



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**
Facultad de Ingeniería Civil

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS PROFESIONAL:

**“ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA
MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO”**

Que para obtener el título de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA:

Ing. Luis Colín Velázquez

ASESOR:

Dr. Hugo Luis Chávez García

CO-ASESOR:

Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán

Morelia, Mich., noviembre 2020



MCIA
Maestría en Ciencias
en Ingeniería Ambiental
UMSNH



ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
DEDICATORIAS	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
I.- RESUMEN	xi
II.- ABSTRACT	xii
III.- JUSTIFICACIÓN	xiii
IV.- OBJETIVOS GENERALES	xvii
V.- OBJETIVOS PARTICULARES	xviii
VI.- HIPÓTESIS	xix
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- ESTADO DEL ARTE	3
3.-MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO	7
3.1.- CLIMATOLOGÍA URBANA	7
3.1.1- TEMPERATURA	8
3.1.2.- HUMEDAD ATMOSFÉRICA	8
3.1.2.1.- HUMEDAD ABSOLUTA.....	9
3.1.2.2.- HUMEDAD RELATIVA.....	10
3.1.3.- PUNTO DE ROCÍO	11
3.2.- CRECIMIENTO POBLACIONAL	11
3.2.1.- NIVEL DE URBANIZACIÓN EN AMÉRICA LATINA Y DEL CARIBE	13
3.3.- CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	15
3.3.1.- CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO	15
3.3.2.- CONTAMINACIÓN DEL AGUA	16
3.4.- BALANCE ENERGETICO SUPERFICIE URBANA	18
3.4.1.- TEMPERATURA ELEVADA Y GOLPE DE CALOR	21
3.5.- CARACTERISTICAS ZONA URBANA	22
3.5.1.- RUGOSIDAD URBANA	22
3.5.2.- CAÑON URBANO	25
3.5.3.- FACTOR DE VISIÓN DEL CIELO (sky view factor)	26
3.5.4.- ÍNDICE DE VEGETACIÓN	27



3.6.- TRANSFERENCIA DE CALOR.....	30
3.6.1.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN.....	31
3.6.2.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.....	32
3.6.3.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN.....	33
3.7.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	35
3.7.1.- EMISIVIDAD EN LA ZONA URBANA.....	35
3.7.2.- ALBEDO EN LA ZONA URBANA.....	36
3.7.3.- CONDUCTIVIDAD TÉRMICA MATERIALES.....	38
3.8.- ISLA DE CALOR URBANA	40
3.8.1.- CARACTERISTICAS DE LA ISLA DE CALOR URBANA.....	43
3.8.2.- ORIGEN DE LA ISLA DE CALOR URBANA.....	45
3.8.2.1.- FACTORES DE LA ISLA DE CALOR URBANA.....	46
3.8.2.2.- EFECTOS DE LA ISLA DE CALOR URBANO.....	50
3.8.3.- TIPOS DE ISLA DE CALOR URBANA.....	54
3.8.3.1.- ISLA DE FRÍO.....	54
3.8.3.2.- ISLA DE CALOR URBANA SUPERFICIAL.....	56
3.8.3.3.- ISLA DE CALOR URBANA ATMOSFÉRICA.....	56
3.8.4.- ESCALAS DE LA ISLA DE CALOR URBANA.....	57
3.8.4.1.- ESCALAS HORIZONTALES.....	57
3.8.4.2.- ESCALAS VERTICALES.....	57
4.-DESARROLLO EXPERIMENTAL	60
4.1.- ZONA DE ESTUDIO.....	60
4.1.1.- TERRITORIO.....	60
4.1.2.- POBLACIÓN.....	62
4.1.3.- CLIMA.....	65
4.1.4.- RECURSOS NATURALES.....	65
4.2.- ELABORACIÓN DE ESTACIONES METEOROLOGICAS	67
4.2.1.- CALIBRACIÓN DE SENSORES HOBOS.....	70
4.2.2.- UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES.....	72
4.2.3.- MONITOREO DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS.....	73
5.- RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	77
5.1. ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE ENERO	78
5.2.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL DE ABRIL.....	81
5.3.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE MAYO.....	82
5.4.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE JUNIO	85
5.5.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE JULIO	88
5.6.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE AGOSTO.....	91



*ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA
AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE
MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO*



5.7.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE SEPTIEMBRE	94
5.8.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE OCTUBRE	97
5.9.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE NOVIEMBRE.....	100
5.10.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE DICIEMBRE.....	103
5.11.- ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA	105
6.- CONCLUSIONES.....	107
8.- BIBLIOGRAFÍA.....	110



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Porcentaje de demanda de energía de aparatos electrónicos habitacionales.....	xiii
Ilustración 2: Ciudad de Morelia en 1964 (vista noroeste), zonas circundantes sin estructura urbana y suelos de siembra [3].....	xiv
Ilustración 3: Ciudad de Morelia en 1964 (vista sureste), zonas circundantes sin estructura urbana y suelo de cultivo	xv
Ilustración 4: Ciudad de Morelia 2020, en la actualidad, incremento de la zonas antropogénicas, crecimiento población y de la estructura urbana	xv
Ilustración 5: Incidencia de olas de calor por década en Estados Unidos y norte de México.....	2
Ilustración 6: Muestra diferencias promedio en las temperaturas mínimas, medias y máximas del aire (mostradas como una línea punteada, sólida y discontinua, respectivamente) entre Londres y la zona rural.....	3
Ilustración 7: Isotermas Gordon Manley, Izquierda: Isotermas de temperatura alrededor del mar de Gran Bretaña del mes de Febrero; Derecha: Isotermas de temperaturas promedio para Agosto (°F) [5]	4
Ilustración 8: Diferencia de la humedad en la atmósfera a menor y mayor temperatura, variación de la presión atmosférica.	9
Ilustración 9: Diagrama psicrométrico para determinar la humedad relativa (HR), la curva de saturación (línea verde) representa el 100% de humedad relativa.	10
Ilustración 10: Diagrama psicrométrico para el cálculo del punto de rocío (PR).....	11
Ilustración 11: Proyección de población urbana por continente [21].....	12
Ilustración 12: Porcentaje de la población que reside en zonas urbanas por región geográfica	13
Ilustración 13: Cifras en porcentaje de urbanización de las urbes más habitadas en 2017, México y el Caribe tienen las mayores tasas de crecimiento urbano [22].....	14
Ilustración 14: Diferencias absolutas de la población urbana 1990-2025	14
Ilustración 15: Grados de vulnerabilidad al cambio climático de acuerdo a la urbanización 1990-2025.....	16
Ilustración 16: Diferencias absolutas en el consumo del agua por estados 1990-2025 (litros/día) 17	
Ilustración 17: Balance energético, entrada, absorción y salida de radiación solar al planeta.	18
Ilustración 18: Ecuación del balance energético de la tierra, energía entrante y energía expulsada a la atmósfera.....	19
Ilustración 19: Radiación reflejada por las superficies urbanas de onda-corta y onda-larga, balance energético de la ciudad.....	21
Ilustración 20: Rugosidad aerodinámica de la zona urbana, circulación del viento en espacios entre calzada.....	23
Ilustración 21: Rugosidad Urbana por tipo de espacio.....	24
Ilustración 22: Cañón urbano con diferencia de anchos de calzada.....	25
Ilustración 23: Esquema general de las diferencias en la emisión de radiación de onda larga entre la ciudad y el medio rural por causa del factor de visión del cielo.	27
Ilustración 24: Espectroscopia de reflectancia rojo visible y espectroscopia de reflectancia en infrarrojo cercano: determinación de una planta saludable mediante NDVI [44].....	28
Ilustración 25: Proceso de transpiración a través de las hojas y evaporación del agua del tallo y del suelo: Evapotranspiración.....	29
Ilustración 26: Generalización de la segunda ley de la Termodinámica, flujo de calor Q.....	30



Ilustración 27: Esquematización de transferencia de calor en edificios, conducción, convección y radiación de onda corta y onda larga	31
Ilustración 28: Asociación de la transferencia de calor o energía por conducción mediante comunicación molecular	33
Ilustración 29: Diagrama del espectro electromagnético, mostrando el tipo, longitud de onda, frecuencia y temperatura de emisión en cuerpo negro.....	34
Ilustración 30: Emisividad térmica de materiales urbanos y rurales [49].....	36
Ilustración 31: Valores de Albedo en la zona urbana	37
Ilustración 32: Esquema general de la isla de calor de la zona rural y centro urbano.....	41
Ilustración 33: Intensidad, forma o configuración de la isla de calor y el máximo térmico.....	43
Ilustración 34: Factores incontrolables y controlables que afectan a la Isla de Calor Urbana [56].	46
Ilustración 35: Zonas urbanas altamente desarrolladas que se caracterizan por superficies de 75%-100% impermeables, tienen menos humedad superficial disponible para la evapotranspiración que la cubierta natural del suelo que tiene menos del 10% de cobertura impermeable.	47
Ilustración 36: Geometría del cañón urbano	49
Ilustración 37: Consumo de energía eléctrica por sectores en México (%) [64].....	51
Ilustración 38: Generación de energía eléctrica en México, Diciembre del 2011 (Elaboración propia)	52
Ilustración 39: Comparación de defunciones registradas por temperaturas extremas por grupos de edad, temporada de calor 2019-2020 hasta la semana 13 [67].....	53
Ilustración 40: Temperatura en presencia de sombra, de área verde localizada dentro de la ciudad	54
Ilustración 41: Temperatura de zona urbana con área verde, donde se identifica la isla de frío....	55
Ilustración 42: Capas límites verticales del clima urbano.....	59
Ilustración 43: Imagen satelital del Municipio de Morelia y los municipios colindantes [74].	61
Ilustración 44: Población por localidad en el municipio de Morelia.....	63
Ilustración 45: Población Total de 2010 de Morelia Michoacán [74]	63
Ilustración 46: Densidad de población 2010 (hab/km ²) del estado de Michoacán [74]	64
Ilustración 47: Mapa de número de flora y fauna endémica del municipio de Morelia	66
Ilustración 48: a) Perforación de orificios para los tornillos de sujeción, b) Platos de estación perforados para tornillos.....	67
Ilustración 49: Porta-Hobo, con tapa de frasco para protección del equipo.....	68
Ilustración 50: Colocación del Hobo en el plato de melamina.....	68
Ilustración 51: Perforación circular al centro del plato, con diámetro de 3".....	68
Ilustración 52: Separadores de platos utilizando pedazos de manguera y taparrosas	69
Ilustración 53: Armado y sujeción de las estaciones	69
Ilustración 54: Cruceta de acero inoxidable soldada a tornillos de sujeción de estaciones.	70
Ilustración 55: Colado de vigas con concreto de 250 kg/cm ²	70
Ilustración 56: Sensor HOBO empleado en la investigación [78]	71
Ilustración 57: Software de descarga y almacenamiento de datos capturados por sensor HOBO.	71
Ilustración 58: Configuración de los sensores con intervalos de 1 minuto.....	72
Ilustración 59: Calibración de los sensores, con separación de entre 5 y 10 cm.....	72
Ilustración 60: Monitoreo de la estación, se giran las mariposas para levantar el plato número 1.	74
Ilustración 61: Segundo plato en el que se encuentra el HOBO, se retira para su monitoreo	74



Ilustración 62: Datos guardados en el HOBO (Temperatura, Intensidad de luz, Punto de rocío, % humedad relativa).....	75
Ilustración 63: Grafica obtenida por el Software BoxCar Pro 4, donde se grafican los datos obtenidos de los parámetros climáticos.....	75
Ilustración 64: Datos convertidos de .dtf a .xlsx para su administración y organización.....	76
Ilustración 65: Mapa de temperaturas promedio para el mes de Enero, isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.....	78
Ilustración 66: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de enero.....	79
Ilustración 67: Mapa de temperaturas promedio para el mes de Abril, isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.....	81
Ilustración 68: Mapa de temperatura promedio para el mes de mayo, con isotermas de del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.....	82
Ilustración 69: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Mayo.....	83
Ilustración 70: Mapa de temperatura promedio para el mes de junio, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.....	85
Ilustración 71: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Junio.....	86
Ilustración 72: Mapa de temperatura promedio para el mes de julio, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.....	88
Ilustración 73: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Julio.....	89
Ilustración 74: Mapa de temperatura promedio para el mes de agosto, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.....	91
Ilustración 75: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Agosto.....	92
Ilustración 76: Mapa de temperatura promedio para el mes de septiembre, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.....	94
Ilustración 77: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Septiembre.....	95
Ilustración 78: Mapa de temperatura promedio para el mes de octubre, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.....	97
Ilustración 79: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Octubre.....	98
Ilustración 80: Mapa de temperatura promedio para el mes de noviembre, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.....	100
Ilustración 81: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Noviembre.....	101
Ilustración 82: Mapa de temperatura promedio para el mes de diciembre, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.....	103
Ilustración 83: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Diciembre.....	104
Ilustración 84: Principios básicos de materiales fríos y su influencia en la temperatura de la superficie.....	106



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Vulnerabilidad de población por altas temperaturas [16].-----	8
Tabla 2: Tasas de crecimiento de urbanización del mundo [20]-----	12
Tabla 3: Valores típicos de coeficiente de convección h -----	32
Tabla 4: Coeficiente de conductividad térmica para materiales de construcción-----	40
Tabla 5: Diferencia entre la ciudad-entorno de los principales elementos urbano-ambientales-----	45
Tabla 6: Habitantes en las principales localidades del municipio de Morelia [74]-----	62
Tabla 7: Clima en la Ciudad de Morelia, Michoacán-----	65
Tabla 8: Localización geográfica de las estaciones propuestas-----	73



DEDICATORIAS

A las maravillosas personas que me dieron la vida:

Luis Colín Soto. Gracias por cada esfuerzo, cada sacrificio, cada desvelo que hiciste por mí, hoy todo tu trabajo se ve reflejado en esta carrera, la cual representa mucho sacrificio de la familia, Gracias papá por todo tu apoyo durante toda mi vida de estudiante sin ti y sin tu apoyo nada de esto hubiera sucedido, gracias por confiar en mí, por creer que tenía la capacidad de salir adelante, que tenía las ganas de estudiar, antes de venir a estudiar la universidad me preguntaste que si era lo que quería y yo muy confiado te conteste que sí, hoy te confirmo aún más que esto era lo que quería. ¡Has sido, eres y serás un gran ejemplo para mí, quiero que sepas hoy lo importante que eres para mí, TE ADMIRO PAPÁ! Y si no lo sabías hoy es un buen momento para que lo sepas, gracias por enseñarme tantas cosas, aún recuerdo esos domingos en que teníamos que levantarnos temprano a lavarle la ropa a mí mamá y dejarle la comida hecha para que nos dejara ir a jugar. ¡Hoy ese niño ha crecido y hoy se podrá decir con mucho gusto que ese niño es INGENIERO!

Yesenia Velázquez Torres: Gracias mamá por tanto esfuerzo desde que era todo un bebé y no te dejaba dormir, por tu amor y por cada vez que te preocupaste por mí, por el apoyo que me dabas cada que empezaba algo nuevo, siempre me pediste que confiara en mí y hoy confió más que nunca en mí y en todo lo que soy capaz de hacer. Gracias mamá por hacer de mí un hombre de bien, por enseñarme a ser humilde, sencillo y sobre todo agradecido, gracias por ser mamá y papá cuando no estaba con nosotros mi papá, hiciste un buen trabajo, tan bueno que somos personas de bien, trabajadores y que si algún día falta algo en casa salir a buscarlo para que a la familia no le falte nada. Debo decirte que siempre contarás conmigo, siempre cuidare de tí. ¡TE ADMIRO MAMÁ!

A mis hermanos **Marco Antonio, Rodrigo y Johanna Mavemi**, gracias por todo su apoyo, por su cariño y su amor, gracias por cada momento de alegría, por compartir cada momento especial conmigo, hoy es un día para festejar, espero ser un gran ejemplo a seguir, no quiero que sean como yo quiero que sean aún mejor, mi flaquita hermosa, mi princesa eres la alegría de mi vida y de la familia.

Hoy en día no descansa solo con la licenciatura y con el afán de seguir siempre adelante dando lo mejor de mí y saber de lo que soy capaz, ahora lo que jamás pensé ni imagine, tengo una maestría.

¡Familia Colín Velázquez gracias por ser la fortaleza ante momento difíciles, gracias por ser el apoyo cuando las cosas no salían bien, gracias por TODO!

“De oficio carpintero, de profesión ingeniero civil y de corazón humilde”



AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar hasta este momento y mantener la calma ante situaciones difíciles, ánimos para no desistir, por darme fuerzas de seguir adelante aun a pesar de las circunstancias.

A la virgen de Guadalupe, a la cual le tengo una enorme fé, por ser mi compañera en la soledad y por tantas cosas.

Agradezco enormemente a mis padres por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, a mis hermanos, quienes me han fortalecido con palabras de aliento y por ser mis amigos. ¡GRACIAS!

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por formarme como profesional. A la Facultad de Ingeniería Civil, la cual siempre llevare en mi corazón. Al Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”, departamento de Resistencia de Materiales, Corrosión y a todo su personal, por brindarme las instalaciones, material y equipo necesario para el desarrollo de la presente investigación.

A mi asesor, el Dr. Hugo Luis Chávez García, por todo su apoyo, sus consejos y sus enseñanzas.

Al M.A. Wilfrido Martínez Molina, quien fue mi tutor, mi profesor y amigo, por las oportunidades que me dio, por confiar en mí, por sus consejos, a la Doctora Elia Mercedes Alonso Guzmán, por sus valiosas aportaciones, sus consejos, sus enseñanzas, por creer que estoy para grandes cosas, usted me dio confianza, me enseñó a creer en mí y a no conformarme con tan poquito.

¡A Sandy, Noel y Berna, quienes me apoyaron desde que llegue al laboratorio, por ser un apoyo incondicional, por sus enormes consejos, por sus indicaciones, por explicarme con manzanitas en procedimientos que no entendía, Gracias por todo!

Le agradezco a la maestra Maybelin Carolina por todas sus aportaciones en esta investigación, por hacer las clases de la maestría mucho más amenas, por reír conmigo de todo sin sentido, pero siempre felices de la vida, por compartir conmigo experiencias que se quedan grabadas en el corazón y una bella amistad.

Al maestro Víctor Hugo Blancas, compañero tesista de maestría, por esas platicas y consejos que siempre nos hacían el día, por su apoyo incondicional en el proyecto.

Un agradecimiento especial a P.I.C. Deyvi David por su apoyo condicional en este proyecto dando su servicio social, pero siempre al pie del caño aportando ayudando sin importar el calor que hubiera o la hora que fuera siempre estuvo apoyando el proyecto y fue parte fundamental para que la investigación se llevara a cabo.



*ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA
AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE
MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO*



Al Doctor Habid Becerra Santacruz, por sus grandes aportaciones en el proyecto, por hacernos el favor de prestarnos los sensores HOBOS para poder realizar las lecturas, por su valioso tiempo en analizar los resultados y por el interés mostrado en la presente investigación.

A la persona que durante dos años y medio estuvo conmigo, compartiendo la etapa difícil antes de entrar a la maestría, por estar en el hospital día y noche cuando me estaban operando y ella solo esperaba que saliera bien de la operación, estuvo antes y estuvo durante los dos años de la maestría, fue una gran participe de la investigación ayudando en la elaboración de las estaciones y también en la recopilación de datos de cada edificio, fue la persona que consiguió el permiso para la catedral, hoy aunque tal vez ya no está a mi lado siempre le estará muy agradecido por todo el apoyo que me brindo cuando lo necesite y más en la investigación presentada y sabe que ocupa un gran espacio en mi corazón.

A CONACYT por financiar la investigación y por la beca asignada a mi persona durante los dos años de la maestría y que se ve reflejado en el presente trabajo.



I.- RESUMEN

El clima y la ubicación geográfica, son características que determinan la vida vegetal y animal de diferentes zonas, además influyen en la creación de microclimas que afecta el confort de sus habitantes. Debido a la urbanización y desarrollo económico acelerado gran parte de la población actual habita en asentamientos urbanos, lo que genera que en las ciudades exista un cambio en el medio ambiente y por consiguiente una modificación del microclima urbano, estas son las formas de una transformación del paisaje y no solo de la morfología del terreno, sino también de las condiciones climáticas y ambientales de zonas urbanas. Con el uso de materiales de construcción en la creación de infraestructura, redes viales, el alto consumo de combustible y la radiación solar, ha generado un balance de radiación entre el suelo y el aire, como consecuencia se reduce la evapotranspiración, la escorrentía superficial ha incrementado y disminuye la velocidad del viento; causando un cambio térmico del área urbana con respecto al área circundante, este fenómeno se conoce como Isla de Calor Urbano (ICU). El fenómeno de la ICU es actualmente estudiado en las grandes ciudades debido a las afectaciones que tiene sobre el microclima y se ve reflejado en el aumento del consumo energético, la calidad de vida, aumento en la temperatura superficial e incremento de enfermedades asociada a cambios climáticos etc. La presente investigación se enfocará en estudiar y analizar primeramente la existencia de la ICU, posteriormente en localizar las zonas críticas donde los materiales de construcción tienen influencia directa en el incremento de temperatura de la zona centro de la ciudad de Morelia, el área de referencia es el bosque Cuauhtémoc ubicado dentro de la ciudad.

Palabras clave: Urbanización, confort, temperatura, isla de calor



II.- ABSTRACT

The climate and geographical location are characteristics that determine the plant and animal life of different areas, also influence the creation of microclimates that affect the comfort of its inhabitants. Due to urbanization and accelerated economic development, a large part of the current population lives in urban settlements, which generates that in cities there is a change in the environment and consequently a modification of the urban microclimate, these are the forms of a transformation of the landscape and not only of the morphology of the land, but also of the climatic and environmental conditions of urban areas. With the use of construction materials in the creation of infrastructure, road networks, the high consumption of fuel and solar radiation, it has generated a radiation balance between the ground and the air, as a consequence evapotranspiration is reduced, surface runoff has increased and decreased wind speed; causing a thermal change of the urban area with respect to the surrounding area, this phenomenon is known as Urban Heat Island (UHI). The phenomenon of the ICU is currently studied in large cities due to the effects it has on the microclimate and is reflected in the increase in energy consumption, quality of life, increase in surface temperature and increase in diseases associated with climate changes etc. This research will focus on studying and analyzing first the existence of the ICU, later on locating the critical areas where construction materials have a direct influence on the increase in temperature of the downtown area of the city of Morelia, the reference area is the Cuauhtémoc forest located within the city.

Key words: Urbanization, comfort, temperature, heat island



III.- JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales efectos de la urbanización de las ciudades y del crecimiento poblacional es el aumento de calor local, debido a que existe un incremento de áreas urbanas mismas que desencadenan impactos sobre el medio ambiente; esto no solo atribuye a modificaciones en zonas naturales, sino que también afecta de manera directa el clima local, es decir se altera el clima de una determinada área. Por otra parte, la urbanización requiere mayor demanda de insumos de agua y energía (Ilustración 1).

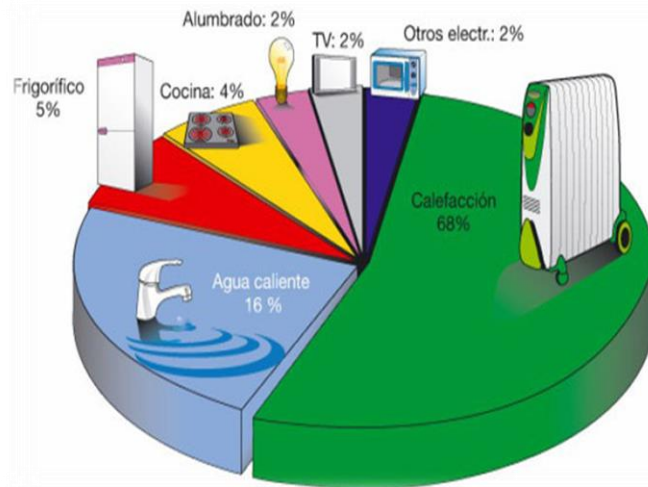


Ilustración 1: Porcentaje de demanda de energía de aparatos electrónicos habitacionales

Las construcciones de las ciudades juegan un papel importante, ya que son una de las principales causas de incremento de calor, en comparación con las áreas circundantes que cuentan con mayor cobertura vegetal, a lo que se le conoce como Isla de Calor Urbana (ICU), generado por superficies antropogénicas que constituyen las calles, los andenes, los edificios, los techos, zonas industriales, etc. debido al cambio de uso de suelo, cambio de permeabilidad de la superficie y a las actividades cotidianas de los habitantes de la ciudad; además del incremento de quema de grandes cantidades de combustible.



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO



Las islas de calor urbanas son estudiadas en países desarrollados por los efectos nocivos sobre la población, impactando principalmente en la salud de las personas, el bienestar y el confort, originando condiciones sociales y económicas desfavorables. El incremento de la temperatura en áreas urbanas genera el desarrollo de nuevas enfermedades infecciosas y que las existentes sean aún más ofensivas para el ser humano [1]. Además de los seres humanos la flora y fauna sufre diversos cambios, afectando sus ciclos de crecimiento, reproducción y distribución [2].

La ciudad de Morelia ha experimentado modificaciones dentro de su entorno natural, que en décadas anteriores eran áreas verdes con uso de suelo específico. Debido al crecimiento urbano y poblacional afecto las zonas circundantes, con el transcurrir de los años se ha cambiado por estructuras antropogénicas y como consecuencias desarrolla menor permeabilidad, provocando disminución de la evapotranspiración, menor cantidad de áreas verdes y una mayor vulnerabilidad frente a fenómenos naturales como escorrentía, encharcamientos, inundaciones e incremento de temperatura (Ilustración 2).



Ilustración 2: Ciudad de Morelia en 1964 (vista noroeste), zonas circundantes sin estructura urbana y suelos de siembra [3]



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO



Las áreas verdes circundantes al primer cuadro de la ciudad que en el año 1964 existían permitían mantener, conservar y regularizar la temperatura de la ciudad (Ilustración 3), un alto porcentaje eran áreas de cultivo que posteriormente fueron desaparecieron en consecuencia del crecimiento poblacional, la mancha urbana se incrementó sin control, tanto que a la actualidad existe una conurbación con otros municipios y por ende una enorme disfunción de áreas verdes, lo que ha incrementado en menos cultivos, un incremento de la temperatura regional y microclima de la zona específica.



Ilustración 3: Ciudad de Morelia en 1964 (vista sureste), zonas circundantes sin estructura urbana y suelo de cultivo



Ilustración 4: Ciudad de Morelia 2020, en la actualidad, incremento de las zonas antropogénicas, crecimiento población y de la estructura urbana

La capital Michoacana ha sufrido un incremento de temperatura en la zona centro de la ciudad en diferencia con las zonas rurales que aun existente en las áreas circundantes presentando así el fenómeno de Isla de Calor Urbana (ICU), un fenómeno poco estudiado en el estado y de gran afectación para la población en general, provocando enfermedades como deshidratación, infecciones estomacales y estrés a la hora pico en el tráfico, además de modificaciones en la vida de las plantas y animales de la zona ya que se afecta su ciclo de vida y en el ciclo del agua por la disminución de la evapotranspiración, infiltración del agua al subsuelo y



*ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA
AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE
MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO*



modificación de la escorrentía (Ilustración 4). Al incrementarse la temperatura local, el uso de mecanismos de enfriamiento es una opción practica para regularizar el clima de las habitaciones, oficinas, centros comerciales etc. lo que genera un alto porcentaje de energía eléctrica.



IV.- OBJETIVOS GENERALES

Obtener la isla de calor de la zona de estudio para generar un modelo que nos permita identificar las zonas donde las propiedades térmicas de los materiales de construcción tengan una influencia directa en el incremento de temperatura.



V.- OBJETIVOS PARTICULARES

- Obtener datos térmicos de los materiales de construcción en la zona de estudio.
- Determinar la temperatura de la zona centro de la ciudad y de la zona de referencia (área verde).
- Modelar gráficamente la isla de calor de la zona de estudio en los meses del año e identificación de zonas de confort mensuales de la ciudad.



VI.- HIPÓTESIS

A través de un modelado gráfico es posible obtener las zonas más críticas de la ciudad donde los materiales tienen mayor influencia en el incremento de temperatura.



1.- INTRODUCCIÓN

La relación existente entre los seres humanos y su entorno natural es un punto de máxima importancia, ya que representa un enigma ante el cambio climático y ante las condiciones de confort de la sociedad para desempeñar sus actividades cotidianas. Uno de los principales factores que se aluden a este intercambio es el cambio térmico, debido a una mayor emisión de gases efecto invernadero y algunos factores antropogénicos como lo son: el crecimiento poblacional, las actividades económicas, el exceso de consumo de energía, estilo de vida y una serie de acciones que afectan la temperatura de la zona, simplemente para el año 2013 la temperatura de la Ciudad de México presentó un incremento de 1°C con respecto a años anteriores, mientras que el promedio de la temperatura global sufrió un aumento de 0.5°C, Si se sigue la tendencia de calentamiento para el año 2100 la temperatura será 4°C mayor con respecto a la actual.

Los entornos naturales han sido sustituidos por estructuras urbanas, mismas que generan una alteración notable en la climatología global y local de un área. Desde hace varios años atrás se descubrió que efectivamente existe un cambio de temperatura entre las zonas urbanas y las rurales circundantes dentro de una misma región climática, fenómeno llamado como Isla de Calor Urbana (ICU) o Urban Heat Island (UHI) en 1958 por Gordon Manley. Aunque se sabe que la ICU se presenta especialmente en escala regional y local, una alta densidad urbana y suelo altamente modificado artificialmente por materiales de construcción, ocasionan que la ICU tenga una mayor intensidad para que el calor liberado a la atmósfera aporte a las variaciones climatológicas globales relacionadas con el cambio climático.

Una estrategia aún vigente para conocer la intensidad de la Isla de Calor Urbana, es la estimación de las diferencias termométricas de una zona rural y otra urbana, los cuales deben cumplir con las condiciones descritas por Lowry (1977), referidas a la localización de las zonas comparables en términos geográficos y de climatología regional, para así determinar el efecto urbano. Las reglas descritas por



Lowry permiten estimar el efecto urbano y la máxima intensidad con la que se presenta

La Isla de Calor Urbana (ICU) es uno de los fenómenos más estudiados de la modificación climática dentro de zonas urbanas, tanto que hay una variedad de investigaciones enfocadas a este fenómeno.

A consecuencia de la crisis energética en los años 70 del siglo XX nace la preocupación por el efecto que tiene el espacio construido con fines de reducción de la contaminación y una conservación energética.

Hoy en día, el principal problema es el efecto invernadero, los temas de sostenibilidad de los espacios, la ecología, la urbanización, la contaminación ambiental, el calentamiento global, las olas de calor etc. Que preocupan a la población por los eventos continuos, anteriormente eran muy pocos mencionados, pero en la última década la incidencia de las olas de calor se han incrementado considerablemente y se prevé que para décadas posteriores su incidencia sea cada vez más continua (Ilustración 5).

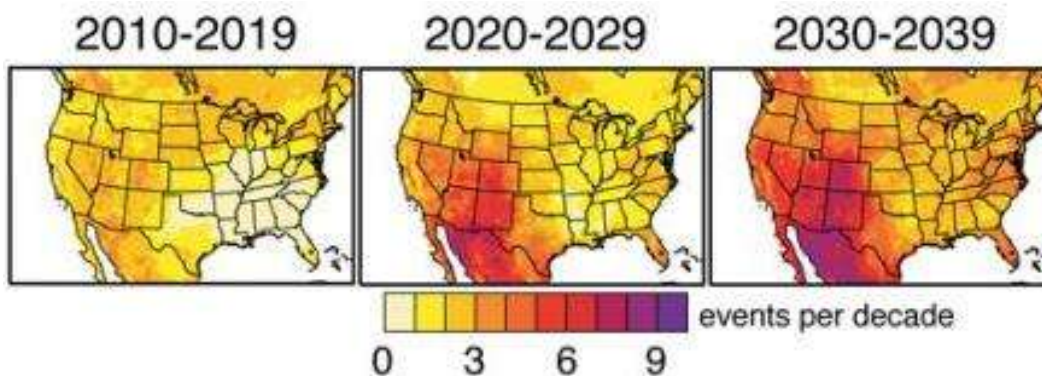


Ilustración 5: Incidencia de olas de calor por década en Estados Unidos y norte de México



2.- ESTADO DEL ARTE

En 1817 Luke Howard's [4] fue el primer investigador en descubrir la modificación térmica de una ciudad, señalando que una ciudad urbanizada en su centro urbano tendrá temperaturas más altas que sus alrededores, debido a su estructura, cantidad de población y la quema de grandes cantidades de combustibles. Mantuvo una estación meteorológica dentro de Londres y otra a las afueras de la Ciudad, registrando diariamente la temperatura del aire, la presión atmosférica, la precipitación, la velocidad y dirección del viento, durante un lapso de 26 años. Howard's logro identificar que las temperaturas de la zona rural son menores en comparación con las de la zona urbana y lo denominó "artificial excess of heat" (Ilustración 6).

