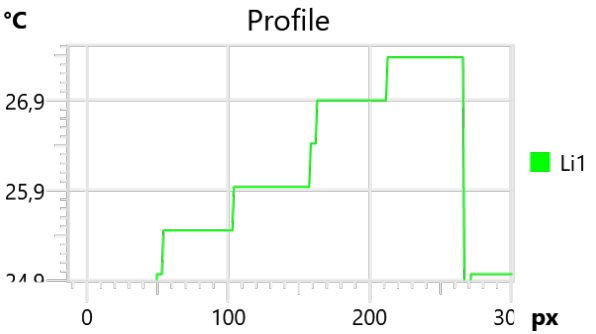
Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T152216.jpg
Tamaño de archivo	2511 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	21.1 °C
Temp. máxima	43.5 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.8 °C
Trans. óptica ext.	0.82

Measurements

Bx1	
Máx.	43.0 °C
Med.	35.3 °C
Mín.	21.6 °C
Sp1	35.3 °C
Sp10	34.0 °C
Sp2	34.0 °C
Sp3	32.4 °C
Sp4	33.7 °C
Sp5	38.5 °C
Sp6	36.8 °C
Sp7	38.4 °C
Sp8	42.1 °C
Sp9	33.2 °C



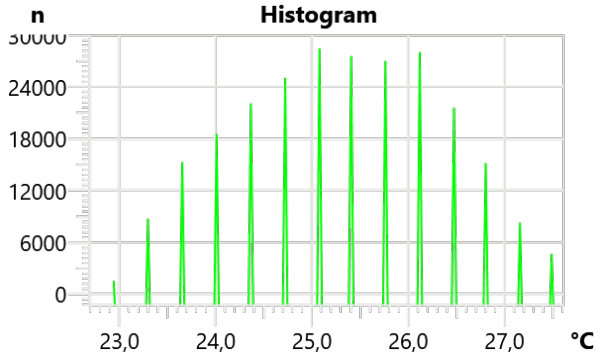
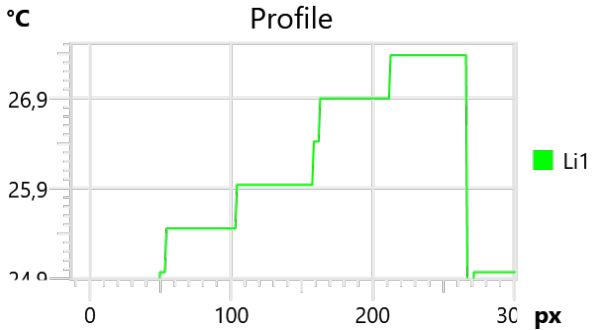


File information

Fecha de creación	8/28/2024 2:50:28 PM
Nombre de archivo	flir_20240828T152403.jpg
Tamaño de archivo	2402 KB
Anchura	640
Altura	480
Temp. mínima	20.8 °C
Temp. máxima	47.3 °C

Parameters

Emisividad	0.90
Temp. óptica ext.	44.7 °C
Trans. óptica ext.	0.82



Measurements

Bx1	
Máx.	47.2 °C
Med.	36.8 °C
Mín.	20.9 °C
Sp1	35.5 °C
Sp10	37.6 °C
Sp11	35.7 °C
Sp2	37.1 °C
Sp3	36.0 °C
Sp4	45.9 °C
Sp5	38.7 °C
Sp6	38.6 °C
Sp7	35.5 °C
Sp8	36.8 °C
Sp9	33.0 °C