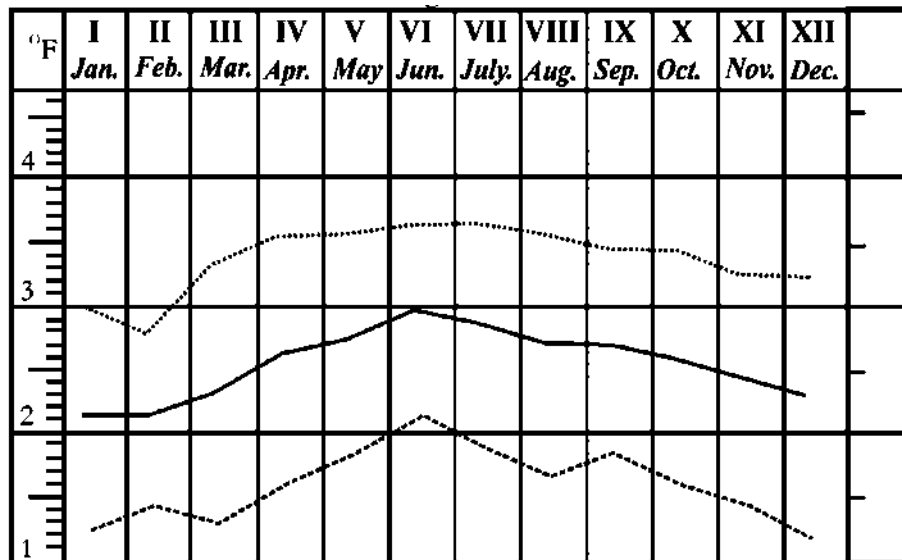


Ilustración 6: Muestra diferencias promedio en las temperaturas mínimas, medias y máximas del aire (mostradas como una línea punteada, sólida y discontinua, respectivamente) entre Londres y la zona rural.

Para 1958 climatólogo inglés Gordon Manley nombro a esta modificación térmica por vez primera como "Isla de Calor Urbana" (Urban Heat Island) en alusión a su representación en mapa de isotermas que se distribuyen concéntricamente (Ilustración 7).

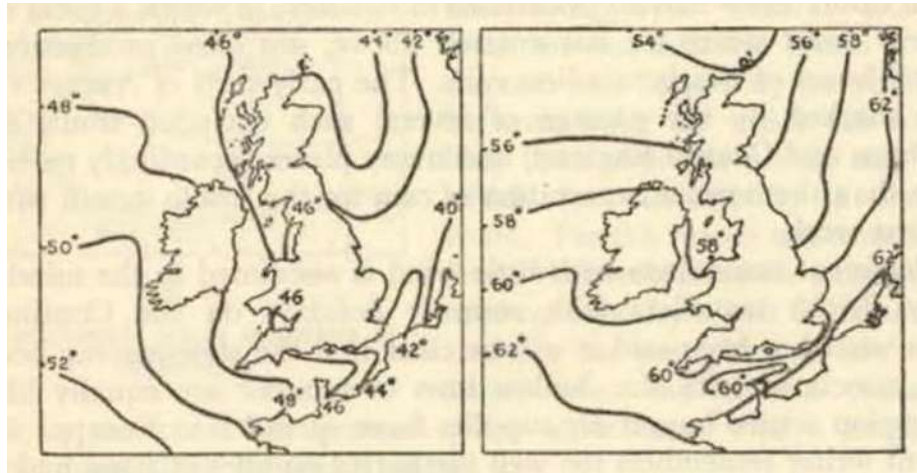


Ilustración 7: *Isotermas Gordon Manley, Izquierda: Isotermas de temperatura alrededor del mar de Gran Bretaña del mes de Febrero; Derecha: Isotermas de temperaturas promedio para Agosto (°F)* [5]

En la Ciudad de Tarragona, España, Brunet [6] estudio en 1992 una comparación de datos de temperaturas mínimas y máximas diarias del periodo de 1960 y 1984, registrados en dos zonas, uno en el centro de la Ciudad y el otro en el aeropuerto de Reus. En general se muestra que durante el día se registran diferencias no tan notables entre las zonas de estudio, cuestión que cambio al atardecer, donde el área urbana (centro de la ciudad) registra valores térmicos más elevados en comparación con la zona del aeropuerto de Reus, donde se observa la existencia de la ICU y su carácter nocturno.

Enric Ramiro en el año 2006 [7] realizo un trabajo con alumnos de secundaria que radica en la aplicación didáctica que propone y la experiencia en Ciencias Naturales en la pequeña ciudad de Algemesí a 32 km de Valencia, se diseñaron 18 puntos de medición distribuidos por la ciudad mediante el estudio de la morfología urbana y los elementos singulares de la ciudad. Se recopiló los datos térmicos de los puntos establecidos en tres momentos diferentes del día (17h, 23h y 5h). Los resultados registrados detectaron una ICU a las 17 h, cuyo núcleo térmico se ubica en el centro histórico de la ciudad con una intensidad de 3.2°C, en los datos obtenidos a las 23h se observa un desplazamiento del centro térmico hacia el norte de la ciudad donde se ubican las industrias y complejos habitacionales, con una diferencia de



temperatura de 4°C. Se idéntica una ICU a las 17h y una a las 23h, siendo está la que tiene una mayor intensidad térmica y con una ubicación diferente.

En el año del 2007 Quereda [8] estudio el efecto de la ICU en la ciudad de Castellón situada a 70 km de Valencia, analizando las temperaturas medias, máximas y mínimas en un lapso de agosto de 2003 al mes de septiembre del 2006 de 3 estaciones meteorológicas automáticas, ubicadas una en el área urbana, en la periferia de la ciudad y una marítima. Existe una diferencia de 2.5°C en la temperatura media entre las estaciones urbana y marítima, en verano se registran diferencias de hasta 5°C entre las dos estaciones, tales incrementos de temperatura se originan por zonas que anteriormente eran rurales y han sufrido alguna modificación debido a crecimiento de las ciudades.

Konstantinos Gobakis [9] en la investigación en Atenas en el año 2011 empleo el método de red neuronal (*network neural*) basado en datos de 14 estaciones meteorológicas durante un año (abril 2009 a mayo 2010) para el estudio de la Isla de Calor Urbana. A partir de los datos obtenidos y para comprobar la predicción de la intensidad de la ICU utilizan 3 técnicas de redes neuronales (Cascada, Elman y Feed-Forward). Los resultados indican que se pueden realizar predicciones de 24 h de la intensidad de la ICU, de igual manera se indica que el método de red neuronal de predicción es una herramienta para predecir las necesidades de energía durante días cálidos colaborando a una adecuada gestión de las demandas y generación de energía.

En el 2011 Giannopoulou [10] estudio las características estivales de meses de junio, julio y agosto del 2019, mediante un registro de datos a cada 15 minutos de 25 estaciones meteorológicas, realizan una división en cinco zonas geográficas (centro, norte, este, sur y oeste) que permita identificar fácilmente las zonas con mayor intensidad de temperatura. Se detecta que la zona del este donde se encuentra la ciudad industrial y la zona del centro de la ciudad registran las máximas



intensidades con valores de hasta 5°C, las zonas con intensidades más bajas están a norte y al este de la ciudad.

En el mismo año (2011) Keramitsoglou [11] analizó la isla de calor superficial del área metropolitana de Atenas mediante imágenes satelitales del MODIS de un periodo de 9 años (2000-2009) donde se estudian 3041 imágenes (1085 diurnas y 1956 nocturnas). Con las imágenes se realizan mapas de temperaturas de los suelos (Land Surface Temperature, LTS) y se examinan las isothermas de calor (hot-spots) del que se observan 3 polos durante el día, que se encuentra en áreas industriales y con poca vegetación con una intensidad media en verano de 9°C-10°C y una máxima de 17°C.

Para el año del 2015 Kourtidis [12] interpretó la ICU a través de una evolución horaria durante un periodo del 15 al 31 del mes de julio del 2019, combina datos registrados por 26 estaciones meteorológicas y el análisis de imágenes satelitales, obteniendo una cartografía de la evolución espaciotemporal de la ICU.



3.-MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO

3.1.- CLIMATOLOGÍA URBANA

Debido al proceso de urbanización y desarrollo económico del pasado a la actualidad, existe una transformación del paisaje natural, pero no solo del uso de suelo sino de una modificación en las condiciones climáticas y ambientales, es de máxima importancia el estudio medio físico de las ciudades en específico por el clima urbano. La importancia de estudios del clima urbano radica básicamente en las regiones urbanas debido a que la mayor parte de la población habita en esta área, regiones constituidas por climas particulares [13].

Las principales consecuencias son las superficies impermeables que resultan de la urbanización lo que aumenta considerablemente las descargas máximas de eventos naturales (lluvia, granizo etc.) a lo que se vuelve perceptible a inundaciones agua abajo, disminución de infiltración y acumulación de granizo [14]. Además de contaminantes que se generan en las superficies urbanas degradan las características biológicas, químicas y físicas de los lagos, arroyos y estuarios que reciben la escorrentía urbana lo que provoca un cambio del hábitat acuático y terrestre [15].

El clima urbano repercute en la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, debido a las alteraciones de los materiales de la superficie y modificaciones en el clima local, principalmente cambia la cantidad de radiación solar reflejada y absorbida lo que implica cambios de temperatura y humedad.

El interés generado por el estudio del clima urbano ha logrado el surgimiento como una ciencia, la cual conlleva aspectos importantes de muchas disciplinas, como la climatología, la contaminación atmosférica, geografía, arquitectura, la ingeniería civil, planificación urbana e ingeniería ambiental; que tiene sus inicios a principios del siglo XIX y su estudio se enfoca en el efecto climático de las zonas urbanas y la planificación de ciudades.



3.1.1- TEMPERATURA

Para evaluar la vulnerabilidad ante el aumento de la temperatura en escenarios de cambio climático, el cual es útil para advertir a la población del riesgo de afectaciones a la salud, de ondas de calor, olas de calor, golpes de calor, incendios forestales y sequías, se diseñó un indicador de altas temperaturas de acuerdo a la clasificación de SEDATU (20014) (Tabla 1) donde establece que una temperatura mayor a los 35°C representa un límite superior a la tolerancia para la salud de la población, además de afectaciones en la comodidad, derivado de una generación de golpes de calor y aumento de enfermedades [16].

Tabla 1: Vulnerabilidad de población por altas temperaturas [16].

CLASE	TEMPERATURAS	AFECTACION	VULNERABILIDAD
1	< 28°C	Ninguna	No vulnerable
2	28 - 31 °C	Incomodidad	La evapotranspiración de los seres vivos se incrementa. Aumenta dolores de cabeza en humanos.
3	31.1 - 33 °C	Incomodidad extrema	La deshidratación se torna evidente. Las tolveneras y la contaminación por partículas pesadas se incrementan, presentándose en ciudades.
4	33.1 – 35 °C	Condición de estrés	Las plantas comienzan a evapotranspirar con exceso y se marchitan. Los incendios forestales aumentan.
5	>35 °C	Límite superior de tolerancia	Se producen golpes de calor, con inconciencia en algunas personas. Las enfermedades aumentan.

3.1.2.- HUMEDAD ATMOSFÉRICA

Uno de los principales elementos del planeta tierra es el agua, es fundamental para la biósfera por su sustento alimenticio y un medio de vida para millones de especies. El vapor de agua, es el gas resultante del proceso de evaporación, en la que un elemento químico, cambia su estado físico de líquido a gaseoso.



La humedad atmosférica o humedad del aire se define como la cantidad o volumen de vapor de agua que existe en la atmósfera. Depende directamente de la temperatura, de forma que la humedad aumenta en temperaturas elevadas y viceversa. Este vapor de agua llega a la atmósfera mediante el proceso natural de evaporación y proviene principalmente de los cuerpos de agua naturales (océanos, lagos, ríos, mares y glaciares) y del fenómeno de evapotranspiración del suelo y áreas verdes naturales [17] (Ilustración 8).

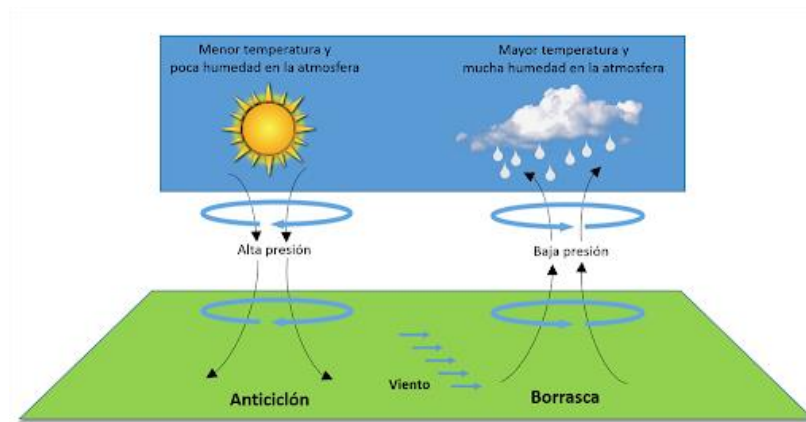


Ilustración 8: Diferencia de la humedad en la atmósfera a menor y mayor temperatura, variación de la presión atmosférica.

3.1.2.1.- HUMEDAD ABSOLUTA

Es la masa total de agua existente en el aire por unidad de volumen y se expresa en gramos por metro cúbico de aire (gr/m^3) representado por (Y_a). Su variación durante el día es directa con la variabilidad de la temperatura, al incrementarse la temperatura aumenta la evaporación y en consecuencia el flujo de vapor del agua liberado hacia la atmósfera. Por tanto, para calcular la humedad relativa:

$$Y_a = Y_m \left(\frac{\text{Moles de vapor}}{\text{Moles de gas seco}} \right) * \frac{M_A \left(\frac{\text{masa de vapor}}{\text{Moles de vapor}} \right)}{M_S \left(\frac{\text{Masa de gas seco}}{\text{moles de gas seco}} \right)} \quad (1)$$



3.1.2.2.- HUMEDAD RELATIVA

Por término medio la humedad relativa en las zonas urbanas se reduce en un 5%, pero en noches despejadas y en calma puede llegar a 20 y 30%. En esta disminución se estima la influencia de la isla de calor y también la baja evapotranspiración. Se define como el porcentaje de la presión de vapor de saturación que representa la presión de vapor real, en palabras concretas es la relación de la cantidad de humedad contenida en un espacio dado y la capacidad de ese espacio de contener humedad como si estuviera saturado. La humedad relativa se obtiene con la siguiente ecuación:

$$HR = \frac{P_A}{P_{VA}} * 100 \quad (2)$$

En el diagrama psicrométrico (Ilustración 9) se representa mediante curvas que van de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, no tiene unidades de medida, por tanto, se considera en por ciento (%). La curva de saturación principal representa el 100% de humedad relativa [18].

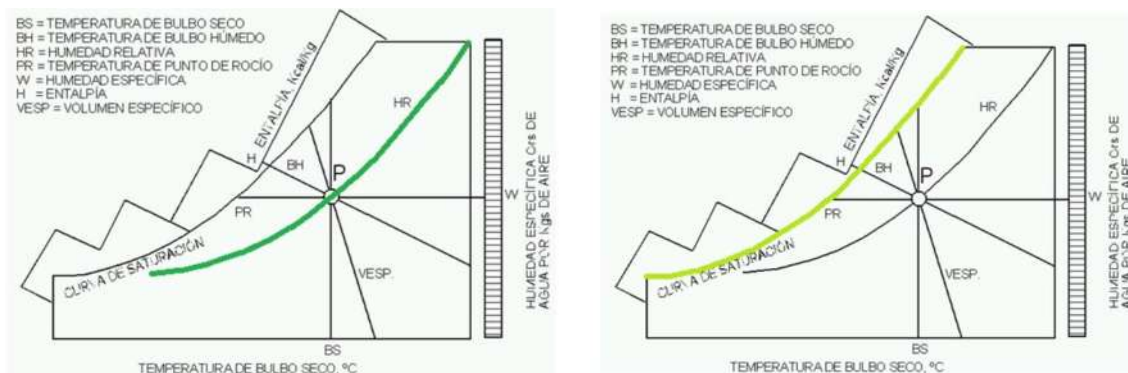


Ilustración 9: Diagrama psicrométrico para determinar la humedad relativa (HR), la curva de saturación (línea verde) representa el 100% de humedad relativa.



3.1.3.- PUNTO DE ROCÍO

Se define como la temperatura a la cual una mezcla gaseosa de vapor y gas seco se logra saturar cuando se enfría (cuando disminuye la temperatura) a presión total constante sin contacto con el líquido, se calcula a partir de un diagrama psicrométrico (Ilustración 10) donde se prolonga una línea horizontal por el punto dado hasta la curva de saturación y se verifica su proyección en el eje de las abscisas, el resultado es la temperatura a la que el aire debe ser enfriado para que comience a condensar el valor de agua contenido y se mide en grados centígrados (°C).

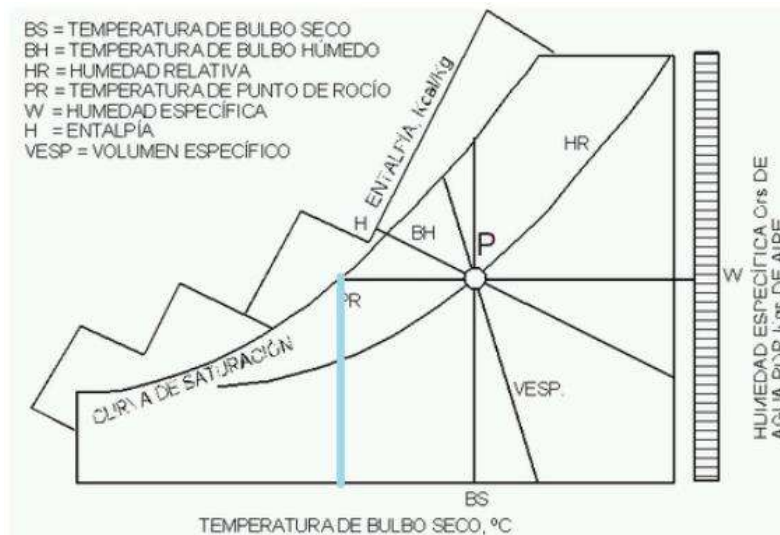


Ilustración 10: Diagrama psicrométrico para el cálculo del punto de rocío (PR).

3.2.- CRECIMIENTO POBLACIONAL

El crecimiento de las zonas urbanas ha sido considerable del siglo XIX al siglo XXI, en el siglo pasado la mayor parte de la población humana se desarrollaba en zonas rurales, la población urbana era del 2% del total de la población, pero del año 2008 a la fecha la mitad de la humanidad se concentra en asentamientos urbanos, siendo el crecimiento de las zonas urbanizadas un factor importante en el desarrollo.



Ha sido tan significativa la urbanización que para el año 1800, tan solo el 2% de la población habitaba las ciudades, mientras que para el año 1900 aumento al 12%. Estudios de la actualidad indican que para 2030 la población que habite zonas urbanas alcance el 75% [19].

La urbanización es un fenómeno mundial que tiene un comportamiento diferente en diversas partes del mundo, América, Europa y Rusia su población urbana es superior al 70 %, mientras para Asia y África el nivel de urbanización es menor a la media mundial [20] (Ilustración 11).

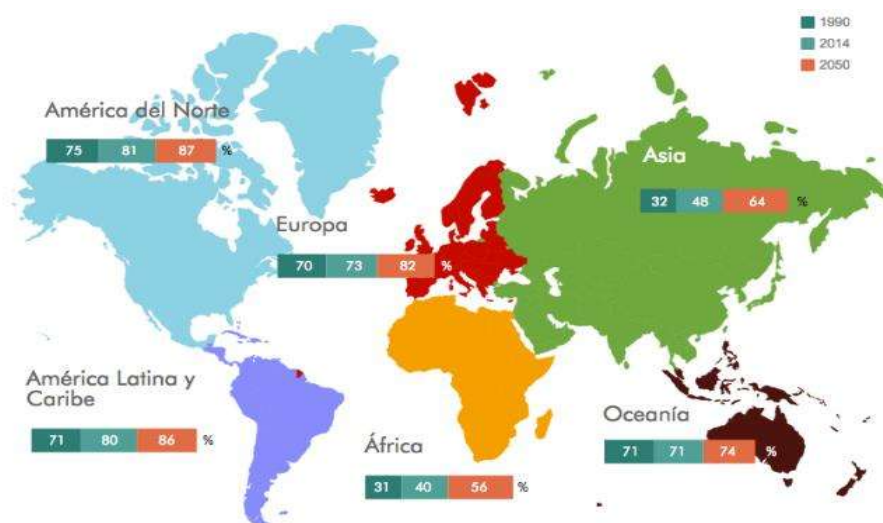


Ilustración 11: Proyección de población urbana por continente [21]

Si la intensidad del comportamiento de urbanización sigue la misma tasa de crecimiento para el año 2030 los porcentajes de zonas urbanas serán muy considerables para países desarrollados, como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 2: Tasas de crecimiento de urbanización del mundo [20]

Tasa de urbanización (en %)	1950	1975	2003	2030
Mundo	29.1	37.3	48.3	60.8
Países desarrollados	52.5	67.2	74.5	81.7



Países en desarrollo	17.9	26.9	42.1	57.1
-----------------------------	------	------	------	------

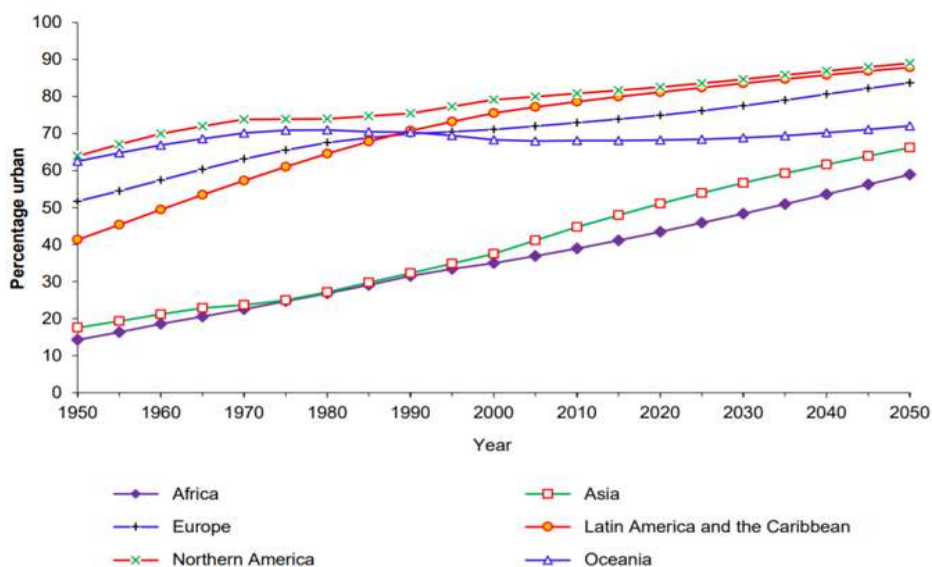


Ilustración 12: Porcentaje de la población que reside en zonas urbanas por región geográfica

3.2.1.- NIVEL DE URBANIZACIÓN EN AMÉRICA LATINA Y DEL CARIBE

En análisis estadístico para el año 1950 los países más poblados de América Latina y del Caribe tienden a ser los más urbanizados que los que contaban con menos población. Brasil era el país con mayor espacio territorial y con un total de población de 54 millones de habitantes, su área urbana era de 36%; en segundo lugar, México con 28 millones de habitantes y una superficie urbana del 43%.

Para el año 2018 la población de México aumento a 131 millones y se estima que el 80% de los habitantes vivían en asentamientos urbanos; mientras que Brasil el país más grande de la región se mantuvo en primer lugar, considerando que el 87% de los 211 millones de habitantes residían en asentamientos urbanos (Ilustración 13). Esto a diferencia de los demás países de América Latina y del Caribe con más de 2 millones de habitantes eran más del 50% urbanos y la mediana de la región se incrementó al 73.5% de zonas urbanas.

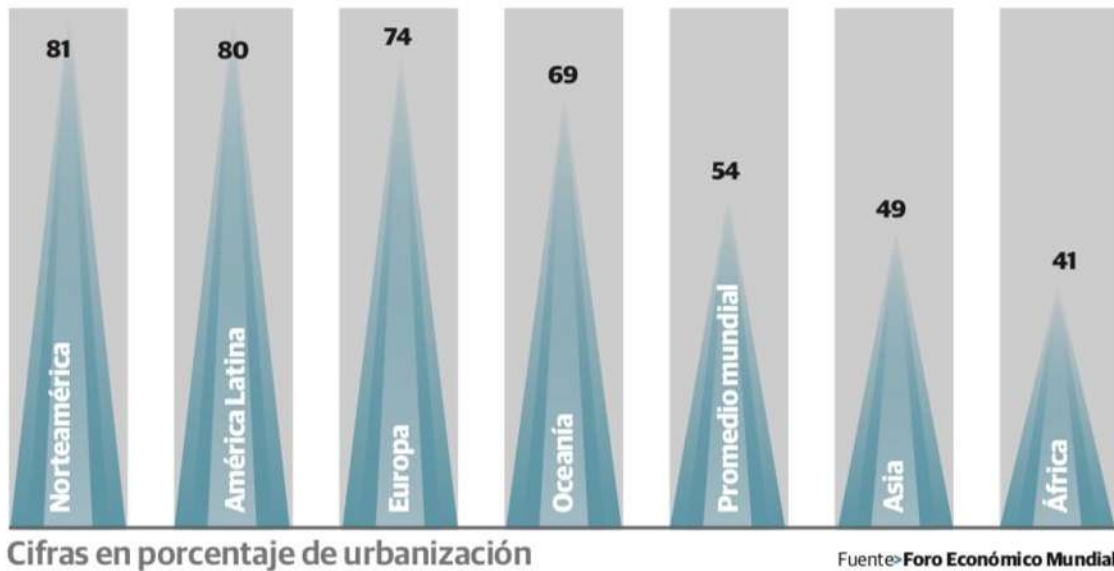


Ilustración 13: Cifras en porcentaje de urbanización de las urbes más habitadas en 2017, México y el Caribe tienen las mayores tasas de crecimiento urbano [22]

Si se sigue con el crecimiento poblacional y el nivel de urbanización se pronostica que para el año 2050 que el nivel medio de América Latina y del Caribe sea del 83% y que los países con población de por lo menos 2 millones se incrementen en un 15% de asentamientos urbanos a diferencia con los datos del 2018 [23]. (Ilustración 14).

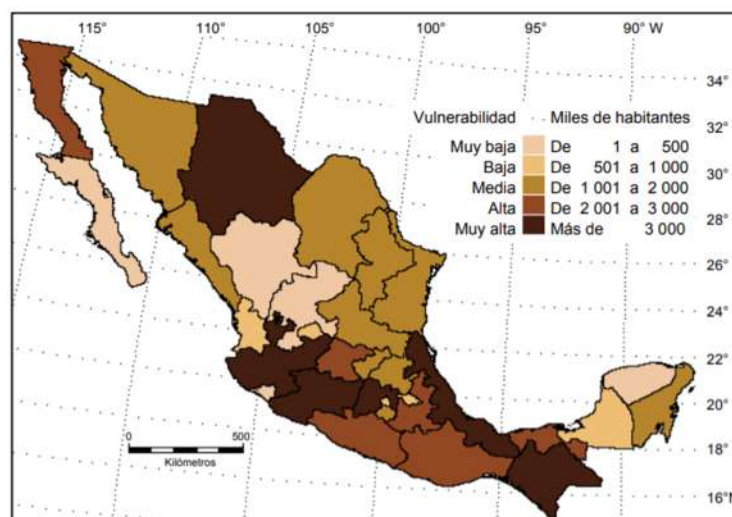


Ilustración 14: Diferencias absolutas de la población urbana 1990-2025



3.3.- CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

3.3.1.- CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

El cambio climático es una de las preocupaciones más serias de nuestra sociedad. Los gases que causan el efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO₂) que contribuye con el 50%, el metano, el óxido nitroso, los clorofluorocarbonos, el ozono troposférico y el vapor de agua estratosférico, el cambio climático representa un serio problema a los sistemas ecológicos y socioeconómicos [24].

En México existe un atraso del sector de investigación en la incorporación de elementos en los planes nacionales y estatales de adaptación en materia del cambio climático, la Organización Mundial de la Salud se adhiere a la agenda de cambio climático global en el año de 1997, mientras que México lo hace hasta el año del 2009 por tanto se perdió tiempo valioso en la relevancia para generar una agenda de salud pública para el futuro. Los riesgos de salud relacionados con el cambio climático se enfocan al origen, intensificación y redistribución de enfermedades transmitidas por vectores, la relación con contaminantes atmosféricos, el incremento de enfermedades infecciosas y efectos agudos como olas de calor o golpes de calor que en los últimos años se ha incrementado, incremento en el número e intensidad de fenómenos naturales como inundaciones y sequía [25].

El cambio de clima tiene repercusiones en la salud de los habitantes: aumenta el stress por los climas calurosos, mayor humedad y expansión de enfermedades infecciosas (Ilustración 15).

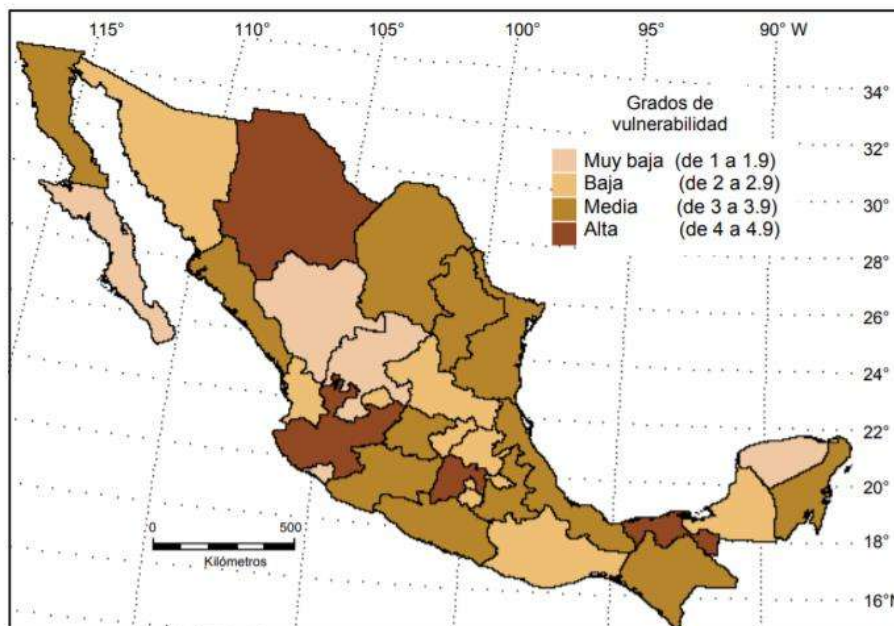


Ilustración 15: Grados de vulnerabilidad al cambio climático de acuerdo a la urbanización 1990-2025

3.3.2.- CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Los problemas relacionados con el agua se han incrementado, existe una escasez del líquido vital por el agotamiento de mantos freáticos y una contaminación por arsénico y flúor en regiones del norte y centro del país. El suministro del agua es irregular en zonas periurbanas y por ende debe ser almacenada para cubrir las necesidades esenciales y en la mayoría de los casos se generan enfermedades transmitidas por el manejo inadecuado del líquido. Las fuerzas conductoras que generan estas afectaciones se asocian principalmente a un modelo de urbanización no contemplado, procesos de deforestación y pérdida de áreas naturales que son sustituidas por superficies artificiales.

En el país el 53% de la población tiene asentamientos en cuencas principalmente en el norte y centro de México, donde se ha generado una severa afectación para la captación de agua en los mantos freáticos, así como alteraciones al ciclo hidrológico por la disminución de áreas verdes. Aunado a esto en el año 2008 solo el 35% de las aguas residuales municipales y 18% de las industriales fueron



tratadas en una planta de aguas residuales, el porcentaje restante se descarga sin ningún tratamiento previo en cuerpos de aguas naturales como ríos, arroyos y lagos, derivado que no existe normalización para las descargas de aguas residuales y las que existen carecen de implementación y ejecución por parte de las autoridades encargadas [26].

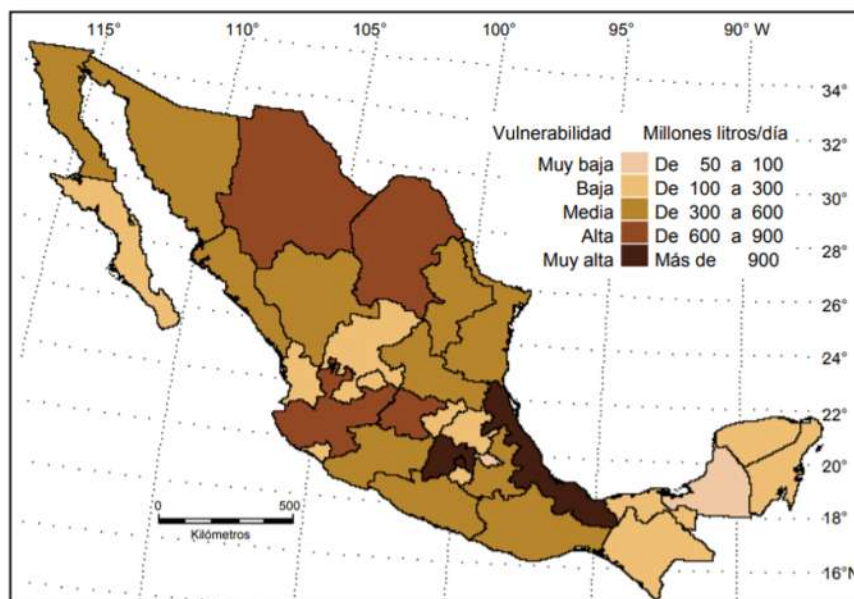


Ilustración 16: Diferencias absolutas en el consumo del agua por estados 1990-2025 (litros/día)

El incremento de la urbanización y el cambio climático afectan las variaciones naturales, estacionales y anuales del recurso hídrico por la modificación del ciclo del agua al incrementarse las superficies artificiales. El consumo, almacenamiento y uso del agua subterránea dependerá del impacto climático de cada zona y del grado de vulnerabilidad de cada región.

Los consumos de agua por habitante cada año sufren un incremento, para el año de 1991 en el estado de Michoacán la dotación era de 270 lts/día, si se sigue con el consumo se prevé que para el año 2025 el consumo sea de 400 lt/día, que significa una menor dotación por habitante por un crecimiento de la población y que en el futuro habrá escases de disponibilidad de agua (Ilustración 16).



3.4.- BALANCE ENERGETICO SUPERFICIE URBANA

La cuantificación de los diferentes tipos de energía que llegan y salen del planeta se le conoce como balance energético de la tierra. Consiste en una estimación de la entrada, absorción, reflectancia y expulsión del calor generado del sol y su relación con el calor proveniente de los procesos naturales en la superficie y del calor generado por las actividades humana, estimar el balance energético es una manera sofisticada de medir los efectos de la isla de calor urbana [27].

Sundborg (1951) explico la singularidad del clima urbano y en particular, el fenómeno de la isla de calor urbano (UHI) en términos de equilibrio energético urbano basado en el análisis del flujo de energía entrante y saliente de un sistema de superficie urbana de la radiación solar y generada por la actividad antropogénica se equilibra físicamente al calentar el aire sobre la superficie (convección y radiación), la evaporación de la humedad y el almacenamiento de calor en los materiales de la superficie (Ilustración 17). La división de este equilibrio energético define la naturaleza del clima urbano, que a su vez afecta la forma en que las ciudades usan la energía, la comodidad y el bienestar de los ciudadanos [28].

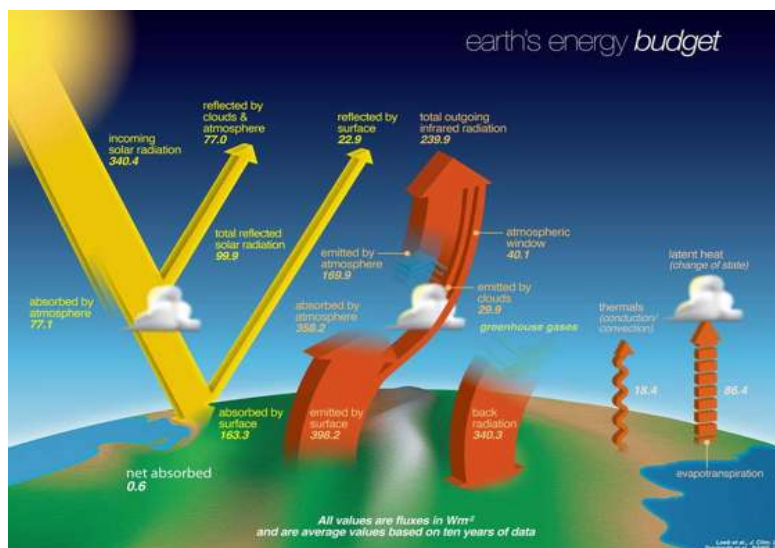


Ilustración 17: Balance energético, entrada, absorción y salida de radiación solar al planeta.



La formación de la isla de calor urbana es más potente en condiciones anticiclónicas (de alta presión) con velocidades de viento reducidas y nubosidad, por lo tanto, se observa que la intensidad es mayor en verano cuando el aumento de la radiación solar aumenta la energía disponible dentro del sistema urbano y en la noche la liberación de calor de la forma urbana se convierte en la fuente de calor dominante [29].

La ecuación de balance energético se basa en la primera ley de la termodinámica, que establece que la energía dentro y fuera de cualquier superficie debe conservarse, en el caso de la tierra influyen una serie de características para estimar la energía entrante y la energía expulsada a la atmósfera (Ilustración 18).

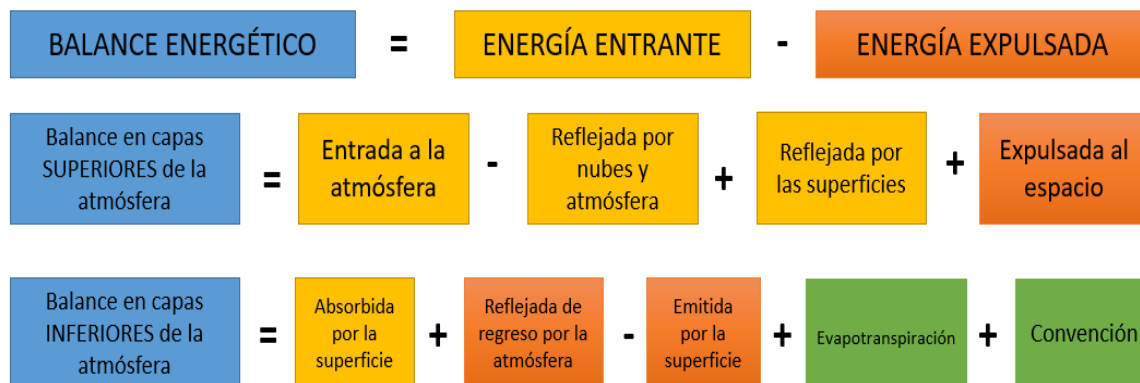


Ilustración 18: Ecuación del balance energético de la tierra, energía entrante y energía expulsada a la atmósfera

La *Convección* es la energía que se transfiere de una superficie sólida a un fluido, en la tierra la energía de la superficie se transfiere al aire que está sobre ella, se aumenta cuando las velocidades del viento son altas y las diferencias de temperatura entre la superficie y el aire son mayores [30].

La *evaporación* se considera como un proceso de energía de la superficie causado por el vapor de agua cuando la humedad del suelo se calienta por el sol o por fuentes artificiales. El agua sube a la atmósfera en forma de vapor por la energía



brinda por el sol, también incluye el proceso de las plantas denominado evapotranspiración [31].

Los materiales que constituyen la zona urbana producen un almacenamiento de calor que depende directamente de la *conductividad térmica* y su *capacidad calorífica*, los materiales capaces de transferir el calor a su interior tienen una conductividad térmica alta, las superficies con una temperatura elevada tienen una alta capacidad calorífica y por tanto mayor capacidad de almacenar calor internamente [32].

La *energía entrante* a la atmósfera representa la cantidad de energía que irradia el sol, depende directamente de la temporada, estación del año, horario, nubosidad y los niveles de contaminación atmosférica de cada ciudad.

La *radiación reflejada por las superficies* está en función de la reflectancia solar del material y es la cantidad de energía solar que rebota en un material o superficie, los materiales que reflejan mayor cantidad de radiación solar son cuerpos de color claro, mientras las superficies oscuras como el pavimento asfáltico emiten menor cantidad de energía solar [33]. (Ilustración 19).

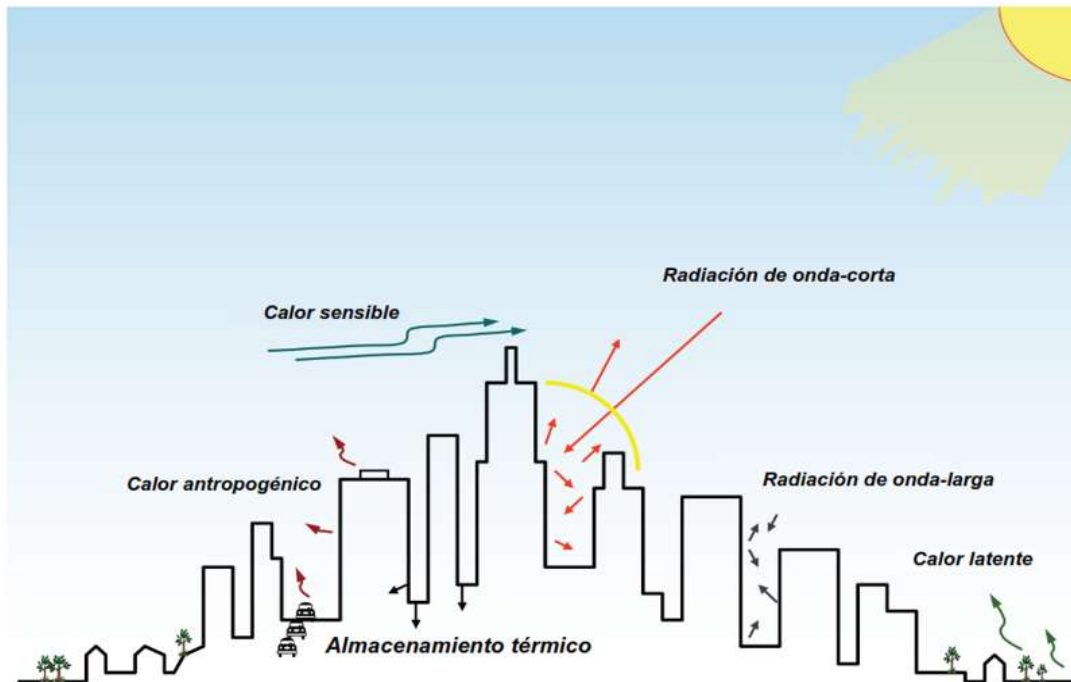


Ilustración 19: Radiación reflejada por las superficies urbanas de onda-corta y onda-larga, balance energético de la ciudad

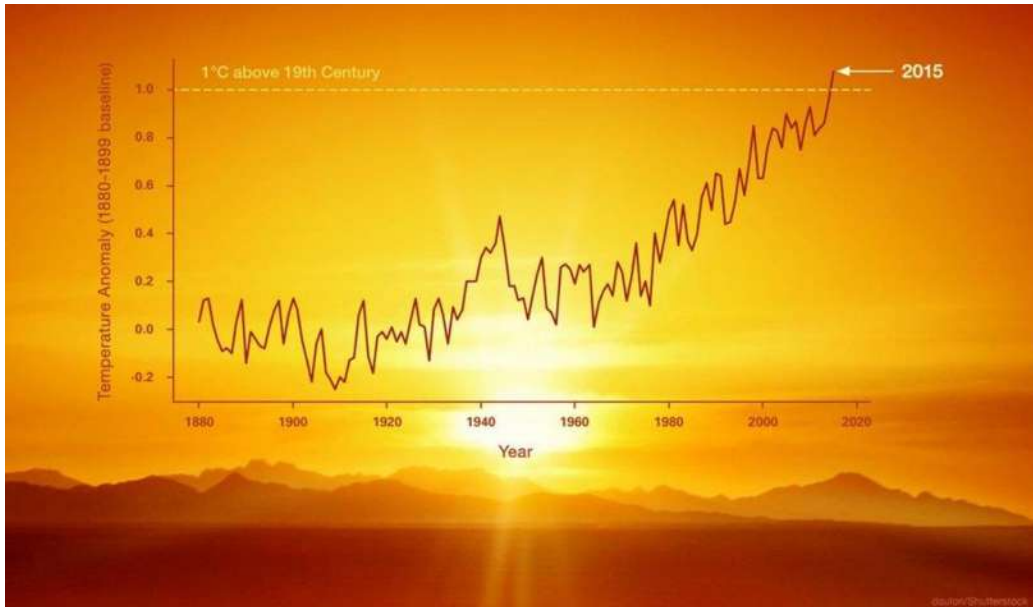
Las actividades humanas en las ciudades generan emisiones antropogénicas que tienen el potencial de aumentar la cantidad de energía térmica al clima urbano mientras que las características climáticas urbanas y geográficas ayudan a variar la intensidad y la distribución de las emisiones generadas. Las principales características urbanas que modifican el flujo de energía se relacionan principalmente con la morfología y la materialidad del entorno que constituye el microclima, además de la distribución de los espacios verdes y azules [34].

3.4.1.- TEMPERATURA ELEVADA Y GOLPE DE CALOR

Las olas de calor es propiamente un evento meteorológico, su principal afectación son consecuencias adversas para salud de la población, se considerada como un periodo prolongado de al menos 3 días consecutivos de estrés por calor inusualmente elevado relacionado con la atmósfera, donde al menos el 10% de las



estaciones registran temperaturas por encima del percentil del 95% de series de temperaturas máximas diarias entre los meses de mayo, junio, julio y agosto [35].



3.5.- CARACTERÍSTICAS ZONA URBANA

3.5.1.- RUGOSIDAD URBANA

En cuanto a la estructura de las ciudades un indicador de mayor interés es la rugosidad urbana. La cual se define como un coeficiente de obstaculización de la circulación del viento que representan las edificaciones y otros cuerpos del espacio urbano. El principal elemento de la rugosidad lo constituyen los edificios.

Por otra parte, la *rugosidad aerodinámica* permite conocer la intensidad de la circulación del viento de los espacios e identificar los sitios donde el movimiento del calor es menos debido a la estructura urbana, así como las superficies antropogénicas que sufren un enfriamiento por convección (Ilustración 20).

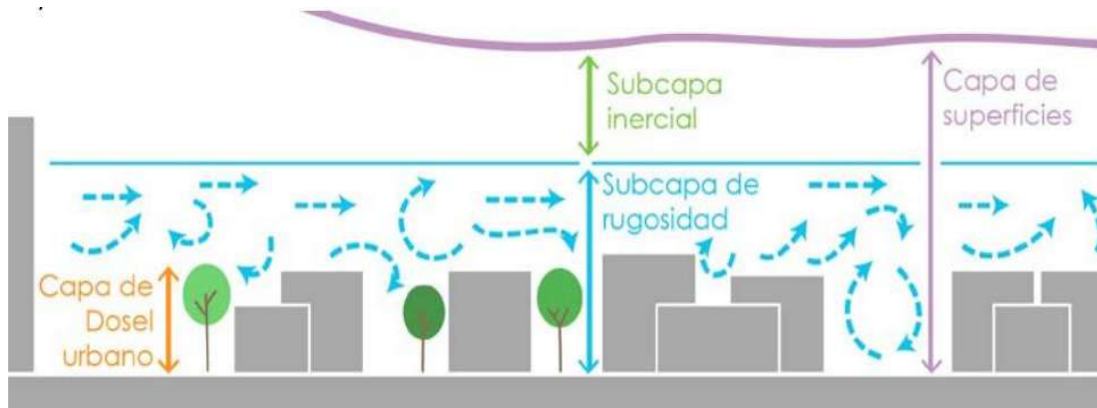


Ilustración 20: Rugosidad aerodinámica de la zona urbana, circulación del viento en espacios entre calzada.

Existen múltiples factores que son útiles para el cálculo, aunque los más recurrentes son:

- **Longitud de rugosidad (Z_0):** Que es el coeficiente de fricción del viento que representa el volumen de las edificaciones en un área determinada.
- **Porosidad de la capa de la canopia urbana:** Es la relación entre el volumen de aire entrante y el volumen edificado en toda la capa de la canopia urbana dentro del mismo espacio.

Para el cálculo de ambas se toma en cuenta parámetros como el *plano de cero desplazamientos*, el cual identifica la altura que la velocidad del viento es llevada a 0 por los obstáculos que se presentan en su trayectoria; y *la densidad de área plana y frontal*, que es la estimación de superficies horizontales y verticales en la zona de estudio (Ilustración 21).

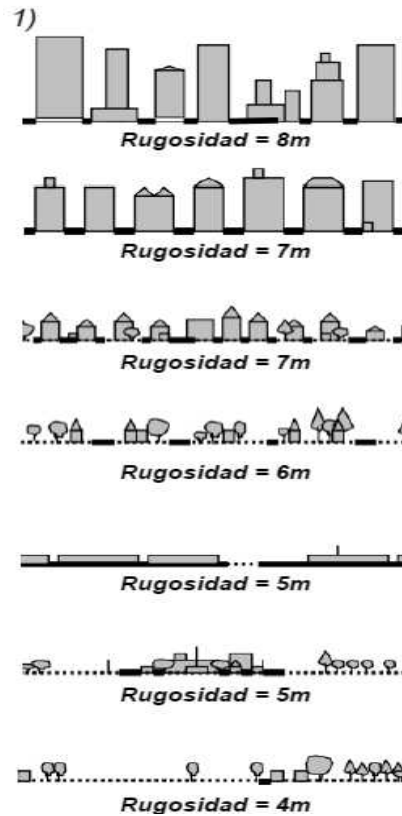


Ilustración 21: Rugosidad Urbana por tipo de espacio.

Un indicador para determinar la rugosidad urbana es por medio de imágenes satelitales que genera un índice de edificación de diferencia normalizada (NDBI). El cual identifica áreas de superficies de suelo desnudo, agua y vegetación que tienen menos presencia y donde existe una densidad de edificación mayor. El NDBI se obtiene al sustraer los valores de reflectancia de la banda infrarroja cercana (NIR) de los valores de reflectancia de la banda infrarroja de onda corta (SWIR) y dividirlo sobre la suma de los mismo (Ecu. XX). Sus valores oscilan entre -1.0 con zonas sin edificar, y 1.0 como indicador de una representación de entorno edificado.

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (3)$$



3.5.2.- CAÑÓN URBANO

En climatología urbana el cañón urbano se utiliza como un concepto principal para describir el patrón básico del espacio urbano definido por los dos edificios adyacentes y el plano del suelo [36]. El impacto de la geometría urbana en el microclima urbano está bien definido, los estudios han tendido a enfocarse en problemas de sobrecalentamientos en climas cálidos, el efecto de la isla de calor urbana y el confort urbano. La distribución del movimiento del aire, la temperatura en los cañones urbanos y su potencial de ahorro energético está directamente relacionado con la ventilación [37] (Ilustración 22).

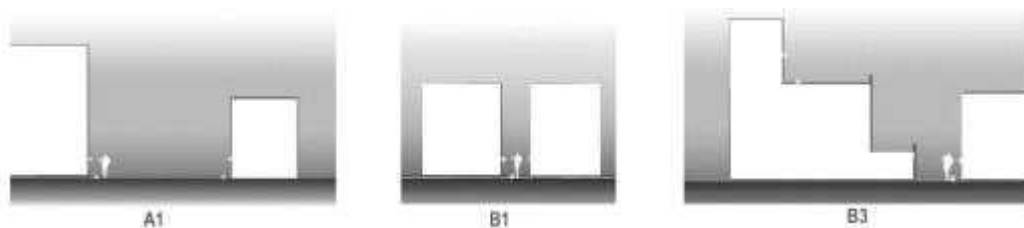


Ilustración 22: Cañón urbano con diferencia de anchos de calzada

Por la forma geométrica y orientación de los edificios se tiende a formar el cañón urbano que disminuye la ventilación y el enfriamiento radiactivo durante el día y la noche, mantiene niveles de temperatura por encima de lo adecuado, específicamente en espacios exteriores donde el ancho de calzada es menos que la altura de los edificios [38]. Es muy similar al cañón geográfico, que designa un valle o una garganta profunda entre dos laderas más o menos altas, pero en el caso de las ciudades este está compuesto por largas calles con edificios continuos. El cañón urbano ya estaba estudiado por investigadores de la contaminación del aire como unidad para evaluar la exposición de los peatones a los contaminantes vehiculares [39].

Los cañones urbanos permiten evaluar la afectación del clima urbano en el uso de la energía de los edificios por la geometría en las zonas urbanas. Existen modelos



de cañones urbanos para estimar los efectos de enfriamiento de superficies diseñando techos verdes y fachadas con vegetación.

3.5.3.- FACTOR DE VISIÓN DEL CIELO (*sky view factor*)

Si hay una baja visibilidad de cielo, existe menor variación diaria de temperatura o viceversa, a una mayor visión del cielo favorece a una mejor ventilación y por ende un mejor movimiento del aire y mayor ventilación. El factor de vista del cielo se define como la fracción de cielo que se puede ver desde cierto punto en el cañón de la calle. La relación de aspecto es la altura de los edificios dividida por el ancho de la calle. En áreas con una alta densidad de construcción, el factor de visión del cielo es generalmente bajo, mientras que la relación de aspecto es alta [40].

El factor de visión del cielo expresa para un punto de observación determinado, la relación entre el área visible de cielo y la porción de bóveda celeste cubierta por los distintos componentes del medio ambiente (topografía, edificios, árboles, luminarias y mobiliario). El factor de visión del cielo o SVF (*sky view factor*) por sus siglas en inglés, es un parámetro adimensional que toma valores entre 0 y 1. Se aproximará a la unidad en un terreno abierto y plano [41]. Cuando el valor de SVF es igual a 1 expresa que se observa la totalidad del cielo y la pérdida de calor desde el suelo será mayor y existirá un enfriamiento nocturno, las temperaturas son más bajas que los sitios con SVF cercanos a 0. Los valores de SVF pequeños dependen de las características geométricas de las calles, edificios y los obstáculos existentes en la zona urbana, provocando que los ángulos de emisión de la radiación de onda larga nocturna a la atmósfera sean más reducidos que en el campo abierto o el medio rural (Ilustración 23).

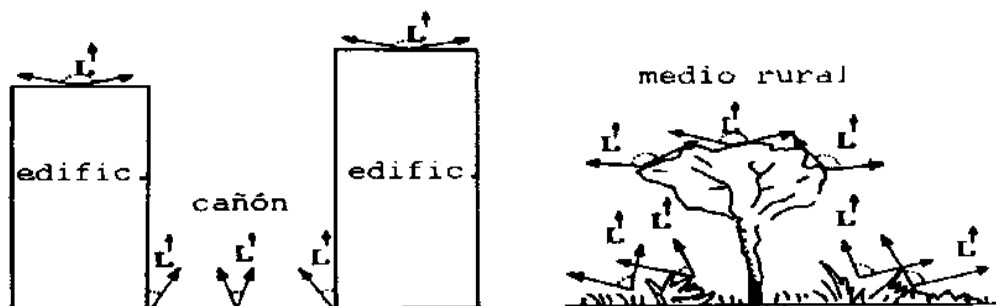


Ilustración 23: Esquema general de las diferencias en la emisión de radiación de onda larga entre la ciudad y el medio rural por causa del factor de visión del cielo.

3.5.4.- ÍNDICE DE VEGETACIÓN

La vegetación en el entorno urbano juega un papel importante y la estimación de cantidad, calidad y desarrollo con base en la medición de la intensidad de radiación de especies presentes en el entorno es a lo que se le conoce como índice de vegetación.

La vegetación en la zona urbana tiene una influencia directa con la radiación solar de las superficies, con el desplaza miento del viento y en la humedad del aire. Las características térmicas que presenta la altura de los árboles en los espacios urbanos es similar al contexto presentado en una zona rural o natural, por lo que la reflectividad y absorción de calor contrasta con las superficies artificiales [42].

El índice de vegetación que existía anterior a lo que actualmente se conoce en una zona urbana era mayor, a medida que las ciudades crecieron este índice ha disminuido considerablemente afectando el cambio de enfriamiento del suelo, subsuelo y de la superficie, debido a la pérdida de árboles de sombra y plantas más pequeñas como arbustos, enredaderas, pastos y la cobertura natural del suelo.

Para evaluar la influencia climática de la vegetación uno de los principales indicadores es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Ilustración 24). El cual realiza una estimación de la calidad y desarrollo de la vegetación por medio de imágenes de teledetección en un tiempo determinado, se obtiene al restar de la



espectroscopia de reflectancia de la parte roja visible (RED) de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) (Ilustración XX) y dividirlo entre la suma de los mismos (Ecu. 4), por lo que obtiene rangos de -1.0 a 1.0 de menor a mayor calidad de vegetación [43].

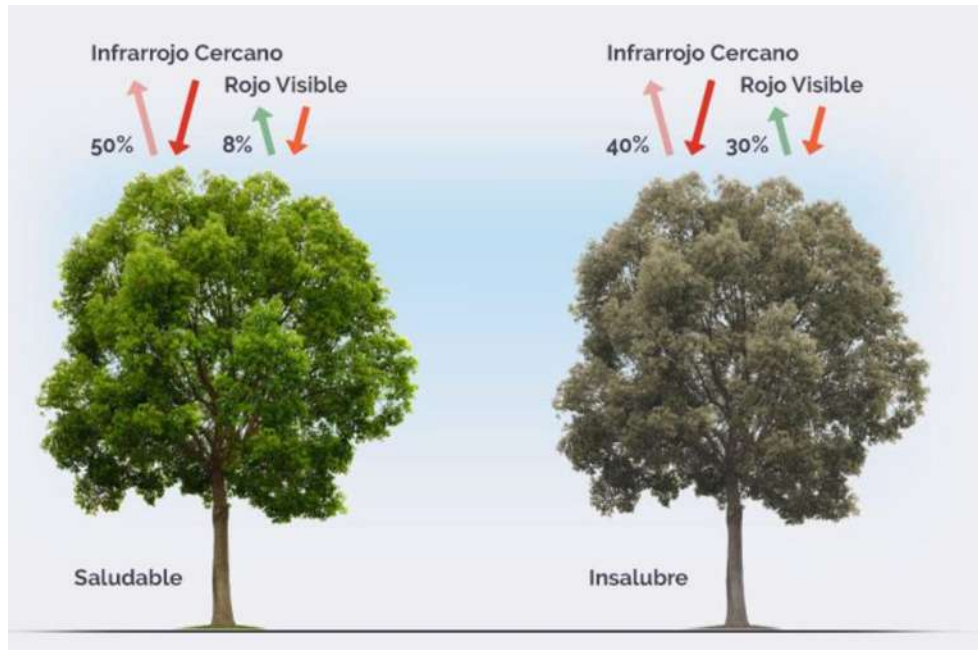


Ilustración 24: Espectroscopia de reflectancia rojo visible y espectroscopia de reflectancia en infrarrojo cercano: determinación de una planta saludable mediante NDVI [44].

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

Sombra: La especie de vegetación reduce la cantidad de radiación solar que logra llegar al área debajo del árbol, la cual depende del tipo de ramas y hojas específicas de la planta y de la estación del año de la región; en verano solamente del 10 al 30% de la energía del sol es transmitida a través de la copa de un árbol, el porcentaje restante es utilizado por las hojas para la fotosíntesis. Sin embargo, en invierno el porcentaje de luz solar que llega al área debajo de un árbol es de entre



un 10 y un 80% en árboles de hoja caduca. La sombra reduce las temperaturas de la superficie debajo de los árboles, estas superficies a su vez reducen el calor transmitido a los edificios y a la atmosfera, logrando zonas más confortables y refrescantes.

Evapotranspiración: La vegetación y los árboles absorben agua mediante sus raíces y la emiten al aire mediante sus hojas; este fenómeno es lo que se conoce como “transpiración”. La evaporación es la conversión de un líquido en un gas que también se logra en el suelo a través de la vegetación al captar la lluvia en las hojas y utilizarlas en sus procesos (Ilustración 25). En conjunto estos procesos naturales se denominan como evapotranspiración. La evapotranspiración enfría al aire aprovechando el calor del medio para evaporar el agua como partículas de gas, logrando así una reducción de la temperatura [45].

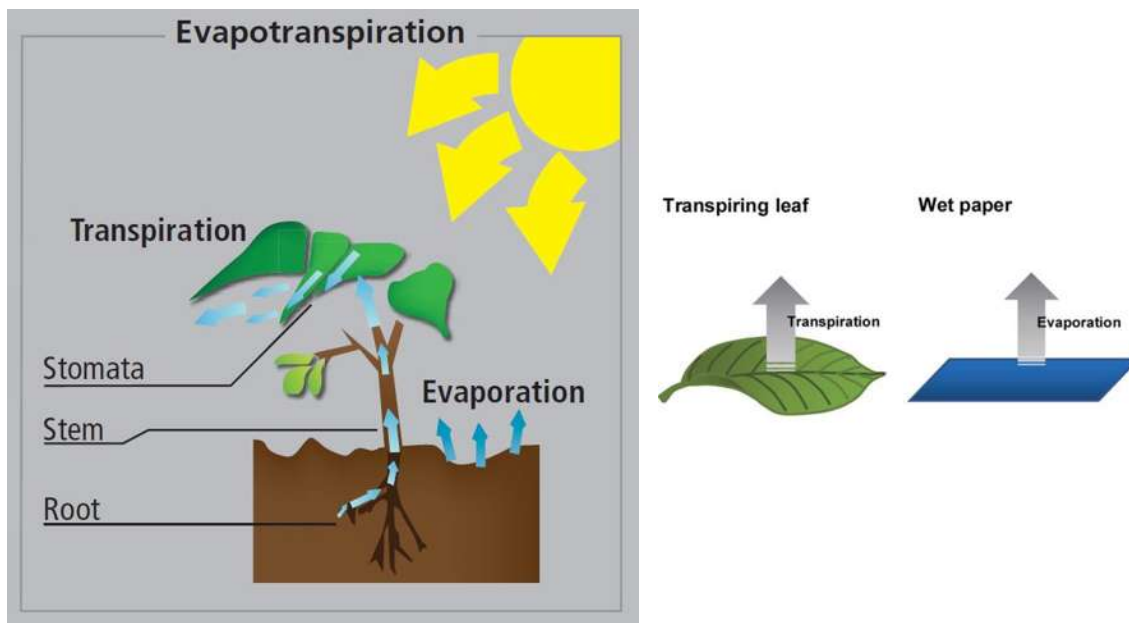


Ilustración 25: Proceso de transpiración a través de las hojas y evaporación del agua del tallo y del suelo: Evapotranspiración



3.6.- TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es el fenómeno relacionado con el intercambio de energía en forma de calor ente dos cuerpos o superficies, en el cual uno constituye la fuente y el otro el receptor, lo que se transporta, denominado calor, difícilmente se puede medir de manera directa; pero sus efectos se pueden identificar y cuantificar mediante mediciones y análisis con equipos sofisticados, no abarca el estado final del proceso de transferencia de calor como en la termodinámica, pero proporciona información de la naturaleza y velocidad con la cual se produce el fenómeno [46].

El intercambio de calor se presenta al existir un diferencial energético y se prolonga hasta lograr un estado de equilibrio en ambos cuerpos. La dirección del flujo de calor Q se establece en la segunda ley de la termodinámica, indica que el flujo esta direccionado hacia el gradiente energético menor (Ilustración 26), es decir hacia la zona o cuerpo más frio o con temperatura menor [47].

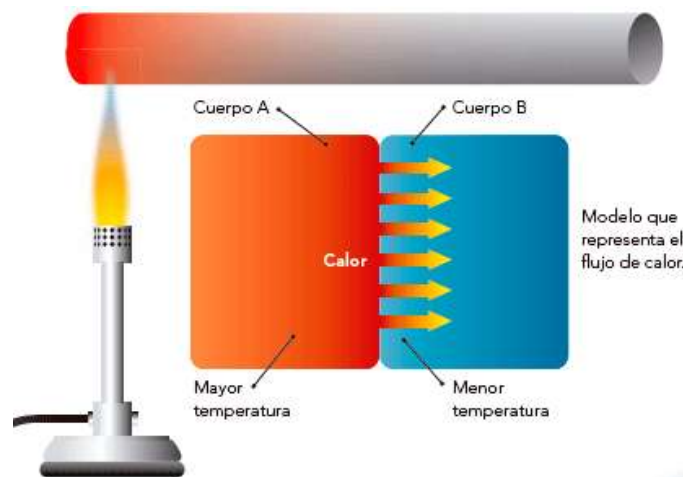


Ilustración 26: Generalización de la segunda ley de la Termodinámica, flujo de calor Q .

Existen diferentes tipos de transferencia de calor, en la mayoría de las situaciones se presentan al mismo tiempo, no obstante la contribución en el fenómeno logra ser en mayor o menor manera dependiendo de las características de la fuente y del receptor.



3.6.1.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

El fenómeno de transferencia de calor por convección es un proceso de transporte de energía que se genera como consecuencia del movimiento de un fluido (líquido o gas) en una superficie sólida y se relaciona directamente con la interacción de temperaturas.

La convección se rige por el siguiente modelo matemático:

$$q^n = h (T_s - T_\infty) \quad (5)$$

Donde:

q^n = Flujo de calor por convección (W/m^2).

$T_s - T_\infty$ = Diferencia de temperaturas de la superficie y del fluido respectivamente.

h = Constante de proporcionalidad o coeficiente de convección ($W/(m^2 \cdot K)$).

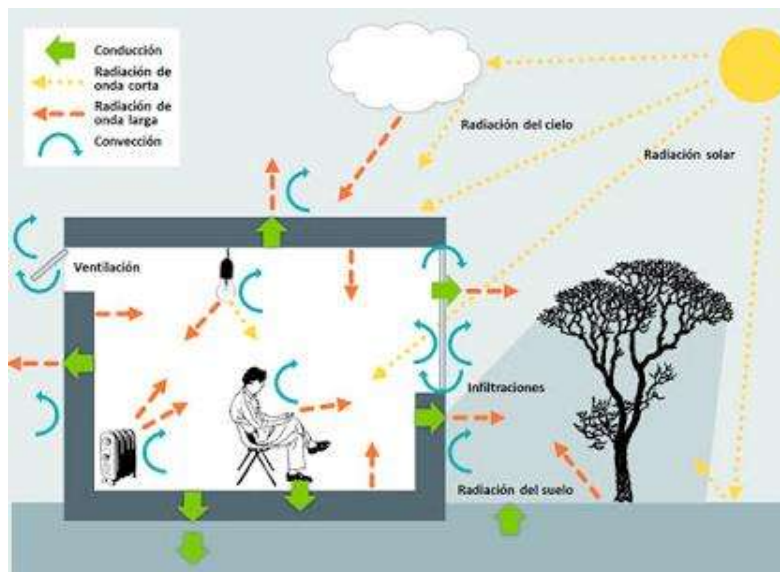


Ilustración 27: Esquematización de transferencia de calor en edificios, conducción, convección y radiación de onda corta y onda larga

Los valores del coeficiente de convección h depende principalmente de la geometría de la superficie, la naturaleza del fluido y de las propiedades termodinámicas del mismo, por lo tanto, cualquier estudio de la convección se reduce a un estudio de



los medios para determinar h . los valores del coeficiente de convección dependiendo del tipo de fluido en cuestión se especifican en la Tabla 3:

Tabla 3: Valores típicos de coeficiente de convección h

Tipo de convección	h (W/m ² *K)
Convección libre para gases	2-25
Convección libre en líquidos	10-1,000
Convección forzada en gases	25-250
Convección forzada en líquidos	50-20,000
Condensación y ebullición	2500-100,000

En la isla de calor la transferencia por convección regula la temperatura de la zona urbana por el movimiento y transporte del aire, en un clima tranquilo y despejado la convección disminuye porque la velocidad del viento es mínima y el calor se almacena en la superficie urbana incrementando la temperatura durante el día y retrasando la liberación de calor en el transcurso de la noche.

El viento en las ciudades suele ser más lento por la altura de los edificios que actúan como rompevientos a comparación de las zonas rurales, reduciendo la velocidad del viento hasta en un 60%. Estudios demuestran que el aire caliente tiende a elevarse sobre la ciudad y se combina con el aire frío de sus alrededores, por ende, las islas de calor urbanas crean sus propias brisas.

3.6.2.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

Se denomina transferencia de calor por conducción al proceso de propagación de energía en un medio sólido, líquido o gaseoso, el cual se lleva a cabo mediante a comunicación molecular directa o entre cuerpos a distintas temperaturas entre las partículas más energéticas a las menos (Ilustración 28).

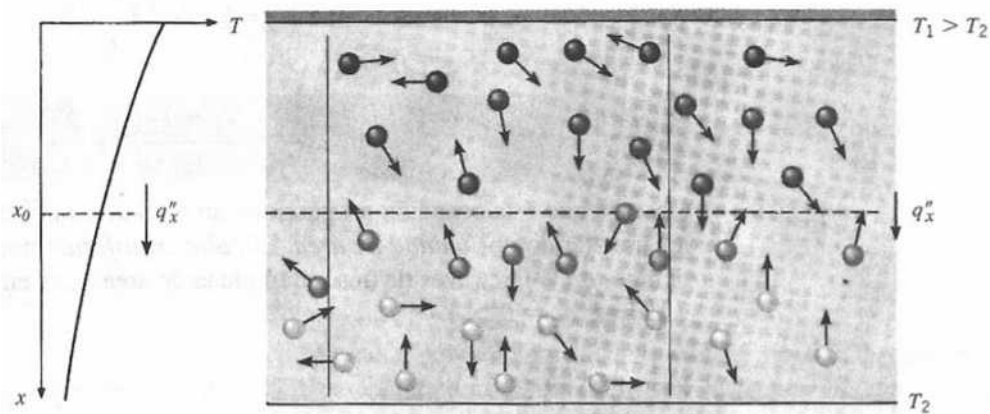


Ilustración 28: Asociación de la transferencia de calor o energía por conducción mediante comunicación molecular

3.6.3.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

A diferencia de la transferencia de calor por convección y conducción en el que se requiere de un medio para la propagación de energía, la transferencia de calor por radiación es un fenómeno que se propaga en un medio vacío absoluto, es decir, a una temperatura específica todos los cuerpos emiten radiación en forma de energía electromagnética en diferentes longitudes de onda y donde la radiación es una variable dependiente de la temperatura absoluta del cuerpo y de las propiedades y características superficiales [48].

Las longitudes de onda con un rango de 0.1 a 100 micrones es la fracción que se considera como radiación térmica, dentro de este intervalo del espectro electromagnético se encuentra el rango ultravioleta, el visible y el infrarrojo (Ilustración 29).

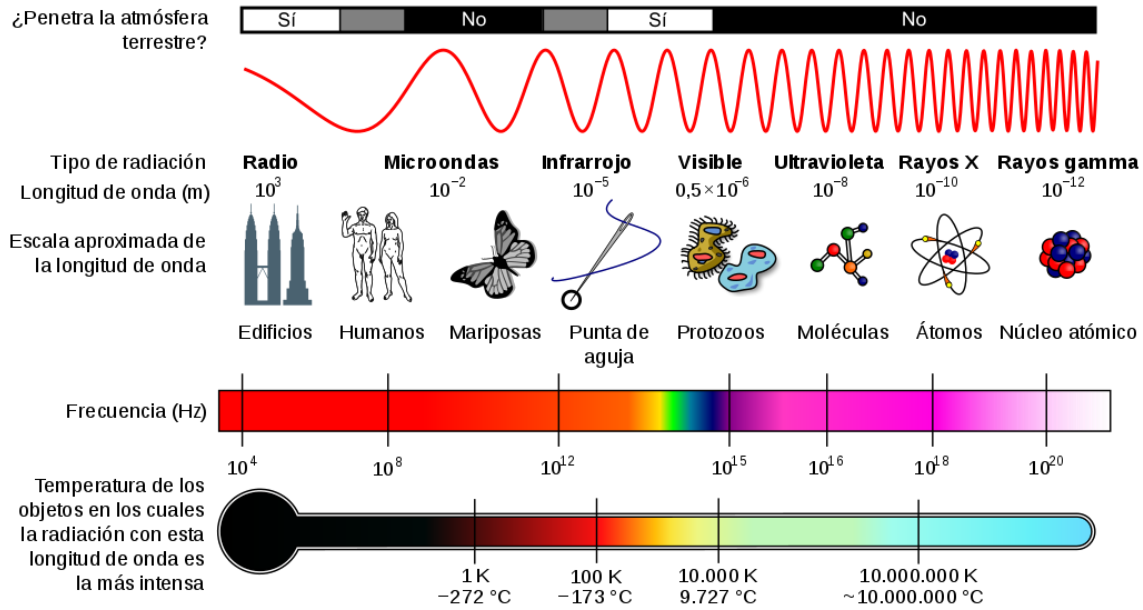


Ilustración 29: Diagrama del espectro electromagnético, mostrando el tipo, longitud de onda, frecuencia y temperatura de emisión en cuerpo negro

Un radiador perfecto o cuerpo negro es aquel que emite energía radiante de su superficie a una razón proporcional a su temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia, por lo que:

$$Q = \sigma (T^4) \tag{6}$$

Donde:

σ = Constante que adquiere valor igual a 5.667×10^{-8} W/M²k, se conoce como constante de Stefan Boltzman.

T = Temperatura absoluta (°K).

Sin embargo hay condicionantes ya que un cuerpo real no puede considerarse un cuerpo negro, dado que una superficie más clara emitirá una menor cantidad de radiación a lo que se llamara cuerpo gris, el cual es aplicada a cualquier cuerpo que sea de color claro y para determinar su radiación se aplicaría la ecuación XX:

$$Q = \varepsilon \sigma (T^4) \tag{7}$$



Donde:

ε = Emitancia de la superficie gris y es numéricamente igual al cociente de la emisión de radiación de un cuerpo gris, con respecto a la de uno negro.

Q = Energía radial

σ = Constante que adquiere valor igual a $5.667 \times 10^{-8} \text{ W/M}^2\text{k}$

T = Temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$).

3.7.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

3.7.1.- EMISIVIDAD EN LA ZONA URBANA

La emisividad se define como la propiedad que indica la eficacia con que una superficie emite radiación térmica debido a su temperatura, es una propiedad de la superficie del material y existen algunos materiales con mayor emisividad que otros por sus características, y se calcula con la siguiente formula:

$$\varepsilon = \frac{\text{Radiación emitida por una superficie}}{\text{Radiación emitida si fuera un cuerpo negro}} \quad (8)$$

Un cuerpo negro tendrá un coeficiente de emisividad de 1, mientras que un objeto real siempre se mantendrá menor a 1.

La emisividad de una superficie depende de varios factores, principalmente de su temperatura, el acabado, el ángulo de emisión, rugosidad y longitud de onda de la radiación. Para la mayoría de los materiales la emisión térmica varía de 0.85 a 1 (Ilustración 30) aunque algunas mezclas de concreto pueden tener valores menores [49].

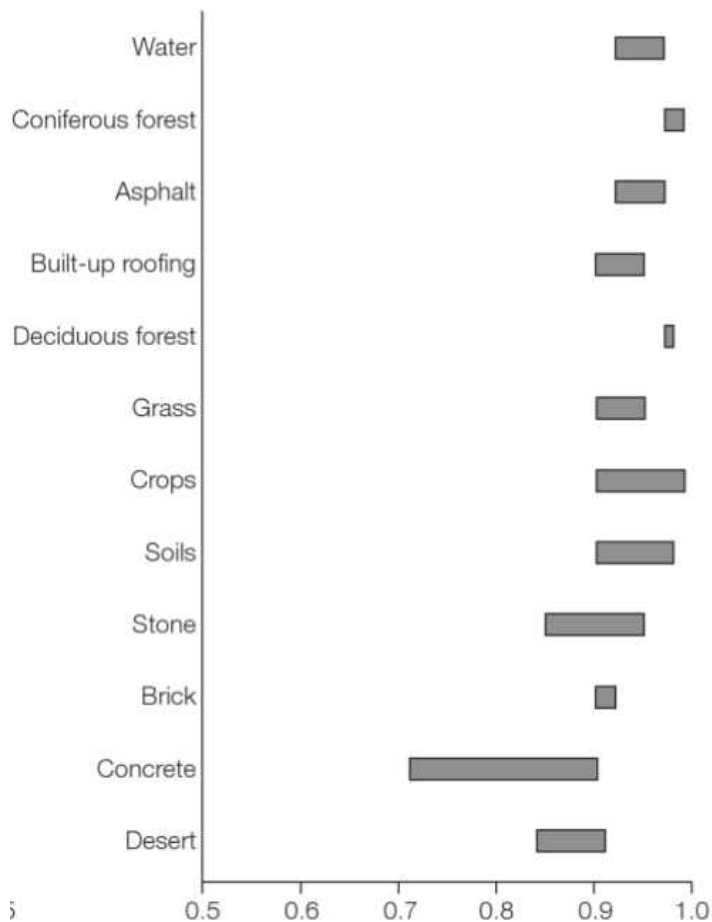


Ilustración 30: Emisividad térmica de materiales urbanos y rurales [49].

Una baja emisión térmica reduce la capacidad de un material para irradiar calor, el uso de superficies de concreto puede reducir la emisión térmica urbana y aumenta los niveles de radiación en las zonas urbanas, la radiación se emite en todas direcciones permitiendo que los muros de los costados absorban la radiación y almacenarla en su interior disminuyendo la emisión a la atmosfera.

3.7.2.- ALBEDO EN LA ZONA URBANA

Una de las características de las superficies urbanas que más aparece en el análisis de las perturbaciones al realizar un balance térmico de los espacios es el albedo. El cual se define como el porcentaje de radiación que cualquier superficie ya sea natural o antropogénica refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma.



Un mayor albedo, implica que una mayor cantidad de radiación solar es reflejada a la atmosfera y por lo tanto es menos absorbida por la superficie [50]. Es una de las características fundamentales en el estudio térmico del planeta y su perturbación es una de las principales causas del forzamiento radiactivo atmosférico.

Las superficies claras tienen un mayor albedo, mientras que un cuerpo negro completamente tienen un albedo igual a 0, absorbe toda la radiación que recibe. En una zona urbana, la nieve fresca de color blanco de superficie brillante alcanza un albedo de 0.8 a 0.90, los suelos desnudos en color café de superficie opaca tienen un albedo de 0.17 y el césped largo color verde claro de una textura rugosa tiene 0.25, siendo así las superficies que mayor albedo tienen, las cuales son superficies naturales (Ilustración 31). Por otro lado, las superficies antropogénicas su albedo es mayor, el concreto con color gris de superficie rugosa alcanza un albedo de 0.55 y el asfalto en color oscuro y de igual textura rugosa tiene un albedo de 0.04 [51].

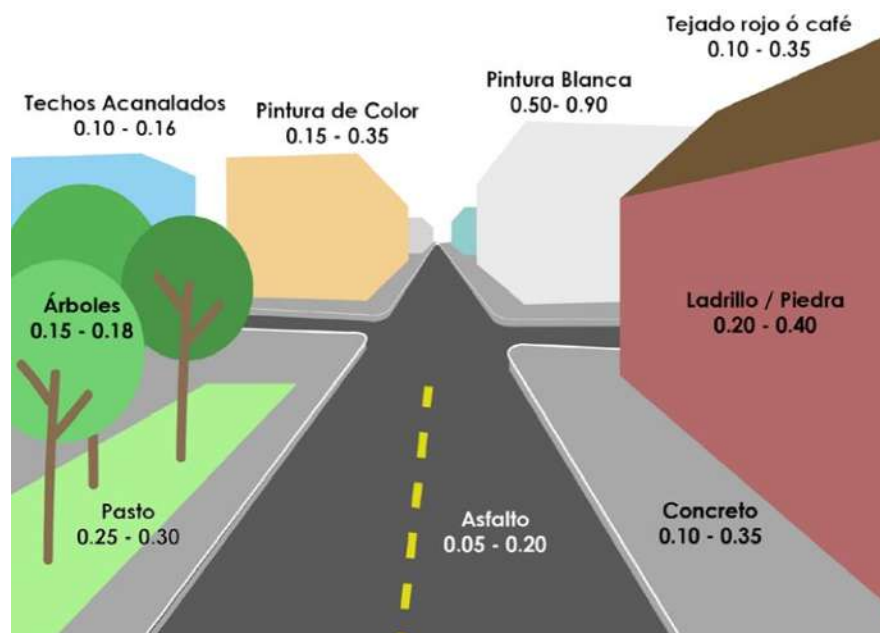


Ilustración 31: Valores de Albedo en la zona urbana



El albedo influye en la absorción y la reflexión de la radiación solar, esto afecta el uso de energía, especialmente durante la estación más cálida, la calidad del aire local y la concentración de gases de efecto invernadero [52].

La medición del albedo de una superficie es fundamental para comprender el equilibrio térmico en la superficie de la tierra y para implementar el albedo de las superficies en entornos térmicos favorables, el cual es variable en un lugar distinto debido al espectro de radiación solar incidente de la zona, la textura de la superficie, dirección del viento entre otras [53]. El albedo ρ de una superficie plana homogénea se puede calcular utilizando la ecuación 9:

$$\rho = \frac{\int_S^a i(\lambda) * R(\lambda) d\lambda}{\int_S^a i(\lambda) d\lambda} \quad (9)$$

Dónde:

i = Representa el espectro solar incidente (W/m²/nm)

λ = Longitud de onda (nm)

R = Reflectancia espectral de la superficie homogénea

S = Rango de longitud de onda de radiación, generalmente $S= 250-2500$ nm

3.7.3.- CONDUCTIVIDAD TÉRMICA MATERIALES

La conductividad térmica es una propiedad de transporte, ya que indica el transporte de energía en un sólido o en un fluido, siendo que se comporta de diferente manera en los dos tipos. En el sólido ese transporte de energía se debe principalmente a una cantidad de electrones libres dentro del mismo, que en mucho de los casos sea mayor que en un fluido, en los fluidos este transporte ocurre por el movimiento molecular en el que se encuentra la sustancia.



En los materiales de construcción la conductividad térmica representa una propiedad de importancia para los cálculos de balance de energía en aplicaciones de transferencia de calor, así como definir una adecuada selección de materiales estratégicos de diseño bioclimático que ayudarían a reducir la propagación de calor dentro del material.

La conductividad térmica cuantifica las propiedades de transmisión de calor de sólidos. Considerando el flujo de calor a través del área transversal y del gradiente de temperatura y está en función del contenido de humedad, composición, presión, estructura celular y temperatura [54]. Se define por medio de la ley de Fourier, para un plano unidimensional la distribución de la temperatura se expresa por la ecuación 3:

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (10)$$

Donde:

Q_x = Velocidad de calor transferida hacia "x"

A = área perpendicular al flujo de calor (m^2)

$\Delta T/dx$ = Gradiente de temperatura

k = Coeficiente de conductividad térmica ($W/(m \cdot K)$)

Una de las propiedades de mayor importancia para evaluar el desempeño térmico de un material es el coeficiente de conductividad térmica. Esta propiedad depende de la estructura física, atómica y molecular de la materia, así mismo el estado en el cual se encuentre el material, en la Tabla 4 se define el valor del coeficiente de conductividad térmica para algunos materiales de construcción:



Tabla 4: Coeficiente de conductividad térmica para materiales de construcción

Material	k (W/(m*k))
Mortero de cemento	0.090
Madera de construcción	0.130
Madera de pino	0.148
Madera pesada	0.200
Concreto celular	0.220
Yeso	0.488
Mortero cemento/arena	0.530
Ladrillos de arcilla	0.814
Concreto pesado	1.750
Piedra braza	1.861
Asfalto	0.43

Un material que tiene una gran conductividad térmica es un buen conductor de calor, en cambio un material con pequeña conductividad térmica es un mal conductor de calor o mejor conocido como aislante térmico. No hay un material que sea un conductor perfecto ($k=\infty$) o un aislador perfecto ($k=0$), pero si existen algunos materiales que al combinarse con otro material químicamente puedan reducir su conductividad térmica.

3.8.- ISLA DE CALOR URBANA

La isla de calor urbana es un fenómeno que se genera en las áreas urbanas y suburbanas resultado de la modificación del área natural por materiales con una alta capacidad de absorción y retención del calor solar (Albedo, reflectancia y emisividad) superior a las capacidades del medio natural, provocando un incremento de temperatura a diferencia de las zonas rurales circundantes. La edificación, la densidad de población, la intensidad de flujos vehiculares, la estación



del año, el porcentaje y distribución del área verde y el tamaño de la ciudad influyen de igual manera en la generación de la isla de calor urbana.

Las ciudades urbanas en la actualidad en consecuencia del crecimiento económico están construidas por materiales artificiales como concreto, acero, asfalto etc, los cuales poseen una baja reflectancia de la energía solar y baja inercia térmica, en consecuencia, la energía es almacenada por determinado tiempo, aumentando la temperatura de la superficie y del aire que circula en el entorno rural [55].

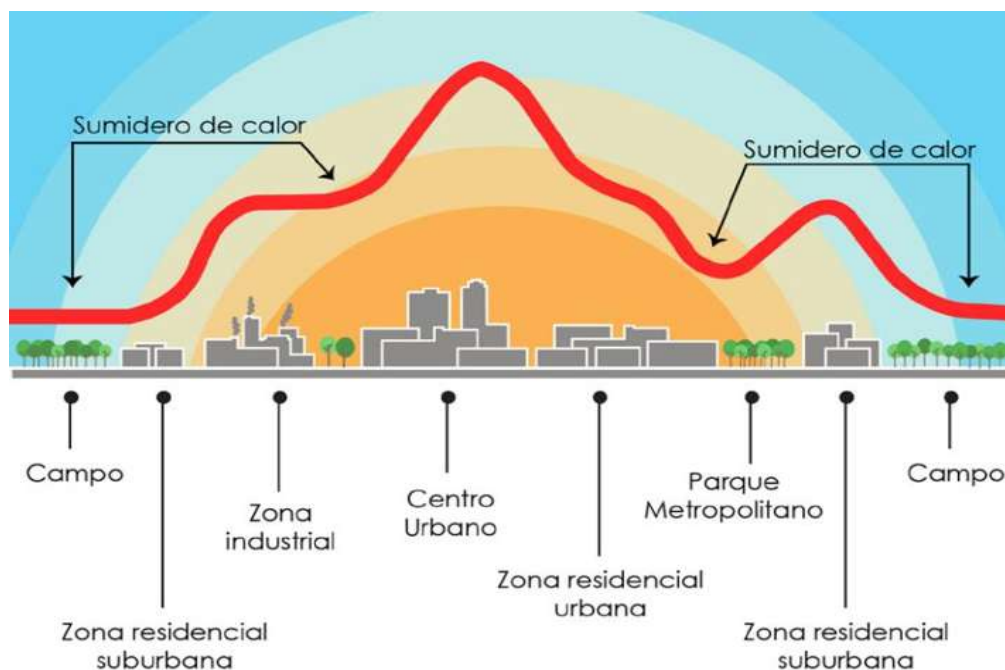


Ilustración 32: Esquema general de la isla de calor de la zona rural y centro urbano

Para realizar una descripción de la isla de calor y su comportamiento se realiza a 3 parámetros: intensidad, forma o configuración y localización de su máxima temperatura.

Intensidad de la isla de calor: Es una medida de su magnitud, la cual se refiere a la máxima diferencia de temperatura en su máximo térmico dentro de la capa de dosel urbana con respecto al entorno natural circundante. En la medición de la intensidad intervienen factores que se deben considerar como la altitud, morfología,



velocidad del viento, nubosidad y la topografía de la zona estudiada. Varía dependiendo de la hora del día y la estación del año (Ilustración 33).

Forma o configuración de la isla de calor: Los isotermas se caracterizan por tener una distribución espacial que adquieren la forma o configuración a la de una isla y se ajustan a la forma de la ciudad, representa un valor que es la diferencia de la temperatura del sitio con respecto a la rural circundante que se toma como referencia y depende directamente de las características urbanas de la ciudad, la forma y orientación de la isla de calor se modifica con respecto al espacio-temporal del día o de la estación del año (Ilustración 33).

Máximo térmico: En la isla de calor se localiza un máximo punto de diferencia de la temperatura que por lo general se localiza en centro de la ciudad con respecto al área rural de referencia, es el área de máxima temperatura de la ciudad. Generalmente se produce dos o tres horas después de la puesta del sol, al mediodía suele ser muy pequeña, e incluso, algunas ciudades registran una temperatura menor que su alrededor a esta hora del día (Ilustración 33).

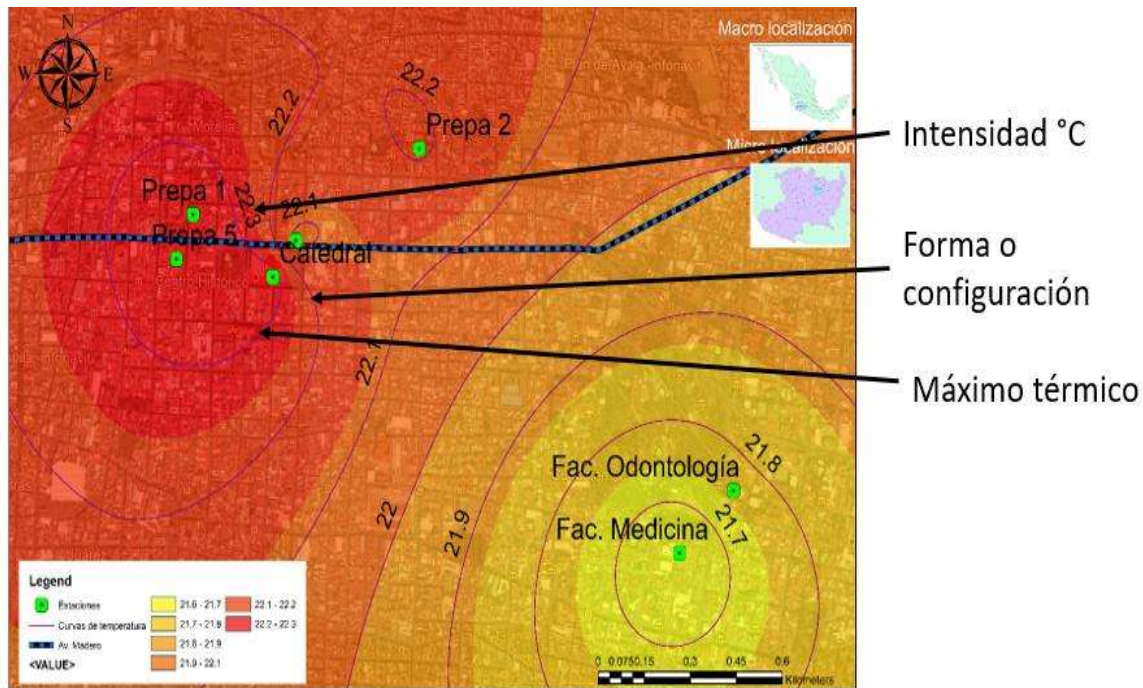


Ilustración 33: Intensidad, forma o configuración de la isla de calor y el máximo térmico.

Estas características pueden variar y ser distintas en cada ciudad, en función principalmente de los siguientes factores:

- Temporal (Momento del día y estación del año)
- Meteorológico (estado del tiempo de la ciudad)
- Urbano (referido a las características urbanas)
- Geográfico (localización de la ciudad incluido su topografía)

3.8.1.- CARACTERÍSTICAS DE LA ISLA DE CALOR URBANA

Las islas de calor son diferentes ya que dependen de la latitud, topografía, urbanización, intensidad, forma y su máximo térmico, pero existen patrones o características que son similares en todas las islas de calor, lo que ayuda a compararlas y entender mejor el comportamiento del fenómeno. Esas características similares se describen a continuación [49]:



- Los entornos naturales se caracterizan por registrar temperaturas estables y bajas a diferencia de las temperaturas de los espacios urbanos cercanos, que se caracterizan por un patrón de comportamiento distinto a diferente hora del día dependiendo de la puesta de sol.
- Las superficies urbanas absorben mayor cantidad de radiación solar en comparación con áreas naturales, lo que condiciona la temperatura del aire.
- Las diferencias de temperaturas del aire y de la superficie urbana se incrementan cuando existe un clima estable, sin movimiento del aire que no permita regular la temperatura.
- El tamaño e intensidad de la isla de calor depende del grado de desarrollo urbano de la ciudad, de la cantidad y distribución de la vegetación y del área de la ciudad.
- Las islas de calor provocan la generación de inversiones térmicas entorno a los 2 km de altitud sobre la zona urbana, como consecuencia existen concentraciones de contaminantes.

La velocidad del viento es quizá, el elemento meteorológico ante la que la intensidad muestra una mayor sensibilidad. Al incrementarse la velocidad del viento, la diferencia térmica urbano-rural disminuye (por la existencia de mayor movimiento del calor, lo que regula la temperatura) incluso unos límites de velocidad impiden el desarrollo de la isla de calor. Los valores de velocidad del viento varían dependiendo de la ciudad, de las dimensiones y estructura urbana, pero se pueden calcular con la siguiente relación:



$$U = 3.4 * \log P - 11.6 \quad (11)$$

Donde:

U = velocidad critica del viento, en m/s

P= el número de habitantes de la ciudad

La nubosidad es otro parámetro meteorológico limitante para la intensidad de la isla de calor, ya que, a mayor nubosidad, menor intensidad.

3.8.2.- ORIGEN DE LA ISLA DE CALOR URBANA

El centro urbano, donde existe un conglomerado más denso de construcciones y edificios, suele presentar las temperaturas más altas, debido al cambio de permeabilidad del suelo, cambio de uso de suelo y al calor antropogénico (Tabla 5).

Las causas del fenómeno de la isla de Calor Urbano pueden variar con respecto de la escala a la que este estudie dicho fenómeno y por consecuencia el tipo de isla de calor.

Tabla 5: Diferencia entre la ciudad-entorno de los principales elementos urbano-ambientales

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	COMPARACIÓN CON EL ENTORNO RURAL
Radiación	Global Ultravioleta, invierno Ultravioleta, verano Duración día-noche	2-10% menor 30% menor 5% menor 5-15% menor
Temperatura	Media anual Días de sol Mayor diferencia de noche	0.5-1°C mayor 1-2°C mayor 10°C mayor
Velocidad viento	Media anual Sin viento	20-30% menor 5-20% menor
Humedad relativa	Invierno Verano	2% menor 8-10% menor
Precipitaciones	Total	5-10% mayor



Nubosidad	Cielo cubierto Niebla en invierno Niebla en verano	5-10% mayor 100% mayor 30% mayor
Contaminación	Núcleos de condensación Mezclas gaseosas	10-100 mayor 10-50 mayor

Rizwand en 2008 menciona que la ICU es consecuencia de una serie de factores, los cuales los clasifica como controlables e incontrolables. Los factores controlables pueden ser manipulados por una planificación ambiental urbana, como las estructuras de la población (densidad de población, extensión urbana, medios de transporte) y el diseño urbano (altura de edificios, anchos de las calles, áreas verdes y materiales de construcción); por otra parte los factores incontrolables son fenómenos naturales que son imposible de evitar, por ejemplo las condiciones climáticas y meteorológicas de mesoescala, las características topográficas e hídricas de una zona (Ilustración 34).

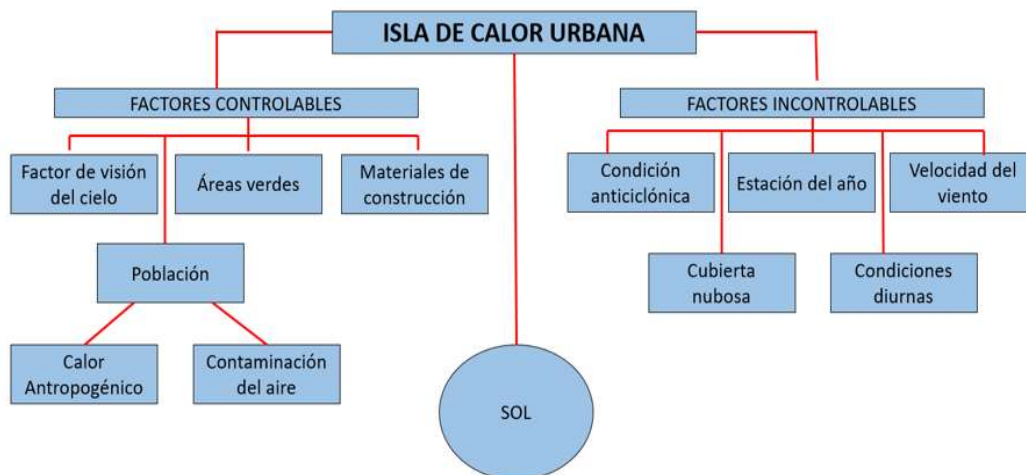


Ilustración 34: Factores incontrolables y controlables que afectan a la Isla de Calor Urbana [56]

3.8.2.1.- FACTORES DE LA ISLA DE CALOR URBANA

El desarrollo de las zonas urbanas y los cambios en las propiedades térmicas e irradiantes de su infraestructura tiene como principal consecuencia una isla de calor urbana. Entre los demasiados factores por mencionar algunos; los edificios altos



impiden la velocidad de enfriamiento de las ciudades ya que se disminuye el movimiento regular del viento. Las islas de calor urbana son cambios climáticos locales a diferencia del calentamiento global, pero los efectos de ambos fenómenos son similares ya que pueden incidir en un mayor consumo energético, afectar la salud y perjudicar los elementos ambientales locales [57] .

A continuación, se describen una serie de factores que contribuyen a la formación de las islas de calor urbanas.

Índice de vegetación: Las zonas rurales se caracterizan por tener un alto índice de árboles y vegetación lo que ayuda a regular la temperatura de la zona mediante el proceso natural de la evapotranspiración, donde las plantas liberan vapor de agua al ambiente. A diferencia de zonas urbanas donde existe una reducción de áreas verdes que han sido sustituidas por superficies impermeables como calles, banquetas, techos, plazas etc. Evitando que el agua se evapore, como consecuencia, la temperatura superficial y atmosférica aumenta (Ilustración 35).

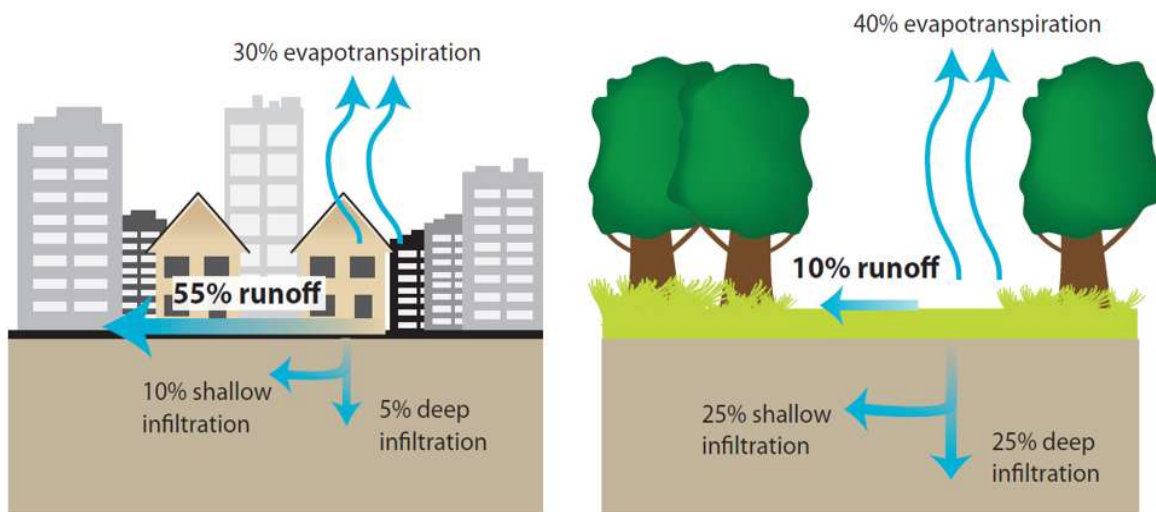


Ilustración 35: Zonas urbanas altamente desarrolladas que se caracterizan por superficies de 75%-100% impermeables, tienen menos humedad superficial disponible para la evapotranspiración que la cubierta natural del suelo que tiene menos del 10% de cobertura impermeable.

Propiedades de los materiales de construcción: Las principales propiedades que tienen influencia en el desarrollo de las islas de calor urbano son la reflectancia



solar, la emisividad térmica y la capacidad de calor de cada material, ya que determinan parámetros de como se refleja, emite y absorbe la energía solar. La mayor parte de la energía solar se encuentran en las longitudes de ondas visibles que al momento de tener contacto con la superficie de un material se refleja un porcentaje y el restante se absorbe por la superficie a su interior, fenómeno que se define como reflectancia solar o albedo de una superficie y se correlaciona con el color y rugosidad del material. La radiación solar que absorbe la superficie aumenta las temperaturas de la superficie y contribuye directamente a la formación de las islas de calor urbanas superficiales y atmosféricas.

Geometría Urbana: Una ciudad urbana se caracteriza principalmente por edificios, andenes, plazas y avenidas, con dimensiones y espaciamiento que limita la circulación del aire, la absorción de energía y la capacidad de los materiales de emitir la radiación de onda larga a la atmosfera, lo que conforma una geometría urbana que influyen en la contribución de la ICU especialmente en la noche, el ancho de calzada y la altura de los edificios generan masas térmicas que no pueden liberar el calor por la rugosidad urbana [58]. En la geometría urbana se estudian dos aspectos importantes que tienen influencia en la ICU, el primero es la relación existente entre el ancho de la calle y la altura de los edificios ubicados a los costados de la acera, fenómeno denominado como cañón urbano (Ilustración 36), dentro de la ciudad pueden existir varios cañones urbanos que impiden el enfriamiento de la ciudad por las noches y las estructuras urbanas obstruyen el calor que se libera [59].

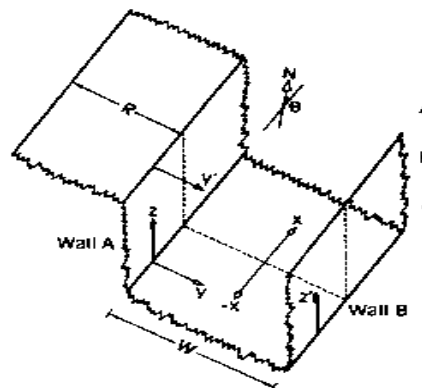


Ilustración 36: Geometría del cañón urbano

Segundo aspecto llamado Factor de Visión del Cielo o por sus siglas en inglés Sky View Factor (SVF), es el área visible del cielo desde cualquier punto dado de una superficie o ciudad, entre más altos sean los edificios menor porcentaje de cielo se observará desde un punto en específico.

Calor antropogénico: Derivado de las actividades cotidianas de la población y de las zonas industriales que interactúan entre sí se genera calor antropogénico, se estima sumando la energía utilizada en casas habitación como calefacción, refrigeración, electrodomésticos, transporte y los procesos industriales. El calor antropogénico contribuye a la formación de islas de calor urbanas y varía dependiendo de la ciudad, de las actividades urbanas, de la infraestructura y de la cantidad de transporte, generalmente es preocupante en zonas urbanas a diferencia de las rurales [60].

Densidad de población: Elemento que incide directamente a la isla de calor, tanto de uso residencial como de las actividades económicas, la distribución espacial de la isla de calor depende de los cambios de las densidades de población en diferentes periodos del día que se asocian a las actividades cotidianas e industriales de la población. Existe una correlación de 0.971 entre la densidad de la población y la temperatura que genera la isla de calor y que coinciden las zonas de mayor densidad urbana con las áreas de los máximos térmicos de la ciudad [61].



3.8.2.2.- EFECTOS DE LA ISLA DE CALOR URBANO

Las temperaturas elevadas que presenta el fenómeno de la isla de calor tiene efectos positivos como alargar la temporada de cultivo de las plantas, en la mayoría de los casos los impactos negativos son los más estudiados porque se afecta el medio ambiente y calidad de vida de los seres humanos en la ciudad, considerando como efectos negativos [62]:

- Incremento de consumo de energía
- Elevadas emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero
- Salud y confort humano
- Deterioro de la calidad del agua

Consumo de energía: Principalmente en la estación de verano la demanda de energía en las ciudades sufre un incremento, de forma particular en las tardes calurosas cuando las oficinas y los hogares tienen en funcionamiento los sistemas de enfriamiento, luces y electrodomésticos, generando una presión a la red eléctrica y picos de extrema demanda de energía, aumentando de 2 a 3% por cada 1°C de incremento de temperatura en verano, en la actualidad del 10 al 15% de demanda de electricidad es utilizada para compensar el efecto de isla de calor urbana. La relación de calor diario con la demanda eléctrica se estima con la cantidad llamada "Días de grados de enfriamiento" los cuales registran datos de temperatura por encima de 18°C que de forma general representa un ambiente confortable en el desarrollo de las actividades cotidianas humanas. Los días de grado de enfriamiento capturan la diferencia de temperatura que a la población le causa malestar o impedimento en la forma de desarrollarse de forma normal y que le gustaría eliminar mediante alguna forma de enfriamiento activo, las cuales son a través de aire acondicionado o por proceso de evaporación que requiere bombas de agua; lo que proporciona información sobre estaciones donde la demanda de energía para el enfriamiento se incrementa [63].

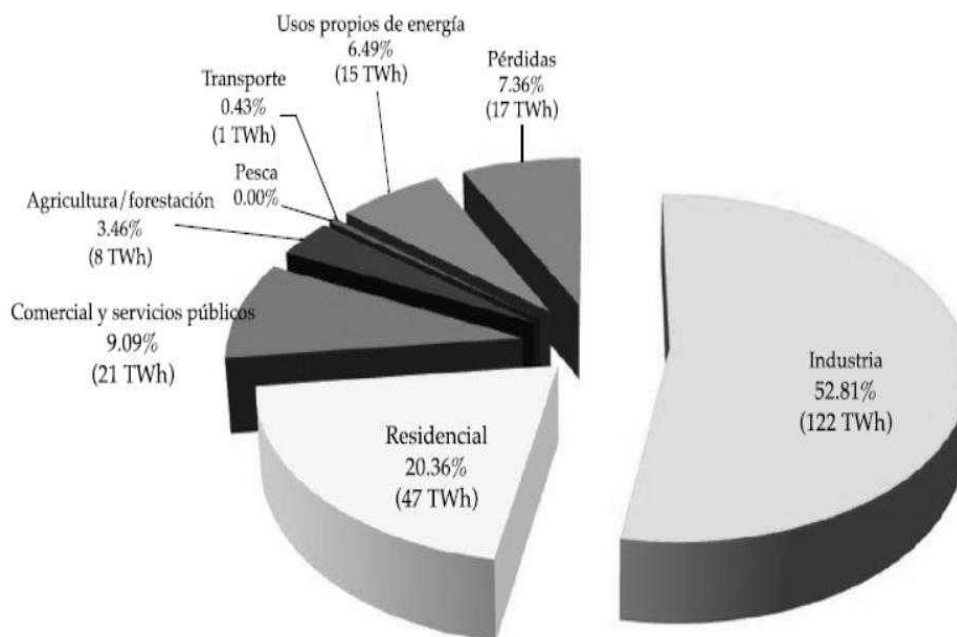


Ilustración 37: Consumo de energía eléctrica por sectores en México (%) [64]

El aumento de consumo de energía tiene efecto sobre la economía de la ciudad, para la ciudad de Los Ángeles (EE.UU) donde el incremento de la demanda energética es un 5% a 10% del total de la energía consumida, económicamente representa un coste adicional de los 100 millones de dólares al año [65] (Ilustración 37).

Calidad del aire y gases de efecto invernadero: El uso de la energía mejora considerablemente a calidad de vida de los habitantes, pero la forma de generación de electricidad provoca daños al medio ambiente. Al incrementarse el consumo de electricidad por las altas temperaturas, aumentará la contaminación del aire y las emisiones de gases invernadero (Ilustración 38), en México en el año 2011 el 43.77% de energía eléctrica se genera en centrales termoeléctricas con el uso de hidrocarburos (diésel, combustóleo, etc) y el 12.84% de estaciones hidroeléctricas (mediante el uso de carbón), generando emisiones de gases de dióxido de azufre



(SO₂), óxido de nitrógeno (Nox), partículas por millón (PM), monóxido de carbón (CO) y en algunos casos mercurio (Hg) [66].

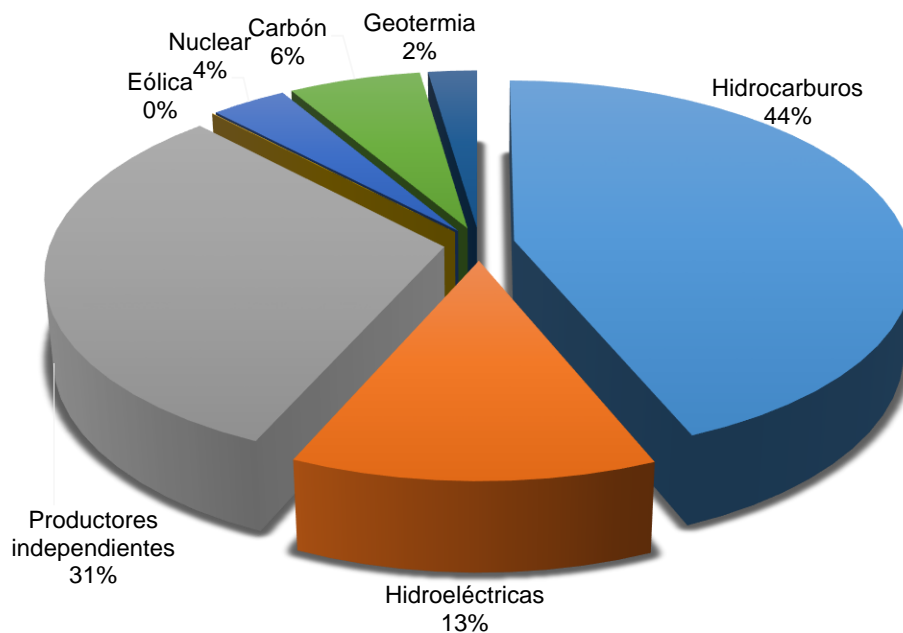


Ilustración 38: Generación de energía eléctrica en México, Diciembre del 2011 (Elaboración propia)

Salud y confort humano: El incremento de la temperatura, la contaminación y el enfriamiento nocturno asociado a las islas de calor tiene influencia en la salud y confort del ser humano, generando incomodidad general, dificultades respiratorias, calambres, el agotamiento y los golpes de calor. Las poblaciones más sensibles como niños, adultos mayores y personas con problemas de salud corren un riesgo



particular ante eventos de olas de calor que en los últimos años se ha ido recurrente y que incrementan las temperaturas en las islas de calor.

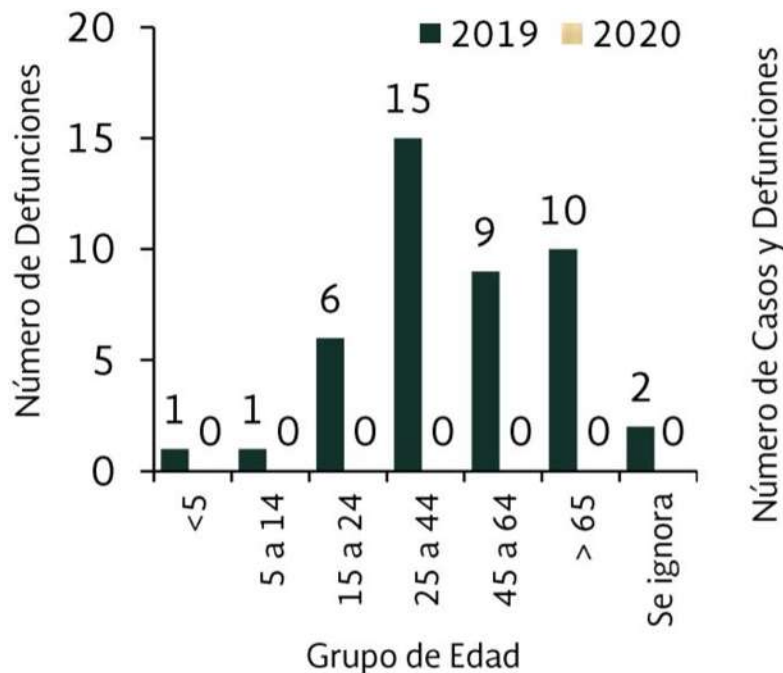


Ilustración 39: Comparación de defunciones registradas por temperaturas extremas por grupos de edad, temporada de calor 2019-2020 hasta la semana 13 [67].

La exposición prolongada en un ambiente con temperaturas elevadas provoca trastornos de deshidratación, enfermedades cerebrovasculares y síncope. Aunque no existen documentos de mortalidad asociadas directamente con las islas de calor, existen muertes indirectamente referidas a las olas de calor o temperaturas extremas (Ilustración 39) por problemas respiratorios derivado de la acumulación de



contaminantes que difícilmente se pueden dispersar (PM₁₀, Humos negros, SO₂, NO, CO) [68].

Calidad del agua: La isla de calor afecta la calidad de agua principalmente por la contaminación térmica, en verano la temperatura del agua de escorrentía puede incrementarse en un 15% en zonas urbanas a comparación de áreas rurales,

3.8.3.- TIPOS DE ISLA DE CALOR URBANA

3.8.3.1.- ISLA DE FRÍO

Dentro de las ciudades el microclima es una combinación de temperaturas, que comúnmente se ven afectadas por puntos específicos de temperaturas elevadas o bajas que se asocian a características del contexto urbano. Estas condiciones no solo afectan los espacios que la generan, también sufre una alteración las zonas aledañas en dirección del viento. Este contraste de temperatura se refiere principalmente a espacios reducidos dentro de la ciudad que comúnmente se asocian a cuerpos de agua, parques, jardines o zonas donde predomina la vegetación (Ilustraciones 40).

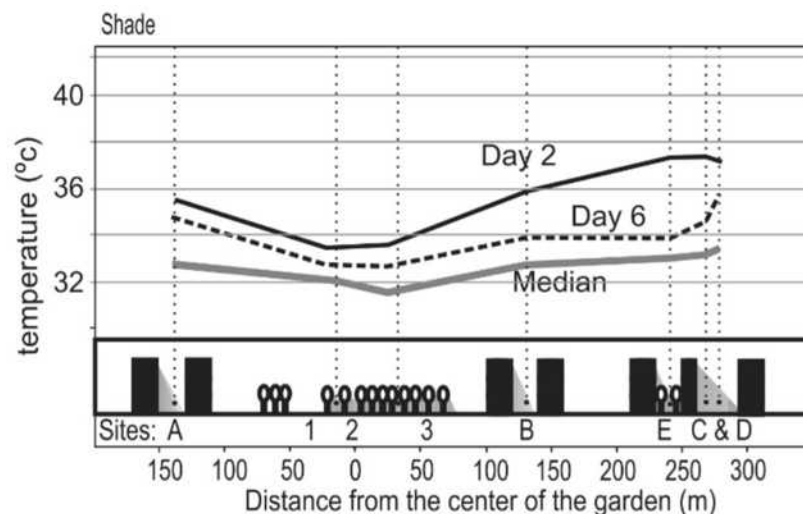


Ilustración 40: Temperatura en presencia de sombra, de área verde localizada dentro de la ciudad



Los espacios verdes crean un efecto de enfriamiento que puede extenderse a las áreas circundantes dependiendo de la dirección del viento, dicha condición es considerado como una *isla de frío*, concepto ocasionado por elementos que presentan características opuestas a las causantes de la isla de calor, por superficies con mayor albedo, humedad e infiltración, menor absorptividad, masa térmica y escorrentía, así como por elementos naturales dentro de la ciudad. Dicho efecto se estudia a microescala o en la escala local [69].

La vegetación se puede considerar como el principal componente del espacio urbano para el enfriamiento, aunque esto puede representar un obstáculo para la circulación del calor y un almacenaje del calor de la tierra, pero facilitan el enfriamiento durante la noche. El incremento de zonas verdes es más efectivo que la sustitución de superficies artificiales por otras con mejores características térmicas, aunque se reconoce que su distribución no debe ser aislada porque su influencia en el microclima se reduce, en cambio una alta concentración de vegetación en relación a la zona urbana incrementa la intensidad de enfriamiento y esto contribuye a un enfriamiento de las zonas circundantes [70] (Ilustración 41).

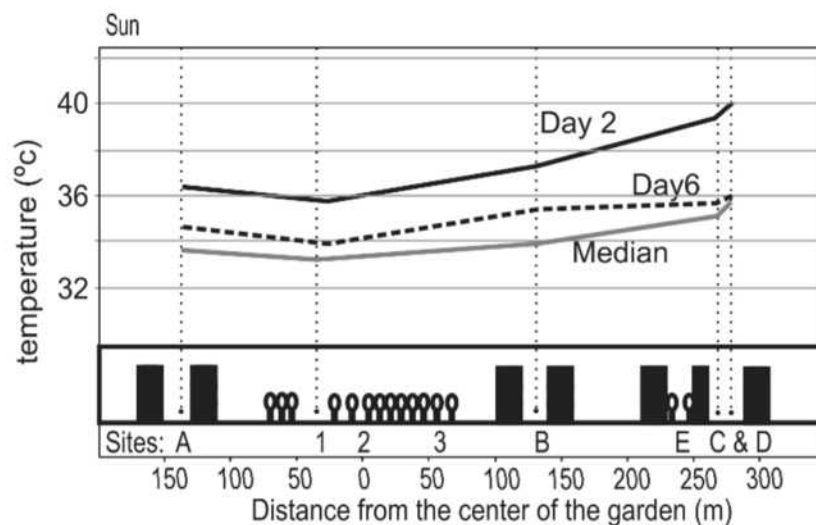


Ilustración 41: Temperatura de zona urbana con área verde, donde se identifica la isla de frío



3.8.3.2.- ISLA DE CALOR URBANA SUPERFICIAL

La isla de calor superficial se genera cuando las superficies de suelos, banquetas, andenes, calles, techos y fachadas presentan una temperatura superior a la del aire con temperaturas de 27 a 50°C (50 a 90°F) y las superficies sombreadas, húmedas o rurales registran temperaturas cercanas a las del aire. De forma general la isla de calor superficial se produce tanto en el día como en el transcurso de la noche, pero tiende a ser más fuerte durante el día cuando el sol está más alto y el cielo claro.

Para obtener la isla de calor superficial se emplean métodos de medición directos o indirectos, modelos numéricos o métodos de estimación empíricos. En la mayoría de los casos se recurre a técnicas de medición indirecta para la estimación de la temperatura superficial, la cual se obtiene con el soporte de mapas térmicos e imágenes radiométricas con equipos sofisticados, que se realizan in situ [71].

3.8.3.3.- ISLA DE CALOR URBANA ATMOSFÉRICA

La isla de calor atmosférica se identifica con la diferencia de temperatura del aire entre las áreas urbanas y las rurales. Específicamente se conocen dos tipos de isla de calor:

- La isla de calor atmosférica a nivel de suelo que existe en la capa de aire que afecta de forma directa a los habitantes, entre el suelo y el nivel superior de los techos o árboles.
- La isla de calor atmosférica de la capa en altura vertical que comienza en los techos o árboles y se logra extenderse hasta el punto en el que el paisaje urbano influye en la temperatura del aire. Esta escala alcanza una altura no mayor a 1.5 km.



3.8.4.- ESCALAS DE LA ISLA DE CALOR URBANA

3.8.4.1.- ESCALAS HORIZONTALES

Escalas que delimitan el alcance territorial del estudio de las variaciones climáticas

- a) **Mesoescala:** Escala que corresponde al espacio que ocupa la totalidad de la ciudad, dependiendo del territorio de la ciudad puede abarcar entre 10 y 200 kilómetros (km).
- b) **Escala local:** Abarca una zona del centro urbano, un conjunto de edificaciones y vialidades dentro de una ciudad más extensa, escala de 50 a 100 km.
- c) **Microescala:** Concierno al entorno inmediato de los objetos, es una escala más específica o puntual, la cual se extiende a mil metros alrededor de edificios, arboles, caminos entre otros elementos de interés para el estudio. El estudio en esta escala se complica debido a la dificultad de medición por las características físicas y antropogénicas de cada espacio.

3.8.4.2.- ESCALAS VERTICALES

Son límites de influencia climática en las capas atmosféricas sobre la altura de los edificios, se concentran en dos grupos: (1) Las capas de la atmósfera y (2) las capas de influencia urbana en la atmósfera.

Las capas de la atmosfera contemplan los límites en los cuales existe una relación de cualquier superficie del planeta con las diferentes porciones del aire, independientemente de la zona en la que se encuentre, rural, urbano o natural. En este caso hay cuatro capas y dos sub-capas [72]

- a) **Capa Límite Planetaria (PBL):** Es el estrato de aire en el que la turbulencia atmosférica originada por desequilibrios térmicos, produce una intensificación de los movimientos turbulentos del aire, la altura aproxima es



de entre 600 y 800 metros y se divide en dos regiones la región externa o Ekma y la región interna o superficial.

- b) Capa Exterior o Ekma (OL):** Es la capa donde la influencia de las superficies se mezcla con las condiciones atmosféricas de la región y comprende el 90% superior de la PBL.
- c) Capa interna o superficial (SL):** Es la capa más baja de la PBL y se encuentra entre los 50 y 100 metros de altitud desde la superficie, es la región donde se llevan a cabo las actividades de la biosfera y depende de la estructura del territorio, se estudia en la escala local y está compuesta por las sub-capas inercial y de rugosidad.
- d) Sub-Capa inercial (ISL):** región donde interactúan los vientos que han sido modificados por la superficie y las condiciones atmosféricas regionales y es la que funciona como reguladora de la influencia del comportamiento térmico de las superficies.
- e) Sub-capa de rugosidad (RSL):** La turbulencia y los perfiles promedio depende de la interacción de la estructura de elementos rugosos y el intercambio de materia y energía entre la superficie y el aire, se estudia en la microescala.

Nivel estándar: Es la capa más próxima a la superficie y con la cual interactúan directamente los seres humanos, comúnmente se encuentra a 1.5 metros de altura de la superficie y se estudia en la microescala y es recurrida para las mediciones en sitio.

A la par, las capas de influencia urbana en la atmosfera son los límites de influjo climático que las superficies de los elementos de las ciudades tienen en las proporciones de aire en diferentes alturas, de estas se conocen cuatro:

- a) Capa Límite Urbana (UBL):** Es la capa de la atmosfera más próxima a la superficie, en la cual se encuentra el conjunto de escalas horizontales, se encuentra por lo general entre los 600 y 1500 metros en el día y 100 a 300

metros en la noche y puede superar la OL de la PBL y la interacción que tiene la atmosfera con las zonas rurales próximas se le da el nombre de “penacho urbano”.

- b) **Penacho urbano (UP):** Es una prolongación de la Capa Límite Urbana en la dirección que lleva el viento y el alcance depende en mayor medida de su intensidad, en condiciones estables no se produce.
- c) **Capa Límite Rural (RBL):** Se define como el alcance de las influencias en las temperaturas atmosféricas de las superficies rurales y naturales, donde coincide con el límite de la UBL y la extensión depende del UP.
- d) **Capa de Canopia Urbana (UCL):** o también llamada *palo urbano*, es la altura inmediata del contexto urbano, el límite se encuentra en la altura media de las edificaciones y en copas de los árboles, está influenciada principalmente por las superficies por lo que se estudia en la microescala urbana (Ilustración 42).

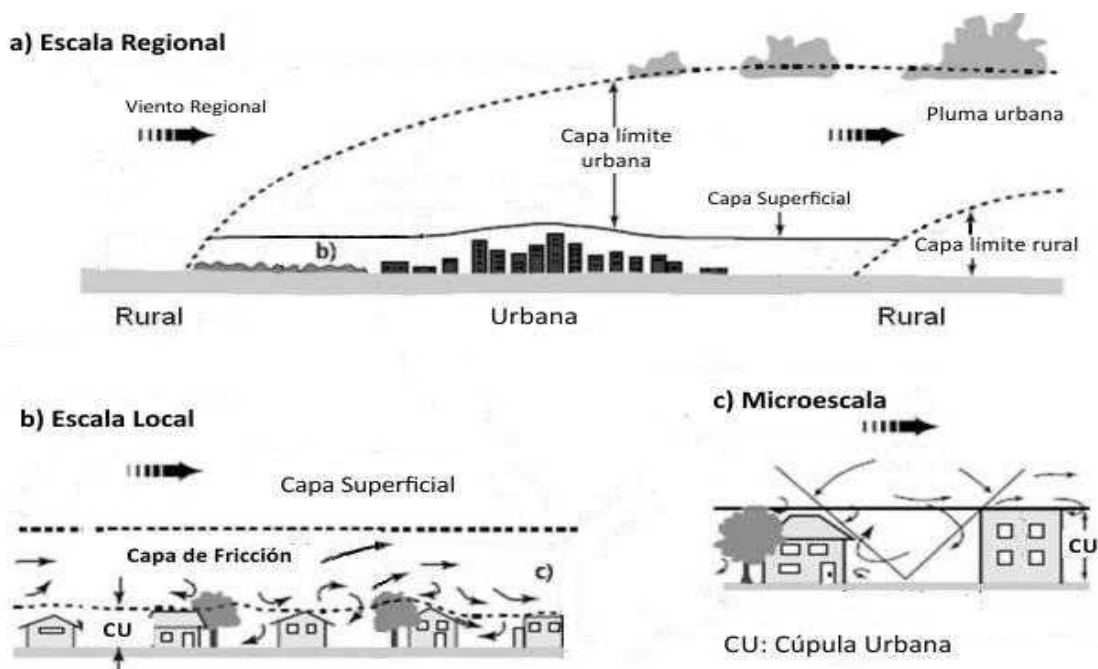


Ilustración 42: Capas límites verticales del clima urbano



4.-DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1.- ZONA DE ESTUDIO



4.1.1.- TERRITORIO

Morelia es la ciudad capital del estado de Michoacán de Ocampo, así como la cabecera del municipio, se encuentra situada en el valle de Guayangareo, formado por un repliegue del eje neo volcánico transversal, en la región norte del estado, su distancia a la capital de la república es de 315 km. Se localiza a una altura de 1951 metros sobre el nivel del mar (msnm) en las coordenadas 19°46'6" N 101°11'22" O. Su superficie territorial es de 1,193.95 km² lo que representa el 2.04% de la superficie total estatal. Constituye el área urbana número 1 del estado con 67.42 km². La superficie destinada a la agricultura es de 393.05 km² y cuenta con 293.98 km² de bosque, lo que ubica a Morelia en el 6° y 7° lugar en el estado respectivamente.

El municipio de Morelia colinda al norte con los municipios de Huaniqueo, Chucándiro, Copándaro y Tarímbaro, al este con Charo y Tzitzio, al sur con Villa



Madero y Acuitzio, al oeste con Pátzcuaro, Huiramba, Lagunillas, Tzintzuntzan, Quiroga y Coeneo [73].

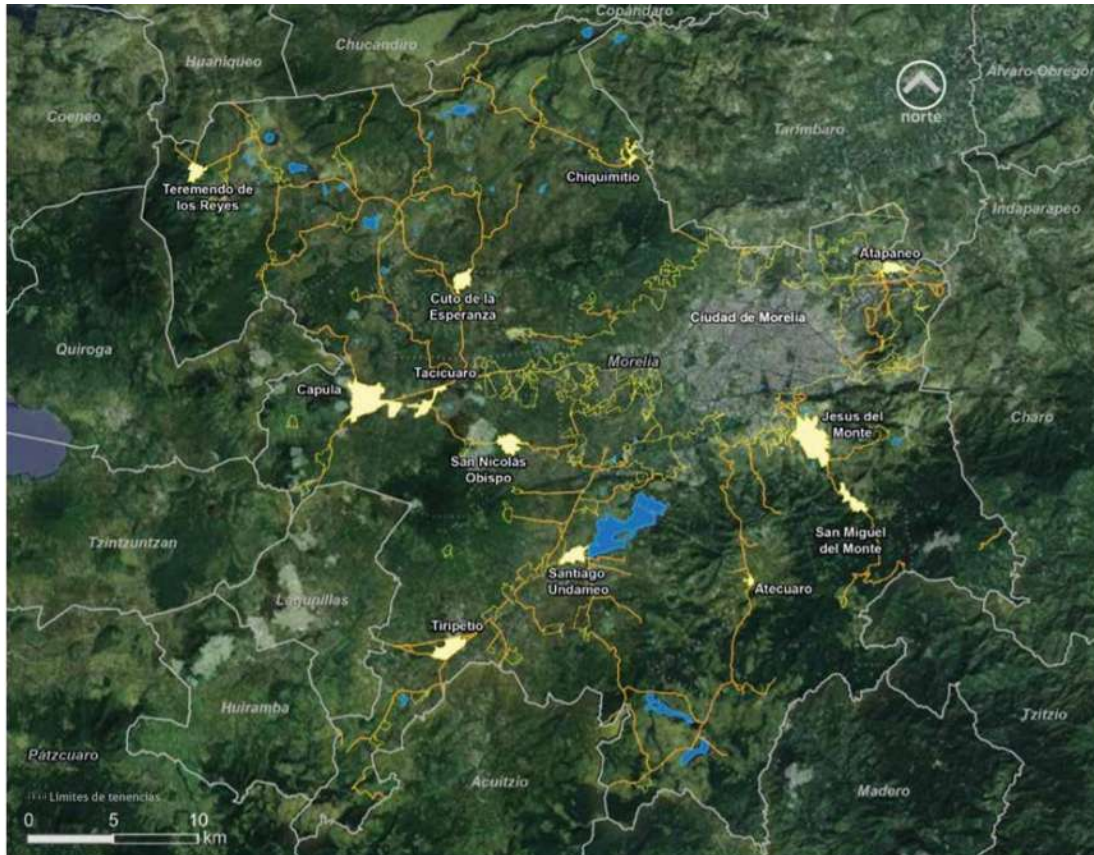


Ilustración 43: Imagen satelital del Municipio de Morelia y los municipios colindantes [74].

El municipio de Morelia tiene los límites latitudinales entre las coordenadas de 19°51'45" y 19°26'50" al norte del ecuador, mientras que las fronteras longitudinales se ubican a 101°30'33" y 101°02'34" al oeste del meridiano de Greenwich. Se encuentra al centro-norte del estado de Michoacán, en la región III Cuitzeo. Forma parte de la zona metropolitana de Morelia en conjunto con los municipios de Tarímbaro, Álvaro Obregón y Charo.

La superficie del municipio representa un reto a la planeación territorial. Las operaciones que normalmente se instrumentan para transformar las condiciones de



vida no se toman en cuenta los fundamentos geográficos básicos, dado que en la actualidad no se puede realizar el diseño territorial sin un análisis espacial [75].

4.1.2.- POBLACIÓN

El municipio tiene 207 localidades y cuenta con un total de 729,279 habitantes al año 2010, para el 2015 un total de 784, 776 habitantes, donde el 47.4% (372,358 hab) representan los hombres y el 52.6% (412,418 hab) son mujeres [76] (Ilustración 44). El total de viviendas en el municipio es de 256,745 y 190,537 viviendas habitadas que corresponden al 74% del total y el 26% se encuentran deshabitadas.

La población de las principales localidades en el municipio se muestra en la siguiente tabla 6, donde la ciudad de Morelia es la de mayor población con respecto a las demás localidades de municipio (Ilustración 45):

Tabla 6: Habitantes en las principales localidades del municipio de Morelia [74]

Localidad	Habitantes
Morelia (Ciudad)	597,511
Morelos	13,565
Villas del Pedregal	10,934
Misión del Valle	8,663
La Aldea	6,162
Capula	5,086
Villa Magna	4,577
Villas de la Loma	4,336
Jesús del Monte	4,182

La edad mediana de la población es de 26 años, siendo en los hombres de 25 años y en las mujeres de 27 años de edad. En el Estado de Michoacán el municipio con mayor población es Morelia, precedido de Uruapan con una población de 315,350 habitantes (Ilustración 45).

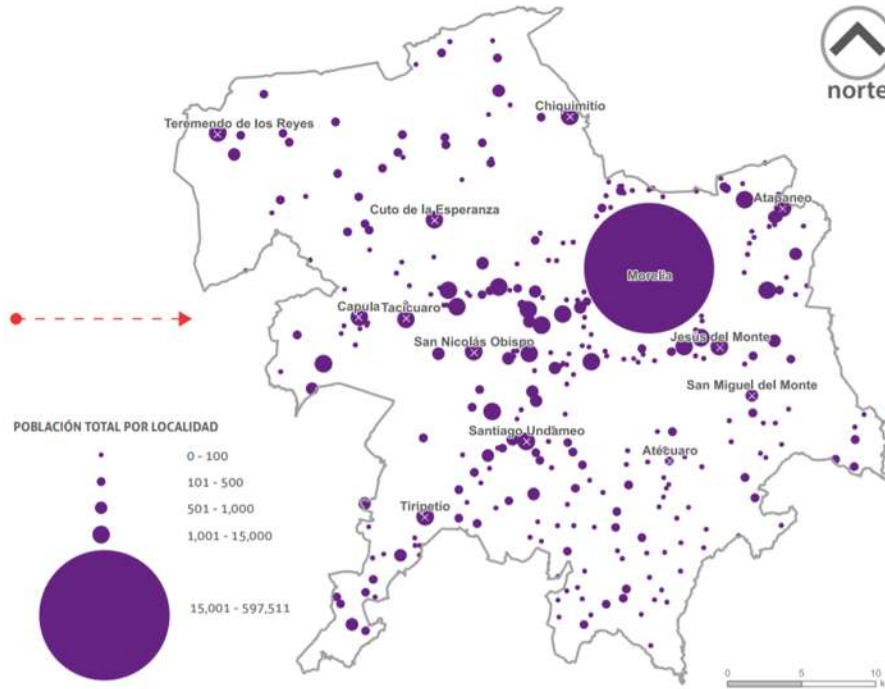


Ilustración 44: Población por localidad en el municipio de Morelia

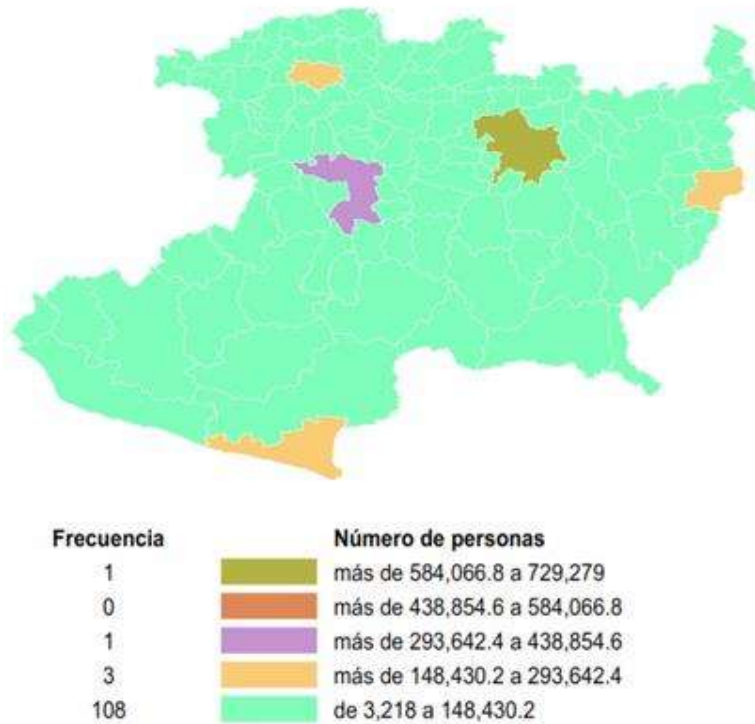


Ilustración 45: Población Total de 2010 de Morelia Michoacán [74]



Los municipios con una alta densidad de población para el año 2015 en el estado de Michoacán son: primeramente, el municipio de Morelia con 658.1 hab/km², precedido de Sahuayo con 597.8 hab/km², Jacona con 587.6 hab/km², y Zamora con una densidad poblacional de 585.6 hab/km², siendo los 4 municipios con una mayor densidad [74].

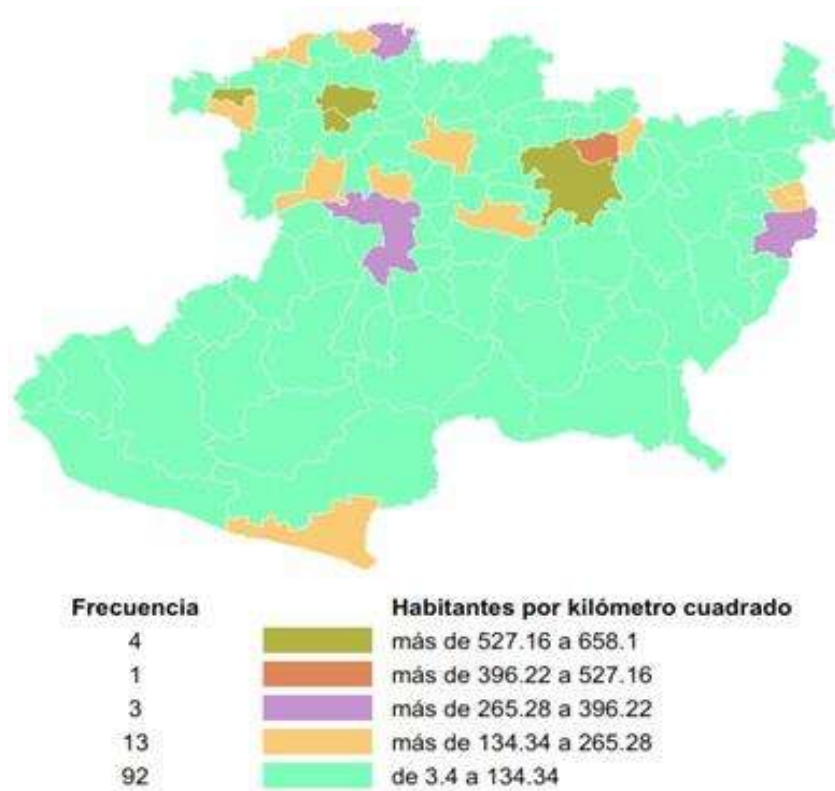


Ilustración 46: Densidad de población 2010 (hab/km²) del estado de Michoacán [74]

En la ilustración 46 se muestra la distribución de la densidad de población del resto de los municipios del estado de Michoacán, donde destaca que existen 92 municipios con una baja densidad de población que va de 3.4 hab/km² a 134.34 hab/km², estos municipios se caracterizan por tener una baja área urbana y baja población con respecto a los municipios que son considerados como ciudades.



4.1.3.- CLIMA

Las temperaturas medias mensuales en la ciudad son de 18.9°C anuales, los valores varían en un intervalo de los 15 a los 22 °C. Las temperaturas máximas promedio son de 27°C y van desde los 24 hasta los 30 °C y las mínimas en promedio se registran en los 10°C. El mes más frío es enero y el mes como una temperatura más cálida es mayo, la precipitación en la ciudad media anual es de 795 mm y los meses con mayor lluvia son junio y agosto, donde la temporada de lluvias es de mayo a octubre.

Tabla 7: Clima en la Ciudad de Morelia, Michoacán

Descripción	%de la superficie municipal
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, mayor humedad	0.53
Semicálido con lluvias en verano, humedad media	0.99
Templado subhúmedo con lluvias en verano, mayor humedad	23.12
Templado subhúmedo con lluvias en verano, humedad media	75.36

Los vientos dominantes proceden del suroeste y noroeste, variables en julio y agosto con intensidades de 2.0 a 14.5 km/h. En la historia de Morelia existe el registro de solo una nevada en febrero del año de 1881 que cubrió por completo la ciudad.

4.1.4.- RECURSOS NATURALES

En Michoacán se registran 438 especies endémicas de flora y fauna en una superficie de 58,994 km², en el municipio de Morelia se concentra el 9.13% de las especies endémicas de la entidad (Ilustración 47). Morelia cuenta con diferentes altitudes en las localidades, diferente clima y tipo de suelo; por lo que existe una variabilidad en la vegetación: en las partes montañosas del sur predominan las coníferas (pinos, encinos y madroños); en la zona del norte, se encuentra vegetación como arbustos y matorrales (mezquites, cazahuates, “uña de gato” y



huisaches), en la región del sureste de la ciudad se encuentra el bosque “Lázaro Cárdenas”, que es una reserva ecológica. Y en general la flora comprende especies como el encino, caquahuate, granjeno, jara, sauce, pirúl, cedro blanco, nopal, huisache, pasto, girasol, maguey, eucalipto, fresno y álamo [77].

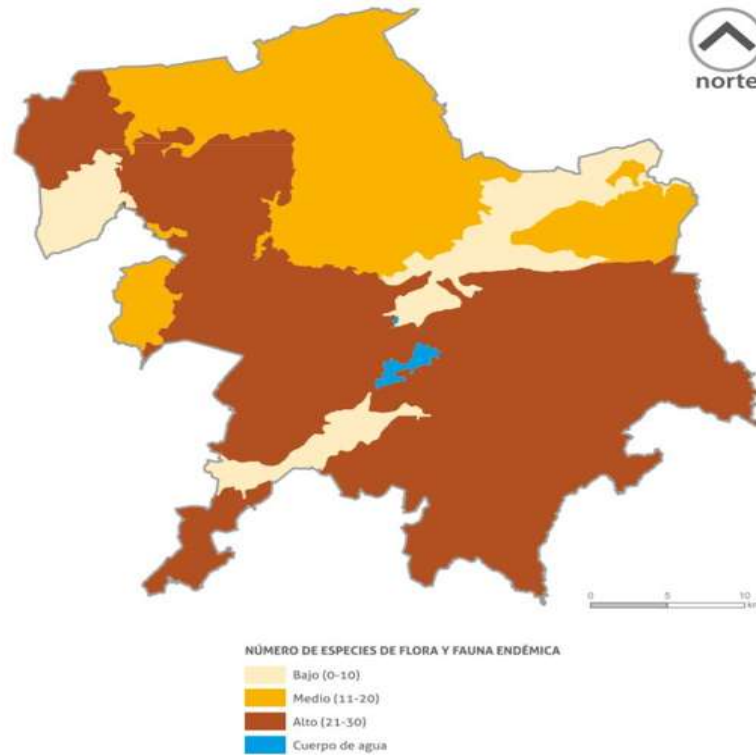


Ilustración 47: Mapa de número de flora y fauna endémica del municipio de Morelia



4.2.- ELABORACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

1. Las estaciones se elaboraron con 6 platos “tranche” de melamina en color blanco de 9” de diámetro, que sirven de protección para el equipo HOBO, se realizaron 3 perforaciones en cada plato, donde se coloca el tornillo de sujeción para evitar el movimiento (Ilustración 48).



Ilustración 48: a) Perforación de orificios para los tornillos de sujeción, b) Platos de estación perforados para tornillos

2. En el segundo plato de arriba hacia abajo se fijó con pegamento una tapa de frasco donde se coloca el sensor Hobo (Ilustración 49), para evitar que este expuesto a la intemperie y así obtener una mejor lectura de los datos (Ilustración 50).



Ilustración 49: Porta-Hobo, con tapa de frasco para protección del equipo



Ilustración 50: Colocación del Hobo en el plato de melamina

3. El tercer, cuarto y quinto plato de la parte superior hacia abajo, se perforaron al centro, con una broca para acero de 3" de diámetro, que permite la circulación del aire para la lectura (Ilustración 51).



Ilustración 51: Perforación circular al centro del plato, con diámetro de 3"

4. Para la separación de los 6 platos se utiliza 6 taparrosas de refresco de 2 cm de ancho, con orificio al centro donde entra el tornillo y 3 de manguera de 6 cm de longitud (Ilustración 52).



Ilustración 52: Separadores de platos utilizando pedazos de manguera y taparrosas

5. El armado se realizó con ayuda de 3 tornillos de 20 cm de longitud con cuerda en la parte superior, 6 rondanas para la parte inferior y 3 tornillos tipo mariposa para la sujeción de los 6 platos de cada estación (Ilustración 53).



Ilustración 53: Armado y sujeción de las estaciones

6. De acuerdo a la literatura las estaciones deben estar a una altura de 1 m, por lo que se llevó a un herrero, para elaborar una cruceta con acero inoxidable la cual se soldó a un tubo de 1.5" de diámetro y una longitud de 1 m.



Ilustración 54: Cruceta de acero inoxidable soldada a tornillos de sujeción de estaciones.

7. Para garantizar una mayor estabilidad de las estaciones en ambientes agresivos (viento, lluvia etc.) se elaboran vigas con concreto de resistencia de 250 kg/cm^2 , en las cuales se embeben los tubos, para asegurar su verticalidad (Ilustración 55).



Ilustración 55: Colado de vigas con concreto de 250 kg/cm^2

4.2.1.- CALIBRACIÓN DE SENSORES HOBOS

1. Para la investigación se utiliza un HOBO de la marca ONSET computer corporation (Ilustración 56), que permite tomar lecturas de humedad relativa, temperatura, intensidad de luz, punto de rocío y humedad de absoluta;



funciona mediante una pila de botón de medida CR-2032 (litio), se configura para tomar lecturas desde intervalos de 3 segundos hasta intervalo de un día, con una precisión aproximadamente ± 1 minuto por semana de tiempo y $\pm 1^\circ\text{C}$ de precisión de temperatura; el cual funciona dentro de un rango de temperatura desde -40°C a 75°C , % humedad relativa desde 0 hasta 95% sin condensación [78].



Ilustración 56: Sensor HOBO empleado en la investigación [78]

2. El sensor HOBO almacena y captura los datos, los cuales se descargan a una computadora mediante el software BoxCar Pro 4.3 (Ilustración 57).

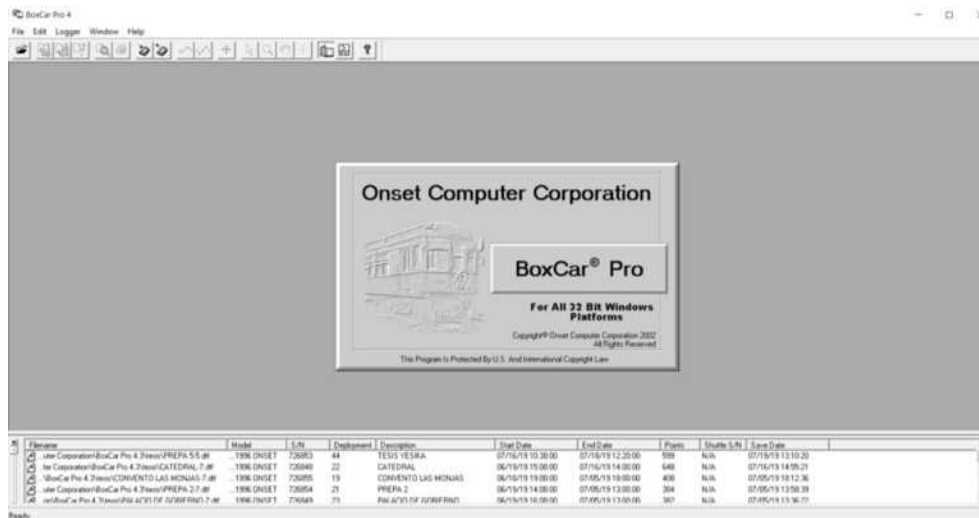


Ilustración 57: Software de descarga y almacenamiento de datos capturados por sensor HOBO.



3. La calibración se realiza conectando los sensores al software y se configuran para que realicen lecturas a intervalos de 1 minuto (Ilustración 58); se colocan en una misma superficie con separaciones entre sensores de 10 a 15 cm (Ilustración 59); después de 10 minutos son retirados y conectados nuevamente al software para verificar sus lecturas, si los valores obtenidos en cada sensor varían ± 1 °C, se define que los sensores están calibrados.

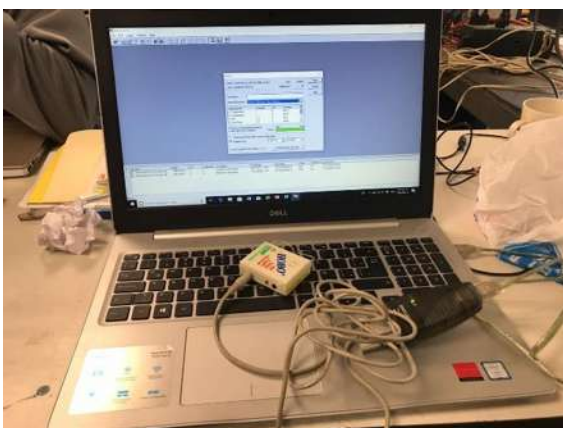


Ilustración 58: Configuración de los sensores con intervalos de 1 minuto



Ilustración 59: Calibración de los sensores, con separación de entre 5 y 10 cm

4.2.2.- UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES

Las estaciones propuestas se ubican en lugares estratégicos y con una factibilidad para el monitoreo, por lo que las 8 estaciones fueron ubicadas en edificios donde se facilita el acceso, la mayoría de las estaciones se localizan en edificios dependientes de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Palacio de Gobierno, Convento de las monjas y Catedral de Morelia.

Para una mayor exactitud, de cada estación se obtuvo sus coordenadas geográficas, así como la altitud y las características de losa de cada edificio (Tabla 8).



Tabla 8: Localización geográfica de las estaciones propuestas

Clave	Nombre Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (m.s.n.m.)	Características losa
FACOD	Facultad de Odontología	19.6989	-101.1773	1917	Impermeabilizado rojo
FACME	Facultad de Medicina	19.6956	-101.1797	1917	Impermeabilizado rojo
PALGO	Palacio de Gobierno	19.7031	-101.1917	1917	Impermeabilizado rojo
CATMO	Catedral de Morelia	19.7019	-101.1922	1917	Impermeabilizado rojo
PRE01	Colegio Nacional y Primitivo de San Nicolás de Hidalgo	19.7037	-101.1949	1917	Impermeabilizado rojo
PRE02	Preparatoria "Ing. Pascual Ortiz Rubio"	19.7054	-101.1879	1917	Impermeabilizado rojo
PRE05	Preparatoria "Melchor Ocampo"	19.7026	-101.1954	1917	Impermeabilizado rojo
CONMO	Convento de las Monjas	19.7029	-101.1884	1917	Impermeabilizado rojo

4.2.3.- MONITOREO DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS

1. El monitoreo de las estaciones se realiza 1 vez a la semana, durante las 4 estaciones que se presentan en el transcurso del año y así conocer el comportamiento y variación de la temperatura en cada estación, lo que ayudara a determinar la época del año con mayor temperatura.
2. Se desatornillan las mariposas de los 3 tornillos que sujetan los 6 platos de la estación para quitar el plato número 1 de la parte superior (Ilustración 60).



Ilustración 60: Monitoreo de la estación, se giran las mariposas para levantar el plato número 1.

3. Se levanta el primero plato, se quitan las mangueras que fungen como separadores y se levanta el tercer plato el cual tiene el equipo oculto en la tapa de frasco, se retira el HOBO (Ilustración 61).



Ilustración 61: Segundo plato en el que se encuentra el HOBO, se retira para su monitoreo

4. El sensor HOBO es llevado a un lugar libre de los rayos solares y se conecta al software BoxCar Pro 4.3, al conectarlo se indica el porcentaje de batería y



posteriormente nos proporciona los datos guardados en la memoria (Ilustración 62).

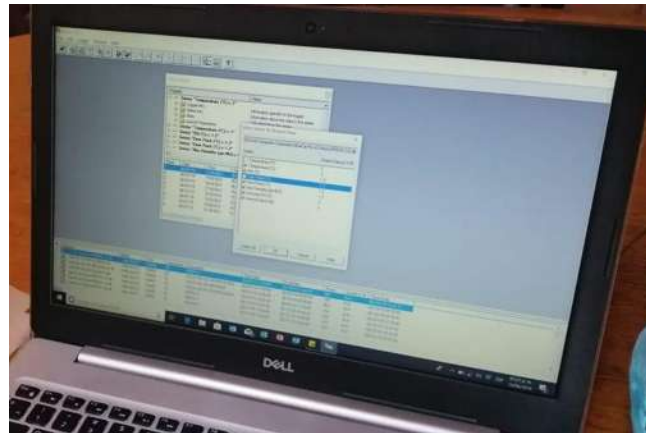


Ilustración 62: Datos guardados en el HOBO (Temperatura, Intensidad de luz, Punto de rocío, % humedad relativa)

- Al guardar los datos capturados por el HOBO, el software nos presenta una gráfica de los datos, graficando en el eje X el día de la lectura y en el eje Y el valor obtenido de cada dato guardado (Ilustración 63).

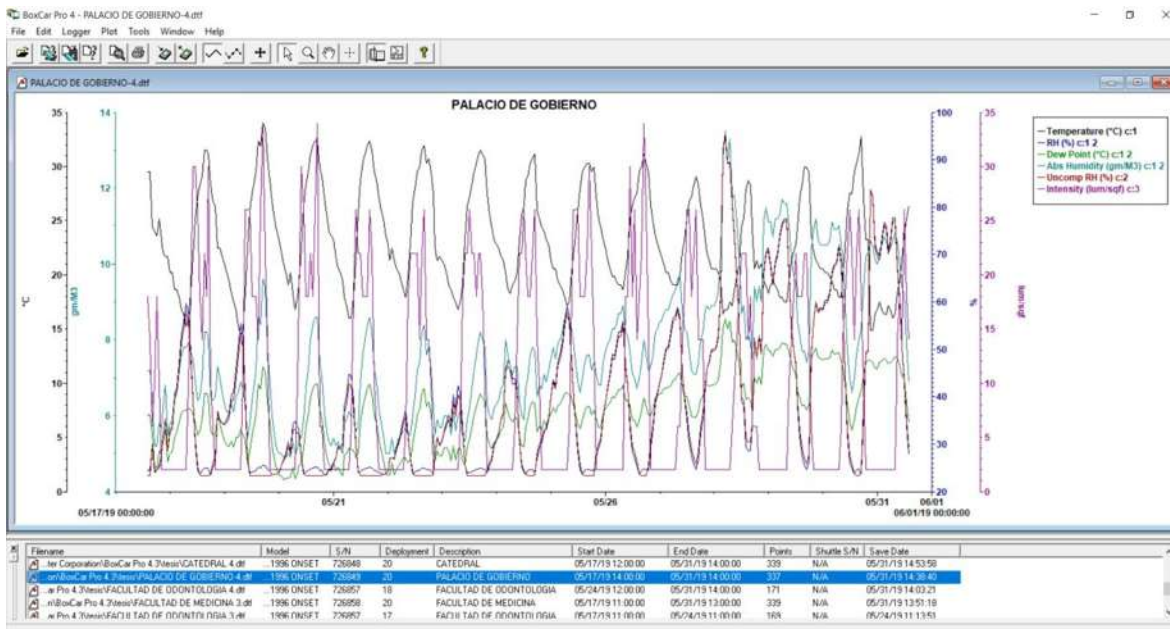


Ilustración 63: Grafica obtenida por el Software BoxCar Pro 4, donde se grafican los datos obtenidos de los parámetros climáticos.



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO



6. Los datos obtenidos tienen un formato .dtf y para ser usados son convertidos a .xlsx (Excel), donde se administran y se evalúan para determinar los promedios mensuales y anual de temperatura, % humedad relativa, intensidad de luz y punto de rocío (Ilustración 64).

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Date/Time	Temperature	RH (%) c:1 2	Dew Point (*C	Abs Humidity	Uncomp RH (%)	Intensity (lum/sq) c:3				
2	06/19/19 10:00	24.79	37.3	9.22	8.5	38.2	32	Serial Number	Series: Temperature (*C) c:1		
3	06/19/19 11:00	23.63	39.4	9.01	8.4	39.9	23	Serial Number	Series: RH (%) c:1 2		
4	06/19/19 12:00	25.17	34.6	8.47	8	35.6	23	Serial Number	Series: Dew Point (*C) c:1 2		
5	06/19/19 13:00	24.79	33.1	7.46	7.5	33.9	14	Serial Number	Series: Abs Humidity (gm/M3) c:1 2		
6	06/19/19 14:00	27.12	39.1	7.64	7.5	30.6	14	Serial Number	Series: Uncomp RH (%) c:2		
7	06/19/19 15:00	29.5	24.6	7.18	7.3	25.8	20	Serial Number	Series: Intensity (lum/sq) c:3		
8	06/19/19 16:00	30.71	24.1	7.87	7.6	25.1	26				
9	06/19/19 17:00	24.4	31.9	6.59	7.1	32.6	8	Series	Temperature (*C) c:1		
10	06/19/19 18:00	18.66	69	12.86	11	68.4	2	Logger Info	Information specific to the logger		
11	06/19/19 19:00	20.19	65.9	13.6	11.5	65.5	2	Model	HOBO TEMP, RH, LI, EXT (C) 1996 ONSET		
12	06/19/19 20:00	20.19	61.5	12.55	10.7	61.1	2	Serial Number	726857		
13	06/19/19 21:00	20.19	54.2	10.64	9.5	53.7	2	Memory Size	8192		
14	06/19/19 22:00	19.81	64	12.79	10.9	63.5	2	Extra Info	Information used by tech support		
15	06/19/19 23:00	19.42	66	12.91	11	65.5	2	Model Number	8		
16	06/20/19 00:00	18.28	74	13.58	11.6	73.6	2	Version Number	4		
17	06/20/19 01:00	17.52	75.7	13.19	11.3	75.2	2	Deployment	21		
18	06/20/19 02:00	17.52	74.9	13.03	11.2	74.4	2	Series Info	Information about the data in the series		
19	06/20/19 03:00	16.76	79.7	13.24	11.4	79.3	12	Points Used	386		
20	06/20/19 04:00	16	81	12.73	11	80.6	2	First Point	06/19/19 10:00:00.0		
21	06/20/19 05:00	15.62	81	12.37	10.8	80.6	2	Last Point	07/05/19 11:00:00.0		
22	06/20/19 06:00	15.23	82.3	12.24	10.7	82	2	Duration	16 Days 01:00:00.0		
23	06/20/19 07:00	14.85	81.1	11.64	10.3	80.6	2	Stats	Calculated from the series		
24	06/20/19 08:00	16	79.8	12.51	10.9	79.3	2	Wrap Count	0		
25	06/20/19 09:00	19.42	59.6	11.37	10	59	23	Max Value	31.52		
26	06/20/19 10:00	23.24	44.2	10.38	9.2	44.6	32	Min Value	11.38		
27	06/20/19 11:00	25.56	34.5	8.76	8.2	35.6	26	Avg Value	19.84		
28	06/20/19 12:00	27.52	28.9	7.83	7.6	30.4	26	Launch Parameters	Mirrors the launch dialog settings		
29	06/20/19 13:00	27.91	27.4	7.39	7.4	28.8	23	Description	FACULTAD DE ODONTOLOGIA		
30	06/20/19 14:00	29.1	24.2	6.6	7	25.1	14	Wrap	Off		
31	06/20/19 15:00	31.52	24	8.5	7.9	23.5	26	Interval	01:00:00.0		
32	06/20/19 16:00	28.31	28.3	8.21	7.8	30	14	Delay Start	06/19/19 10:00:00		
33	06/20/19 17:00	24.79	35	8.31	8	35.9	8	Channel Info	[On/Off] Sensor [Part Number]		
34	06/20/19 18:00	25.17	33.6	8.02	7.8	34.6	8	Channel 1	[On] Temperature		

Ilustración 64: Datos convertidos de .dtf a .xlsx para su administración y organización.



5.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con los datos del análisis de temperatura de las diferentes estaciones localizadas en puntos estratégicos del centro de la ciudad y con estaciones de referencia ubicados en zona circundante a un área verde (bosque Cuauhtémoc), se realizan mapas de isotermas en arc map para evaluar la existencia de la isla de calor urbana en la ciudad y observar la influencia que tienen los materiales de construcción en diferentes horas del día. Los isotermas se presentan mediante colores donde el rojo indica una temperatura superior con respecto al color cercano al amarillo.

5.1. ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE ENERO

Islas de Temperatura Enero

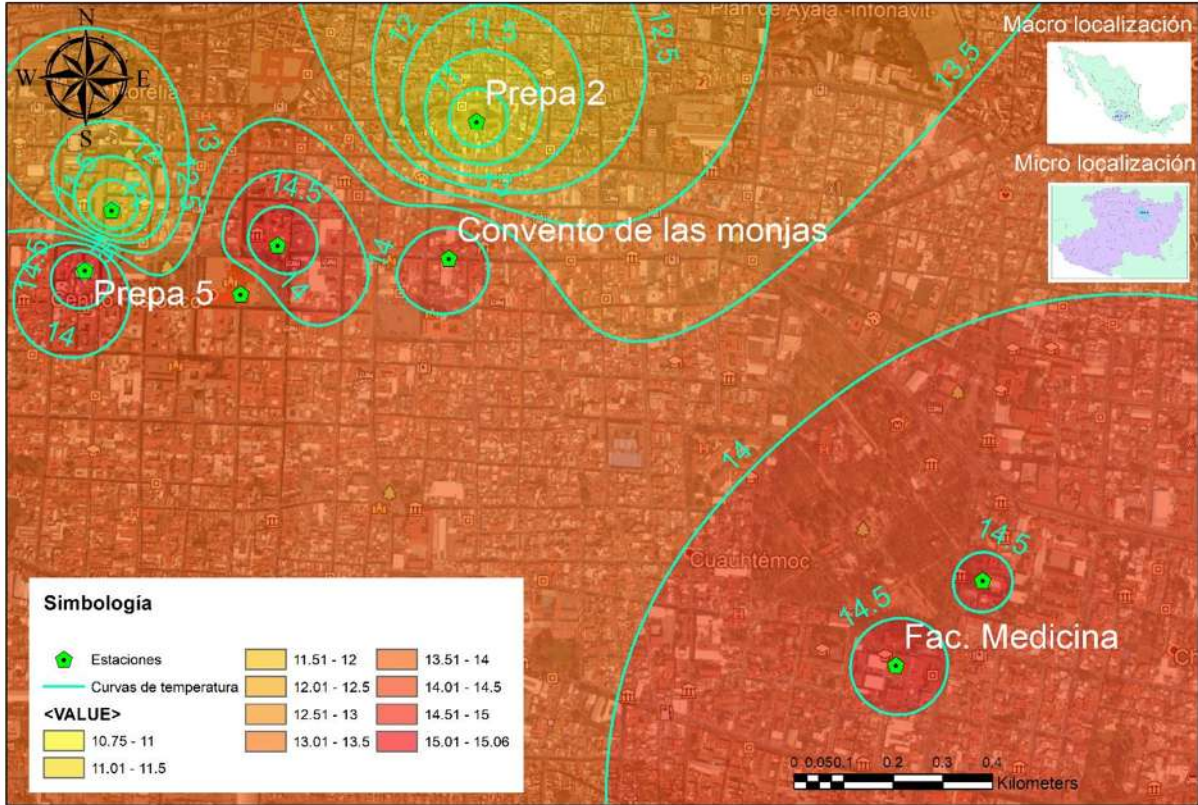


Ilustración 65: Mapa de temperaturas promedio para el mes de Enero, isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.

En la ilustración 65 que corresponde al promedio mensual de enero, se observa gráficamente como la temperatura en cuanto a valor registrado es regular para la zona de estudio, existe una variación en la Preparatoria “Ing. Pascual Ortiz Rubio” donde la temperatura registrada es menor con respecto a las demás estaciones, se le atribuye principalmente a la orientación que tiene el edificio con respecto a la dirección del sol, donde en la calle ubicada frente al edificio donde se ubica la estación la mayor parte del día es sombra lo que regula la temperatura de la zona y del edificio, además cercano se encuentra la plaza de San José (área verde) que de igual manera ayuda a que la temperatura sea menor con respecto a otros puntos de referencia.



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

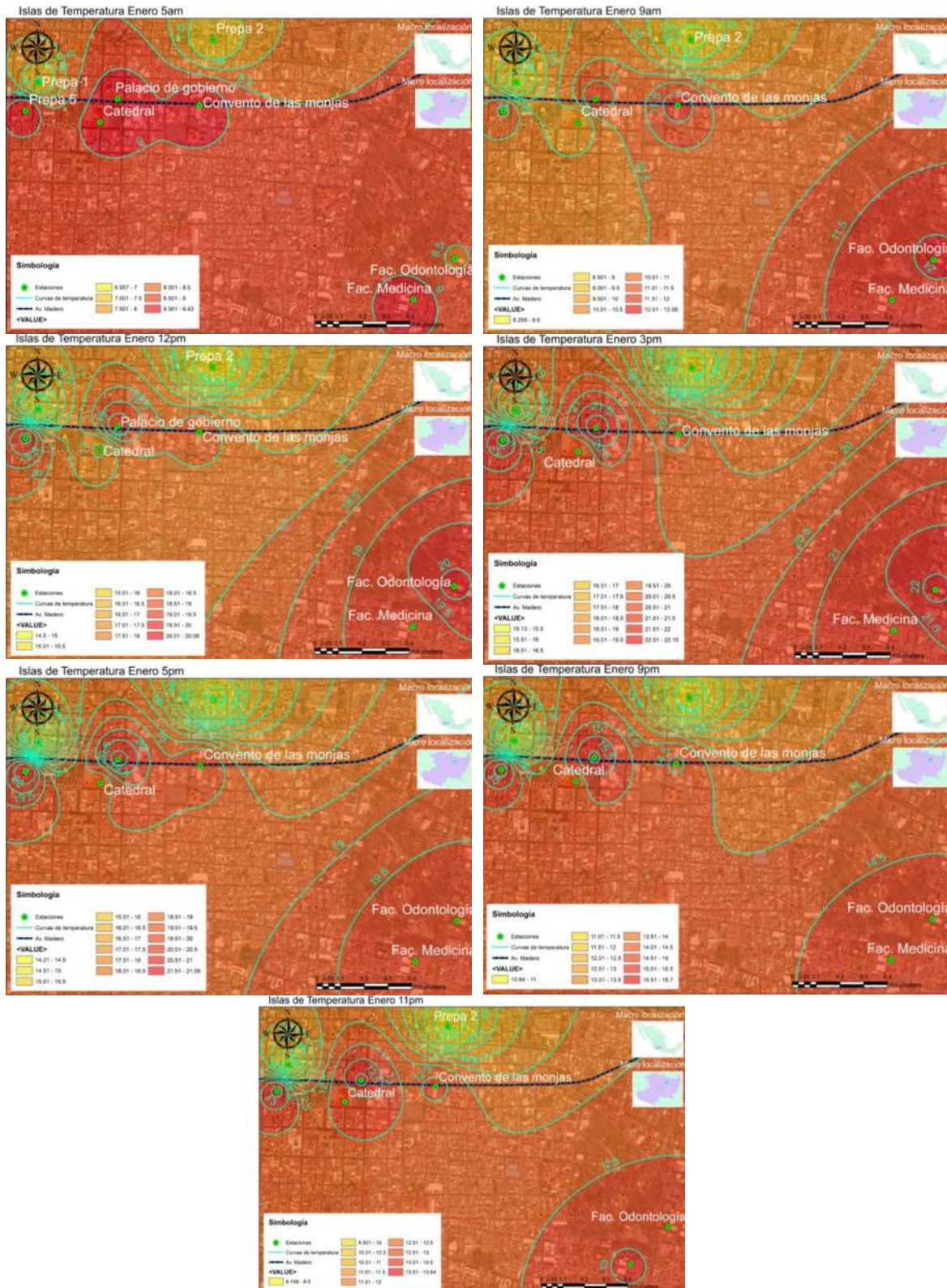


Ilustración 66: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de enero



Enero es uno de los meses que registran una temperatura promedio baja con respecto a los siguientes meses, en los promedios mensuales horarios se registra la variación de temperatura con respecto a 7 horas diferentes del día (5 am, 9 am, 12 pm, 3 pm, 5 pm, 9 pm y 11 pm) para evaluar el comportamiento de la isla de calor en la ciudad y su movimiento en el día, la hora donde la temperatura promedio es alta es a las 3 pm con valores de 19 °C a 22.5 °C, se muestra un comportamiento estable sin un movimiento de la isla de calor inclusive a diferente hora del día, la temperatura si sufre una disminución en el horario de las 9 pm. Las zonas con una menor temperatura es la estación de la Preparatoria “Ing. Pascual Ortiz Rubio” que independientemente de la hora del día se mantiene como un área comfortable para realizar las actividades cotidianas con respecto a las demás áreas de la zona urbana (Ilustración 66).



5.2.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL DE ABRIL

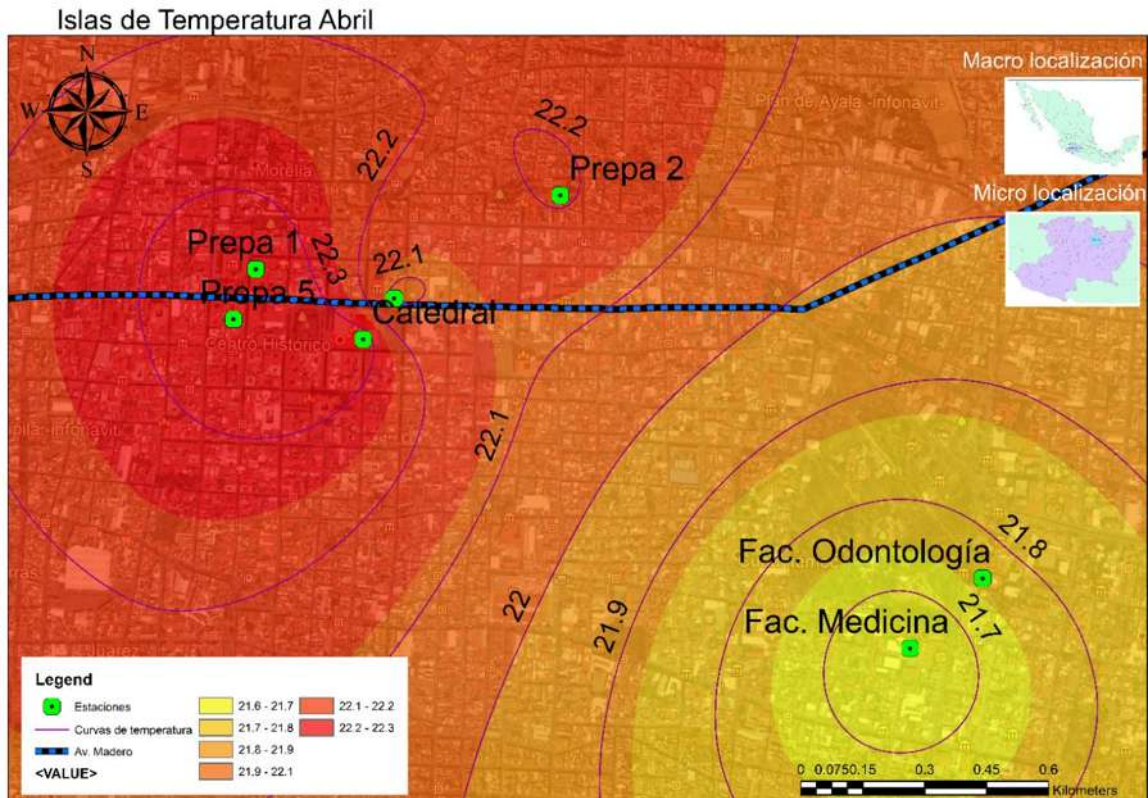


Ilustración 67: Mapa de temperaturas promedio para el mes de Abril, isothermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.

De acuerdo a los datos consultados en INEGI el mes de abril es considerado como uno de los meses con temperatura elevada, con los resultados de la investigación se realizó el mapa de isothermas promedio mensual para determinar la isla de calor en la ciudad de Morelia, donde claramente la temperatura se incrementa en el centro de la ciudad, zonas con mayor materiales sintéticos, artificiales y menores áreas verdes que impide regular la temperatura a diferencia de las zonas donde existe área verde (bosque Cuauhtémoc) y la temperatura es menor por 0.4°C , que de acuerdo a la literatura las áreas verdes regulan la temperatura de las zonas circundantes. La isla de calor urbana se ubica en el centro de la ciudad lo que representa un alto consumo de energía para regular la temperatura de los edificios que mayor mente corresponde a oficinas de gobierno y no obstante a la ciudadanía que transita por el primer cuadro de la ciudad (Ilustración 67).

5.3.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE MAYO

Islas de Temperatura Mayo

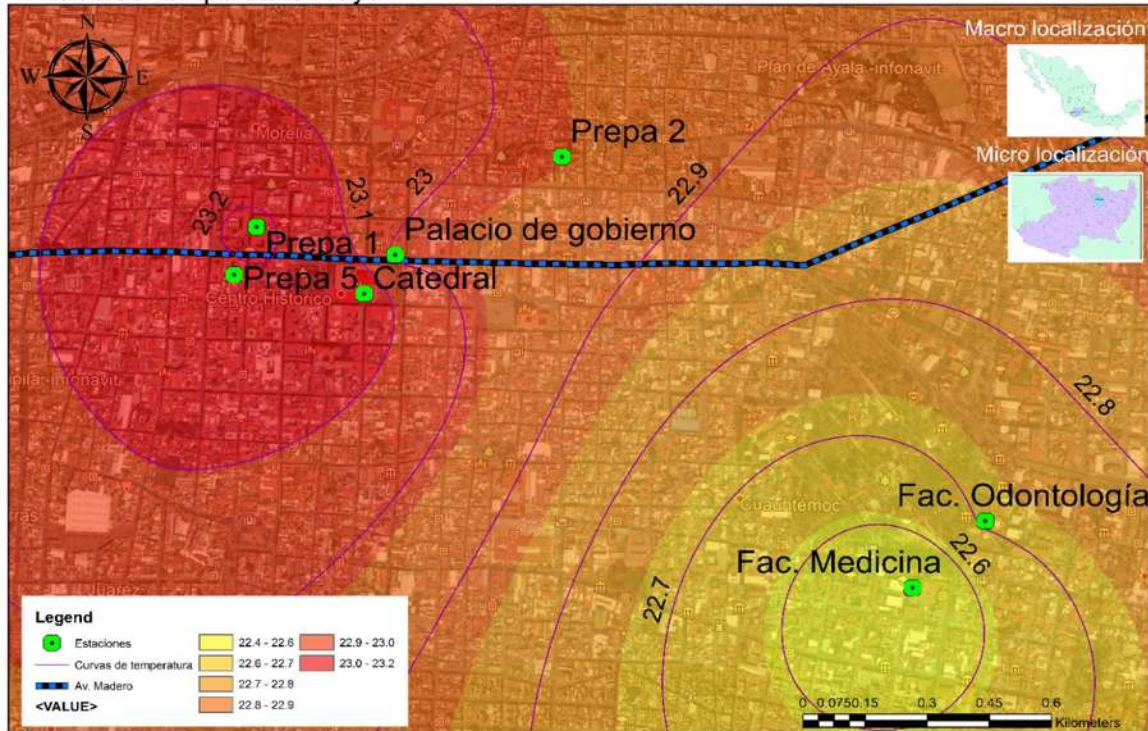


Ilustración 68: Mapa de temperatura promedio para el mes de mayo, con isotermas de del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.

El mes de mayo para la zona de estudio registra la temperatura más alta con respecto a los otros meses de estudio con un valor promedio máximo de 23.2°C localizado en la zona del centro histórico de la ciudad, ubicando la máxima intensidad de la isla de calor desde el IMSS hasta palacio de gobierno y catedral (Ilustración 68), donde las actividades al aire libre son difíciles de realizar y el gasto energético se incrementa considerablemente en este mes debido al uso del aire acondicionado para mantener una temperatura confortable en las casa habitación, oficinas y locales comerciales ubicados en esta zona; el promedio mínimo de 22.6 °C que corresponde nuevamente a la zona circundante al área verde de referencia en la investigación (Bosque Cuauhtémoc) y donde las actividades al aire libre son de forma frecuente sin causar alguna afectación al cuerpo humano.



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

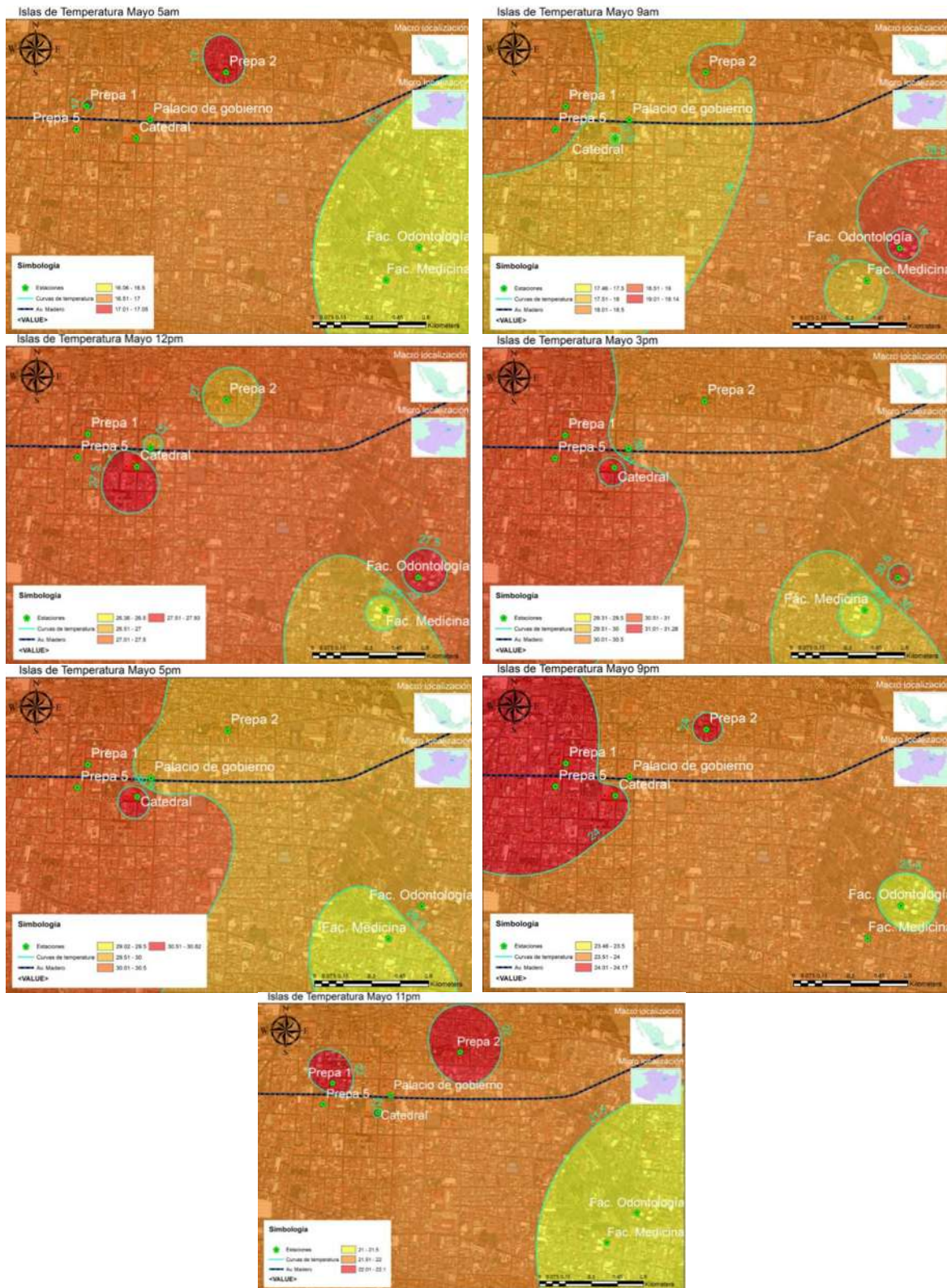


Ilustración 69: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Mayo



Los isotermas promedio horario es un complemento de los isotermas mensuales que ayudan a entender mejor el comportamiento de la isla de calor y su movimiento en el centro urbano, tal es el caso para el mes de mayo, en el cual se analizan las temperaturas a diferentes horas del día, se puede deducir que a partir de las 12 pm la isla de calor urbana se comienza a ubicar en la zona crítica y que a las 3 pm se dirige específicamente en el área donde existe la intensidad máxima, la ubicación de la isla de calor se mantiene en la misma zona inclusive en la hora de las 9 pm lo que logra que aun a pesar de no tener incidencia de los rayos del sol la temperatura sigue manteniéndose alta, se logra estimar que el gasto energético en interiores se mantiene a alta demanda (ilustración 69).



5.4.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE JUNIO

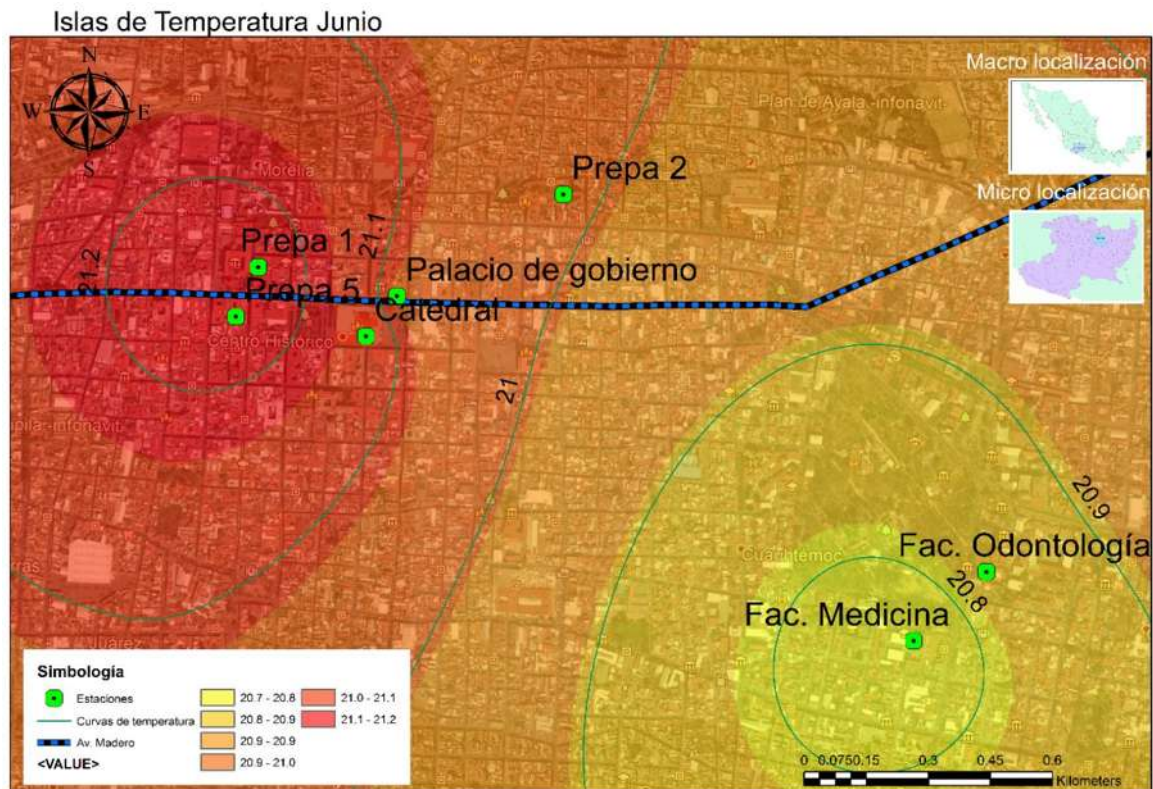


Ilustración 70: Mapa de temperatura promedio para el mes de junio, con isothermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.

De acuerdo a la Ilustración 70 se puede deducir que para el mes de junio la isla de calor urbana se localiza en el centro histórico de la ciudad de Morelia, siendo las estaciones meteorológicas del “Colegio Primitivo y Nacional de San Nicolás de Hidalgo” y “Preparatoria Melchor Ocampo” donde se aprecia una temperatura elevada con respecto las demás estaciones, donde se puede analizar la influencia que la alta cantidad de materiales de construcción y que se caracteriza por la transferencia y absorción de calor considerable en la zona, se estima que la isla de calor nuevamente tiene localización en el centro histórico y que la zona de referencia tiene incidencia directa sobre la regulación de la temperatura circundante. Se puede apreciar que la diferencia de temperatura no es tan marcada con tan solo un valor de 0.3°C de diferencia.



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

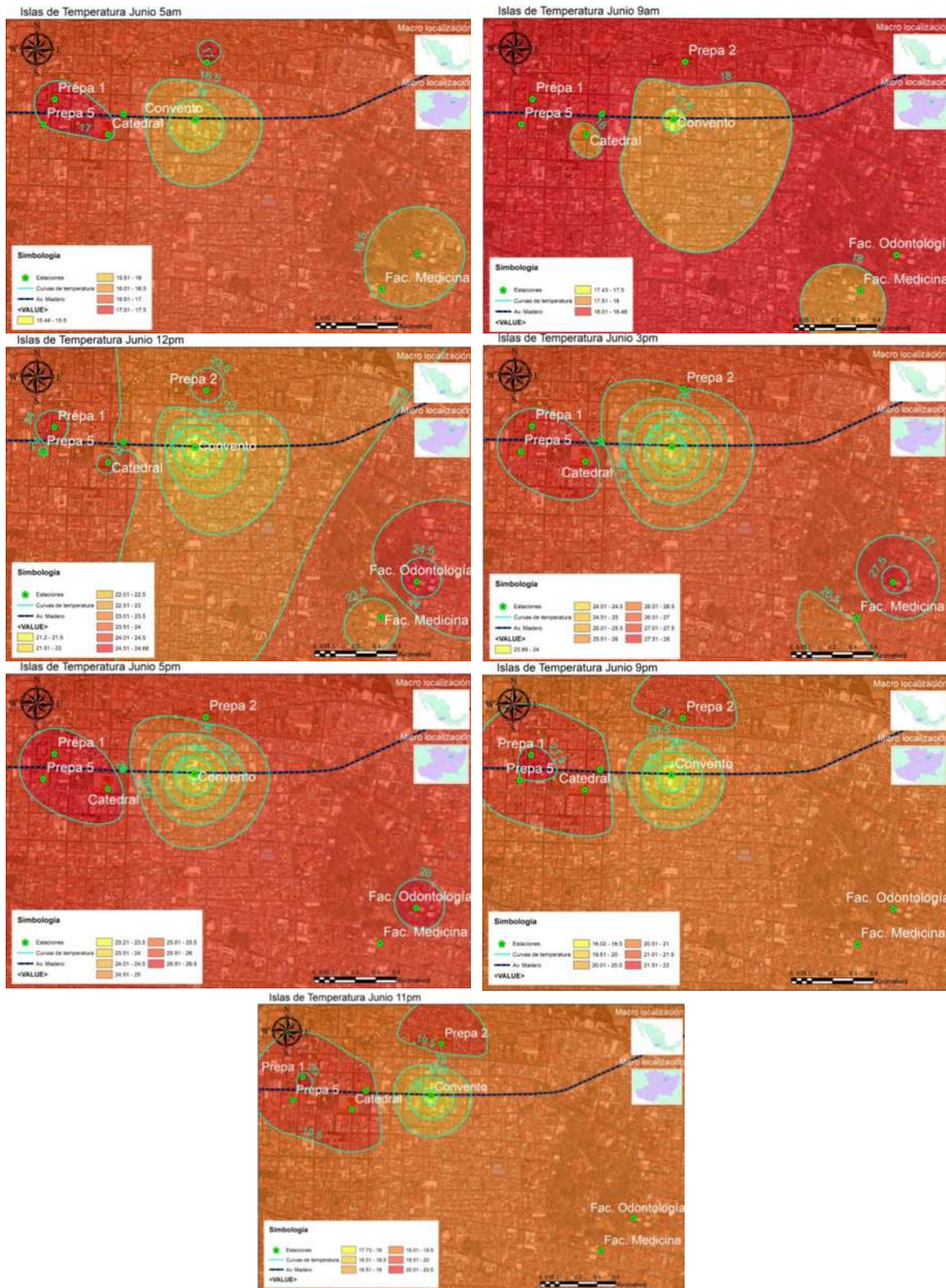


Ilustración 71: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Junio



Una forma de evaluar la intensidad y movimiento de la isla de calor urbana en el transcurso del día es realizando mapas en diferentes horas del día y observar el comportamiento, a las 5 am la temperatura en la zona de estudio se comporta de forma regular y solo en algunos puntos se observa una variación de temperatura, aunque es muy localizada y su circunferencia es pequeño por lo que no tiene una influencia directa en la regulación de temperatura. La temperatura máxima promedio horaria es la registrada a las 3 pm con un valor de 27.5°C, no se observa una localización con exactitud de la isla de calor porque en especial en este mes se observan puntos con temperaturas menores que toda el área restante (Ilustración 71).



5.5.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE JULIO

Islas de Temperatura Julio

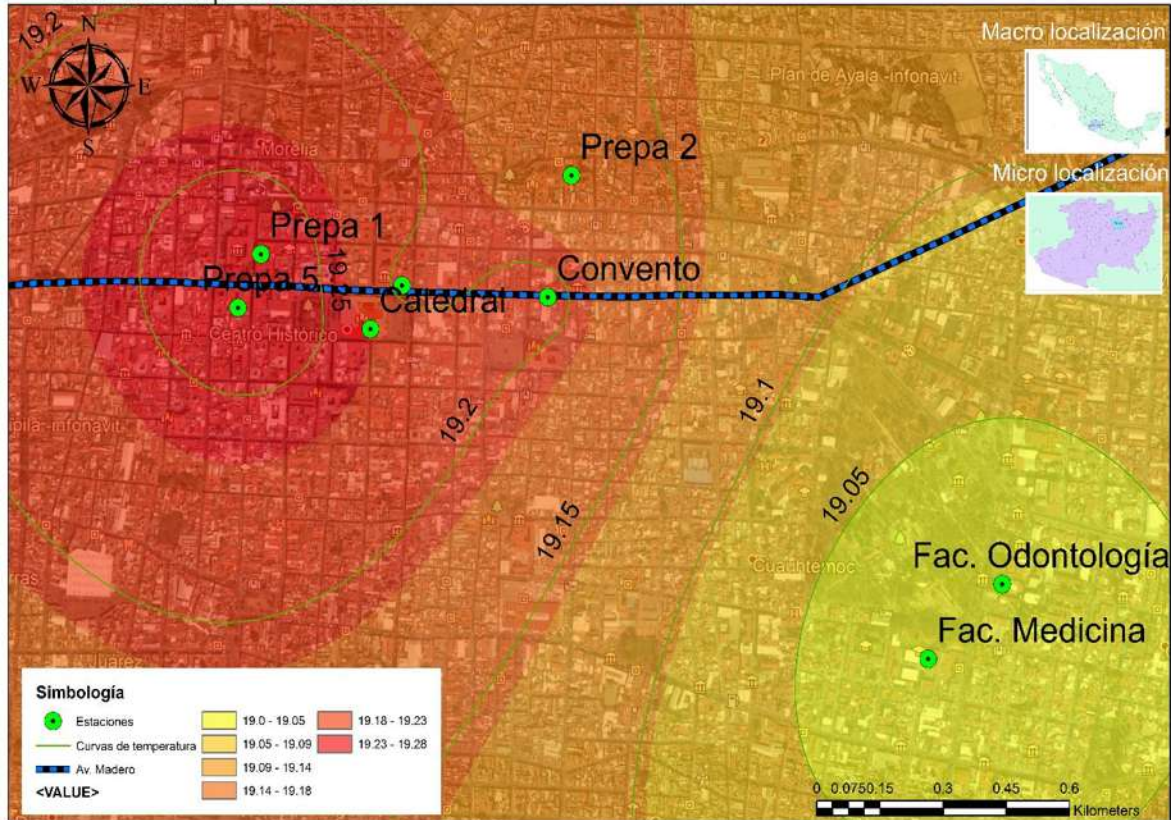


Ilustración 72: Mapa de temperatura promedio para el mes de julio, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.

De acuerdo a la variación de temperatura promedio mensual del mes de julio se observa que la isla de calor se localiza en el centro de la ciudad desde el convento de las monjas hasta el IMSS ubicado sobre la avenida madero, la temperatura mínima la registra la zona de referencia (bosque Cuauhtémoc) con una temperatura de 19.05°C y la máxima intensidad de la isla de calor es de 0.20 °C, en cada mes de la investigación se puede deducir que la localización de la isla de calor es en el centro de la ciudad y que efectivamente los materiales de construcción tienen una influencia directa en el incremento de la temperatura, las áreas verdes permiten regular la temperatura de la zona donde es importante conocer el tipo de vegetación y altura de los árboles (Ilustración 72).



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

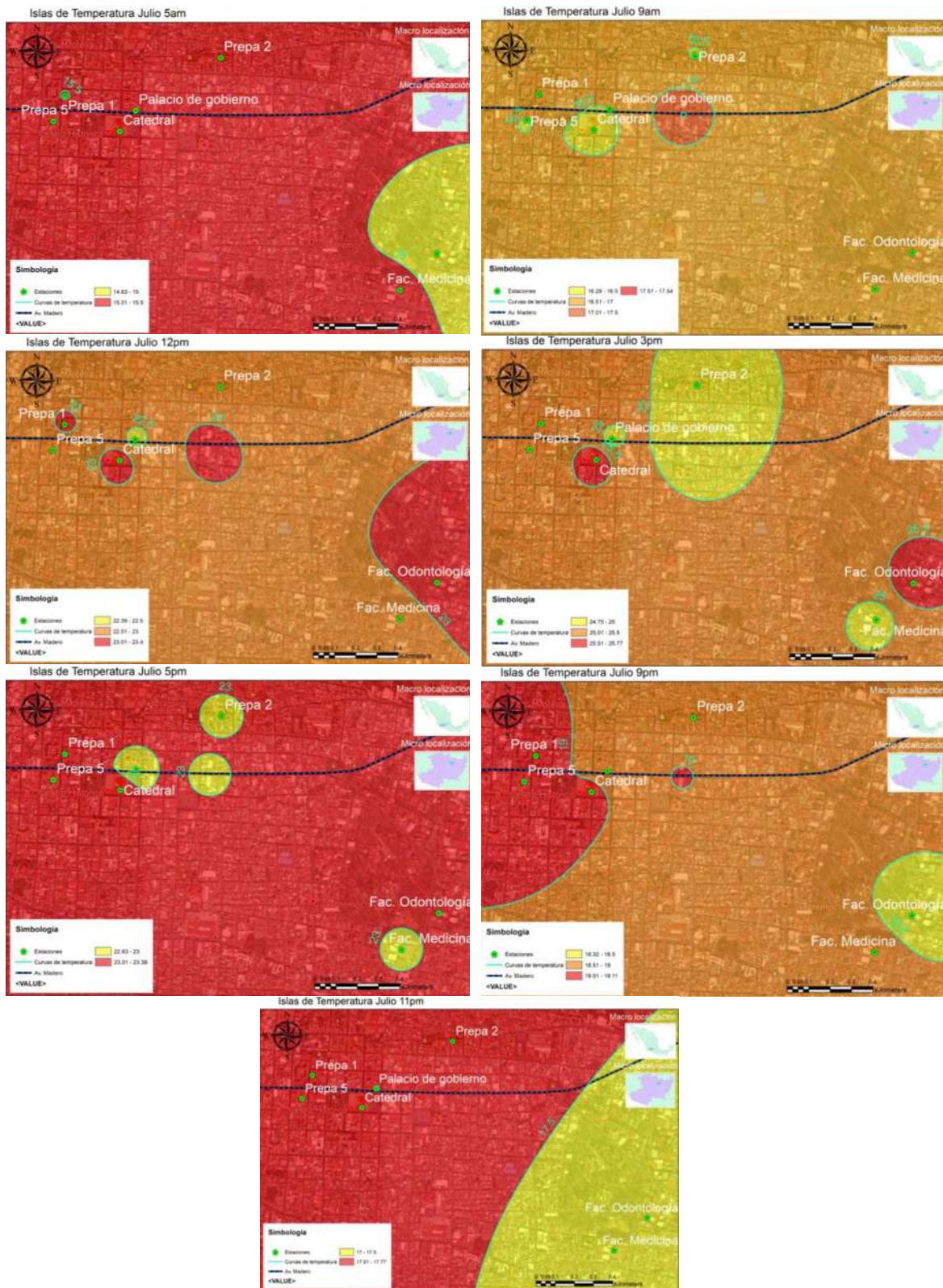


Ilustración 73: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Julio



En los promedios horarios mensuales del mes de julio es donde se observa una mayor variación grafica en temperaturas con respecto a cada horario de la evaluación, no se puede identificar una isla de calor urbana o un desplazamiento de la misma, se puede adaptar los resultados a una descripción con respecto a la variación de temperatura que depende del mes y la variación marcada de temperatura. en la hora de las 11 pm se puede establecer un punto clave, se estima que la temperatura en la mayor parte de la zona de estudio se mantiene alta y en las estaciones de referencia es baja con una diferencia de temperatura de 0.20°C , lo que se le atribuye principalmente a las materiales de construcción y la capacidad de almacenar radiación solar y después liberarla cuando no hay presencia de sol, lo que comúnmente se conoce como albedo de materiales emisividad y la influencia de temperatura que tendrá en interiores y mayor gasto de energía eléctrica (Ilustración 73).

5.6.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE AGOSTO

Islas de Temperatura Agosto

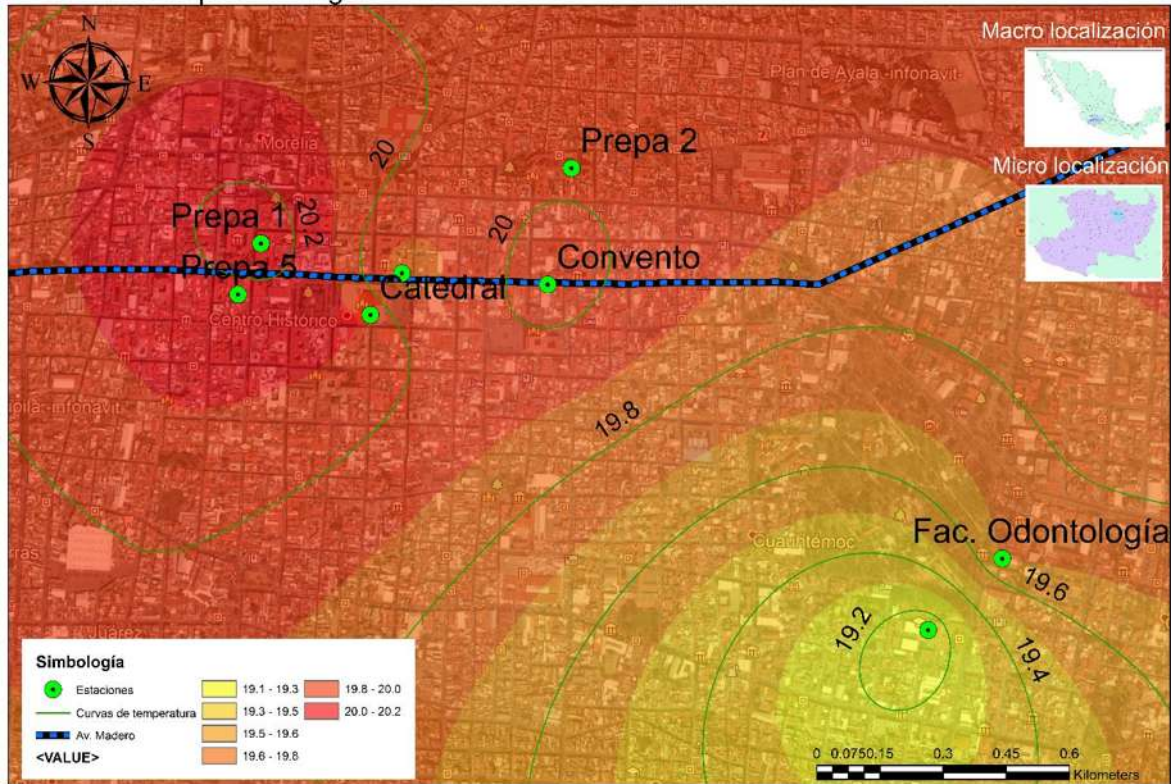


Ilustración 74: Mapa de temperatura promedio para el mes de agosto, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.

De acuerdo a la ilustración 74 se estima una diferencia de temperatura de 1°C entre la zona de referencia verde y las estaciones de la investigación, se aprecia cómo se incrementa a temperatura de forma constante hacia el centro y el punto máximo de la isla de calor urbana se localiza en las zonas circundantes del Colegio Primitivo y Nacional de San Nicolás de Hidalgo (Prepa 1) y la Preparatoria “Melchor Ocampo” (prepa 5) abarcando la zona del cinepolis del centro y tesorería de la UMSNH y el mercado de dulces, se deduce que en esta área se considera la desfavorable para desempeñar actividades al aire libre e inclusive en interiores como oficinas y para alumnos de las preparatorias.



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

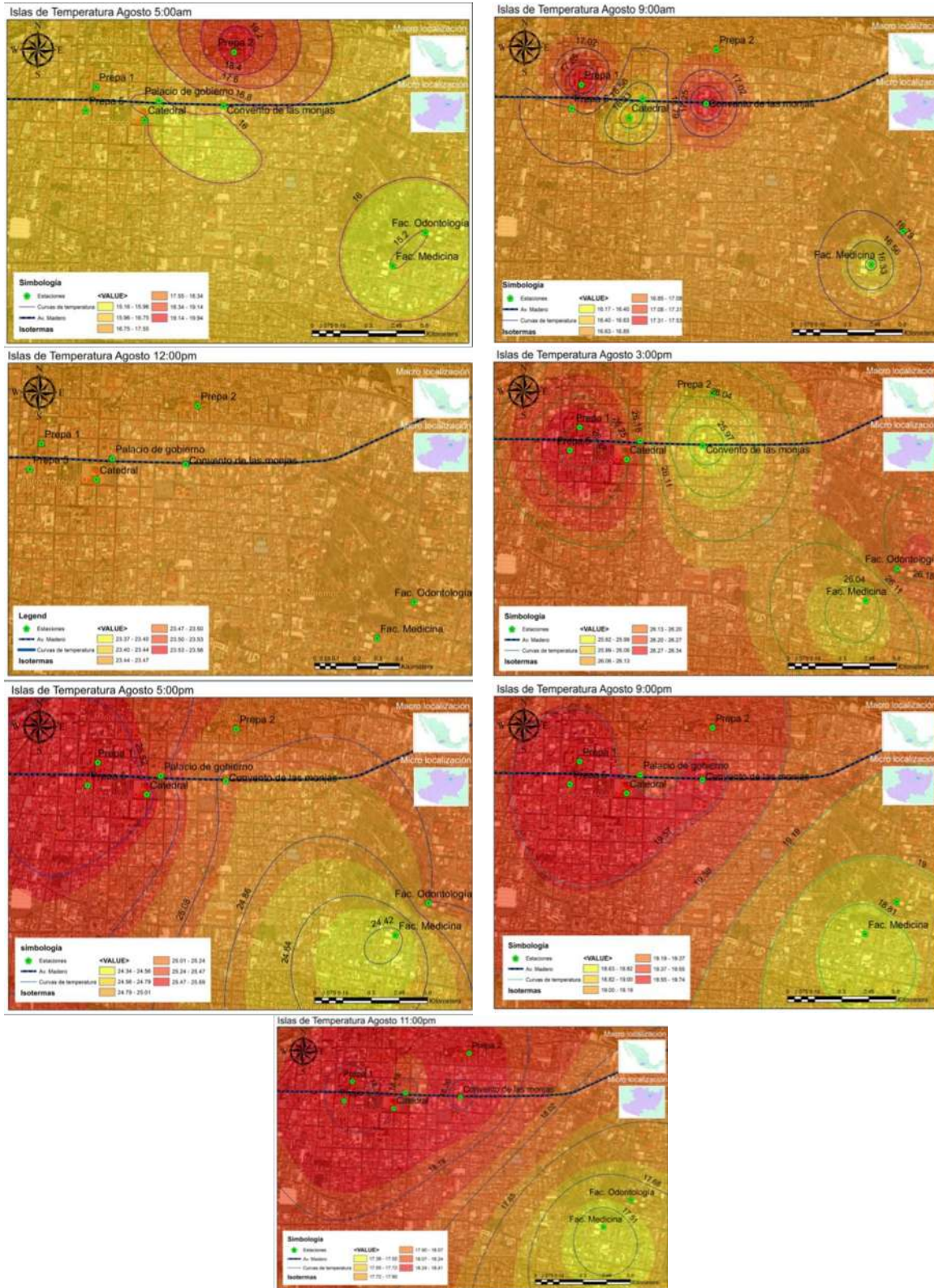


Ilustración 75: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Agosto



Se evalúa el comportamiento de la isla de calor urbana de acuerdo a diferentes horas del día, donde se aprecia que a las 5 am la estación ubicada en la Preparatoria “Ing. Pascual Ortiz Rubio” (Prepa 2) registra temperatura elevada en comparación con otras estaciones con una diferencia de 3°C que se asocia principalmente a la ubicación de las industrias establecidas en esa dirección y que trabajan día y noche, se considera que el humo de los procedimientos industriales incrementan la temperatura de la zona, en las próximas hora se estima como la isla de calor urbana se localiza en el centro histórico de la ciudad de Morelia, a las 11 pm se aprecia que aún hay presencia de la isla de calor con una intensidad de 0.85°C localizado en el centro de la ciudad, en este horario ya no existe influencia de la radiación solar pero los materiales de construcción liberan el calor acumulado en su interior y se percibe que la temperatura del calor liberado tiene influencia en el ambiente (ilustración 75).

5.7.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE SEPTIEMBRE

Islas de Temperatura Septiembre

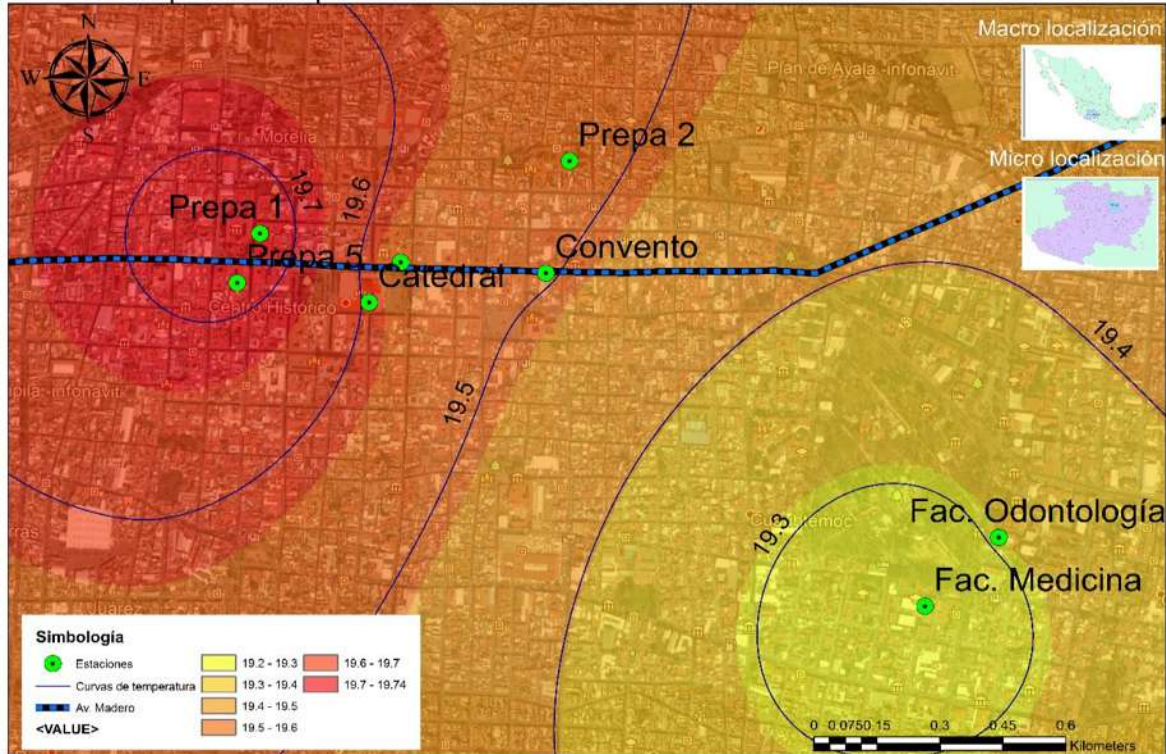


Ilustración 76: Mapa de temperatura promedio para el mes de septiembre, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.

Al examinar y evaluar los isotermas de temperatura del mes de septiembre en la ciudad de Morelia, se deduce la presencia de la isla de calor urbana en el centro histórico con una diferencia de temperatura (intensidad) de la temperatura menor y la temperatura mayor registrada por las estaciones de 0.4 °C, el máximo térmico se localiza en las zonas circundantes al Colegio Nacional y Primitivo de San Nicolás de Hidalgo (Prepa 1) y la Preparatoria “Melchor Ocampo2 (prepa 5), área que se extiende hasta la plaza de las rosas y enfrente del cinepolis del centro. En la zona de estudio se evalúa el incremento de temperatura en la avenida Madero donde se aprecia que la mayor parte de la avenida está en el máximo térmico de la isla de calor urbana, lo cual es perjudicial para las zonas de confort de los turistas (Ilustración 76).



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

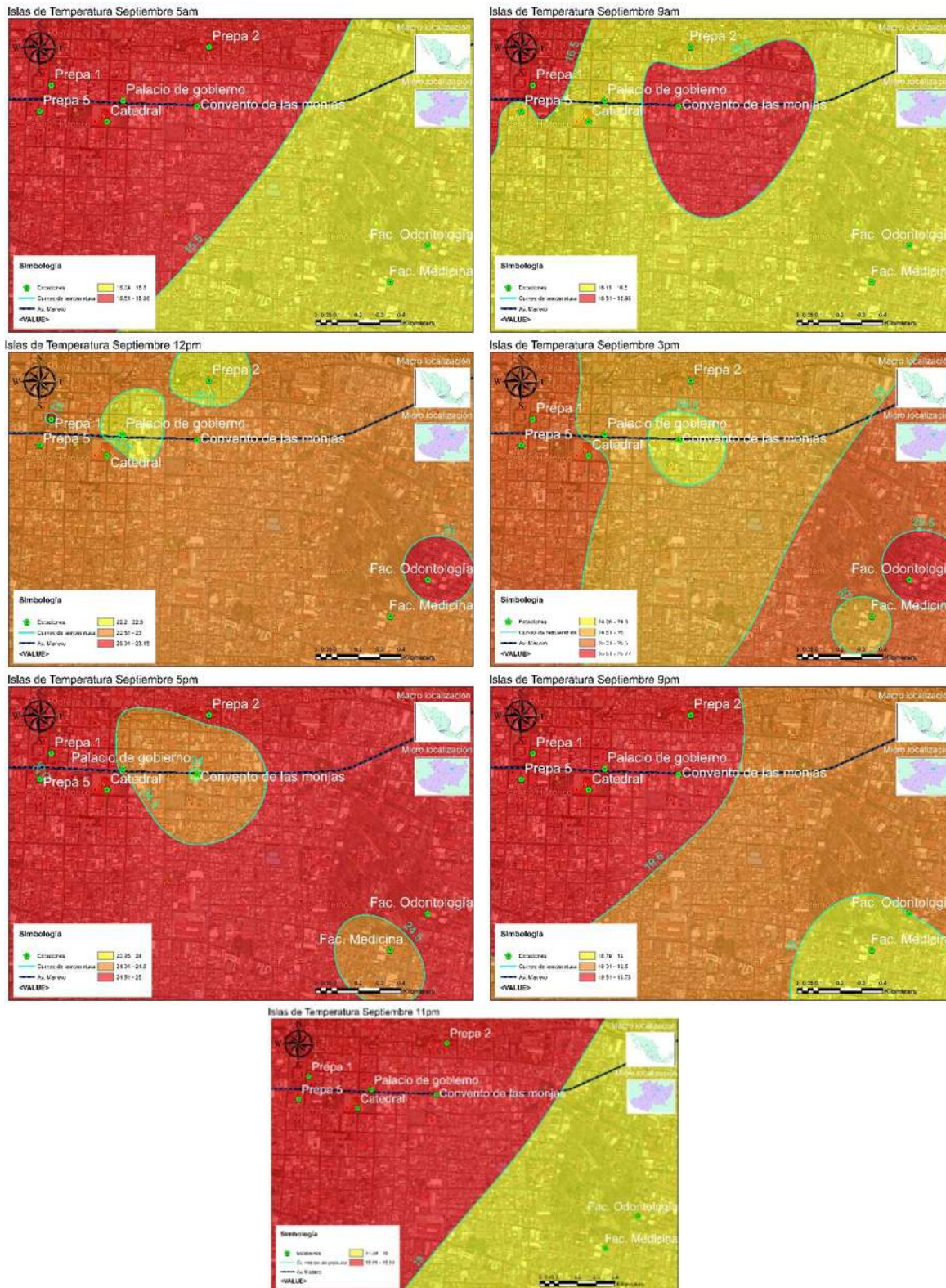


Ilustración 77: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Septiembre



Al analizar los resultados de los isotermas promedios horarios del mes de septiembre, se puede destacar que no se puede estimar la presencia de la isla de calor urbana en comparación con las estaciones cercanas a la zona de referencia, existe una notable variación entre las horas de evaluación del mes, por lo que no se logra establecer o apreciar con claridad el comportamiento de la isla de calor ni la localización en la zona de estudio, el comportamiento tan irregular puede asociarse a varios factores: que los sensores no estén calibrados, un análisis de datos erróneo al calcular los promedios mensuales horarios o simplemente una variación irregular de temperatura.

Se deduce que la temperatura se incrementa a diferente hora del día, donde en el promedio horario de las 3 y 5 pm se registra temperaturas altas con un valor de 25°C y se localiza en la mayor parte de la zona de estudio, y se reduce el valor de la temperatura 4.5 °C con respecto a los isotermas establecidos a las 9 pm (Ilustración 77).

5.8.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE OCTUBRE

Islas de temperatura Octubre

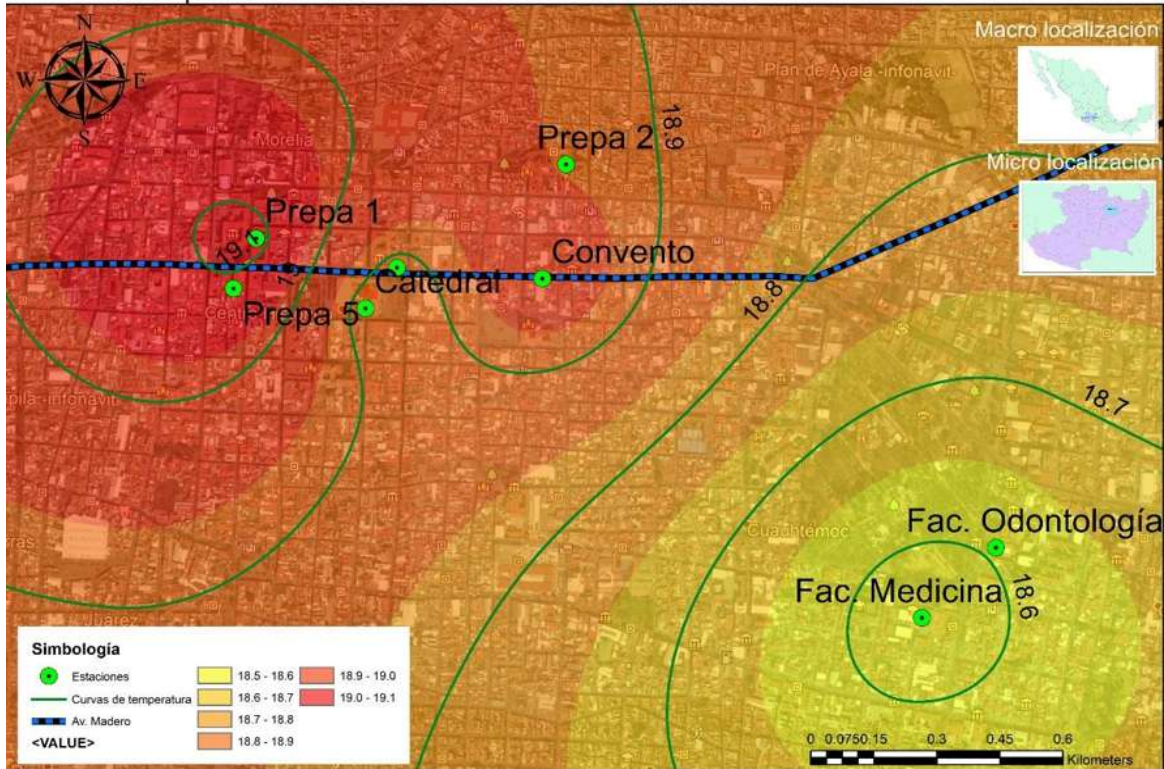


Ilustración 78: Mapa de temperatura promedio para el mes de octubre, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.

Al comparar los isotermas del mes de octubre de la zona de estudio, se puede estimar la existencia de la isla de calor urbana en el centro de la ciudad, con mayor circunferencia, el máximo térmico se localiza en un área que abarca desde el convento de las Monjas hasta la iglesia de la Merced, zona urbana donde circula la avenida Madero, donde se aprecia mayor tránsito de vehículos y un alto porcentaje de turistas y población caminando lo que afecta directamente la comodidad y confort térmico para realizar diferentes actividades cotidianas o turísticas. Se estima la influencia de los factores antropogénicos que incrementan la temperatura del centro de la ciudad, en el mes de octubre es de los meses con mayor circulación vial en la ciudad debido al incremento de turistas, sumado a esto la mínima vegetación en existencia en el primer cuadro de la ciudad y el alto porcentaje de área artificial o antropogénico, incrementando la temperatura en un 0.5°C (Ilustración 78).



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO



Ilustración 79: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Octubre



Para el mes de octubre y en comparación con el mes de septiembre se aprecia una disminución de temperatura en los promedios mensuales horarios, octubre registra temperaturas máximas promedio de 23°C a las 3 pm (Ilustración 79), se percibe la existencia de la isla de calor urbana en a las 5 pm y se localiza solamente en un costado de la zona de estudio de catedral y en dirección hacia el oeste, para la hora de las 9 pm se estima un movimiento hacia el convento de las monjas (hacia el este) incrementando la circunferencia con el máximo térmico inclusive en ausencia de radiación solar con una diferencia térmica de 0.5°C del máximo térmico y la zona de referencia (Bosque Cuauhtémoc); a las 11 pm se estima la presencia de la isla de calor con un movimiento hacia el este que logra cubrir desde el monumento de las tarascas hasta el templo de la merced (dirección oeste), donde se percibe que aun a pesar de la ausencia del sol los materiales de construcción siguen su proceso de emisividad y liberación de calor del interior al exterior lo que genera un incremento de temperatura inclusive a altas horas de la noche.



5.9.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE NOVIEMBRE

Islas de temperatura Noviembre

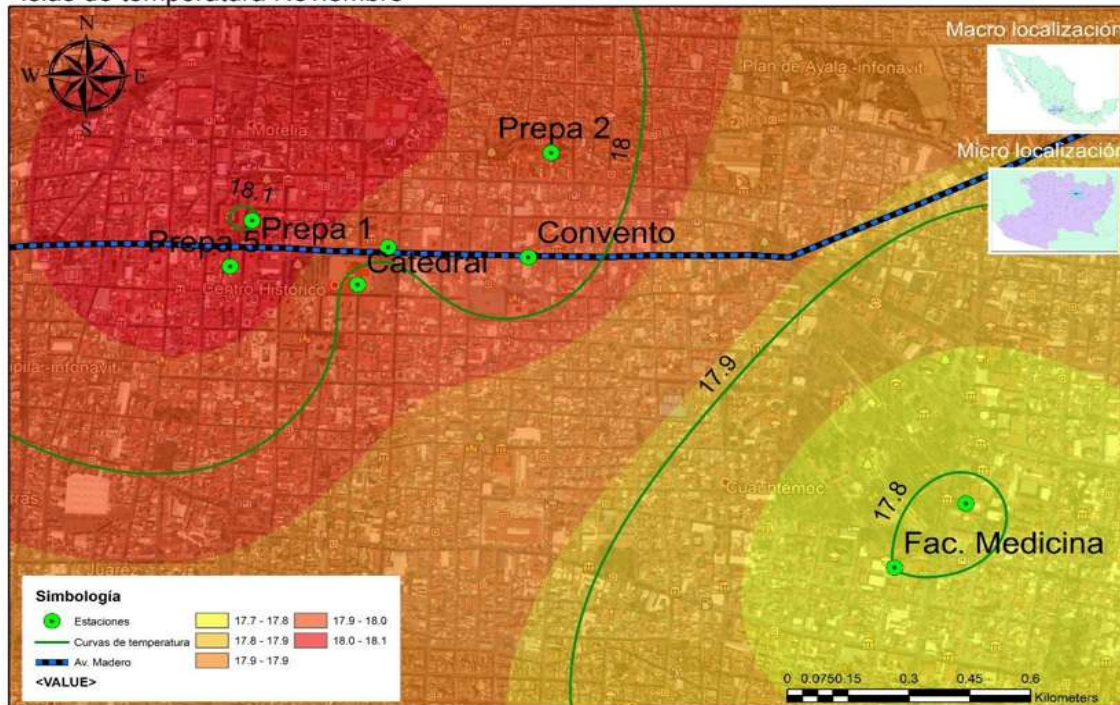


Ilustración 80: Mapa de temperatura promedio para el mes de noviembre, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.

Noviembre registra una diferencia de temperatura (máximo térmico) de 0.3°C con respecto a la zona con temperatura alta y área con mínima temperatura, se aprecia la isla de calor urbana con una dirección hacia el norte a diferencia de los meses anteriores. No existe una diferencia tan marcada de temperatura, pero se puede deducir que si cambia la dirección de la isla de calor donde tiene influencia las fábricas que se encuentran hacia el norte (papelera y aceitera) que de acuerdo a la literatura el humo que desprenden de sus procesos de fabricación es un factor de incremento de la temperatura (Ilustración 80).

Se puede estimar una disminución de temperatura con el mes de octubre de un 1°C , asumiendo que los meses finales del año con fríos por estar en la estación de invierno y se refleja en los promedios de temperatura mensuales como aprecia esa disminución.



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

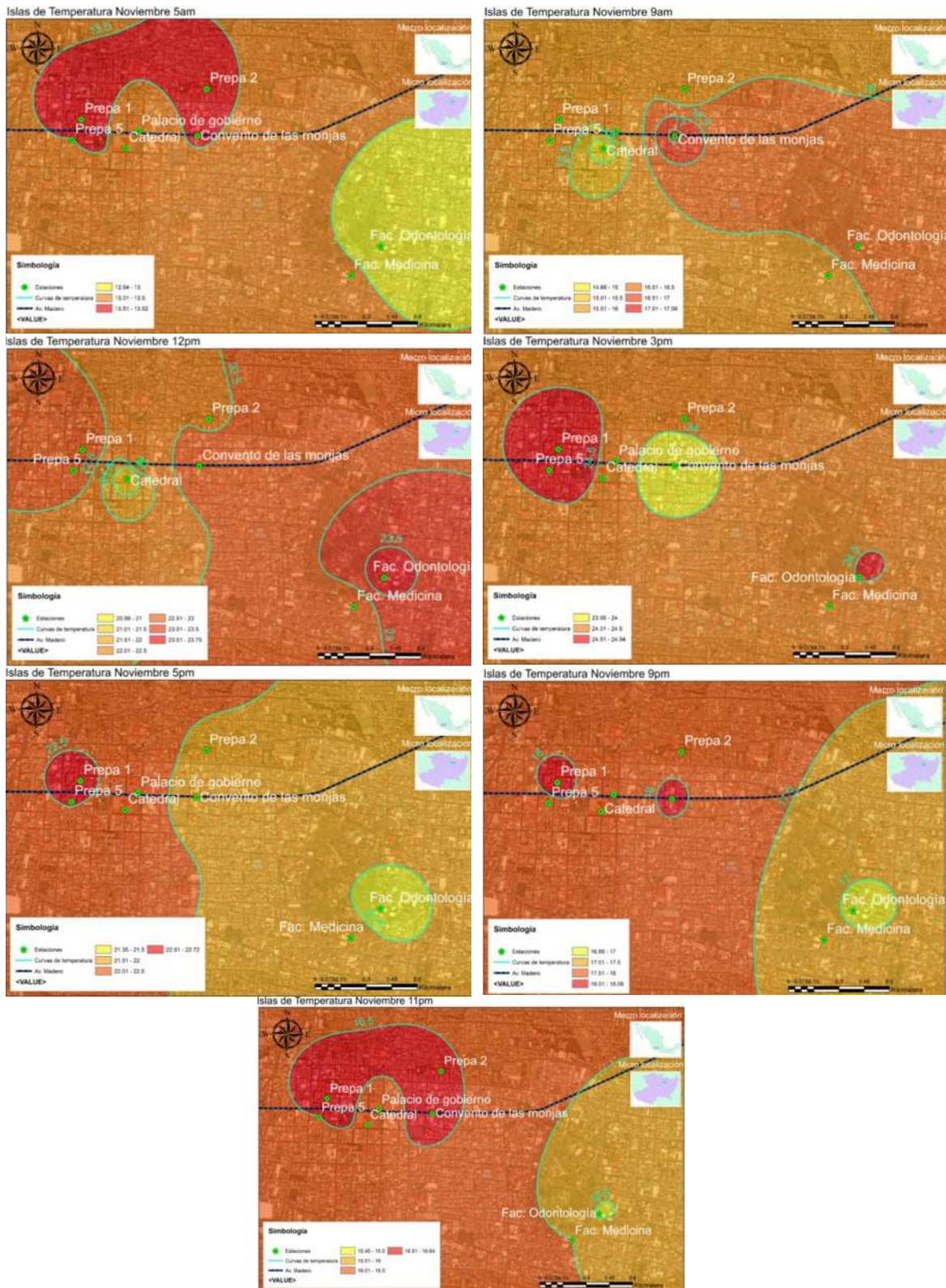


Ilustración 81: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Noviembre



Evaluando los promedios horarios mensuales del mes de noviembre se aprecia una disminución en la temperatura que se puede apreciar en la Ilustración 81, se estima una diferencia de temperatura de 0.5°C a las 3 pm, el horario más crítico es el de las 11 pm donde se registra una diferencia de temperatura de 1°C , considerando que no existe con exactitud una localización de la isla de calor urbana, pero se deduce que los materiales acumulan el calor en su interior y en la noche lo liberan en forma de onda térmicas lo que genera un incremento de temperatura en la zona centro de la ciudad. El máximo térmico se localiza en la avenida madero donde por la dirección del sol todo el día los rayos solares tienen influencia directa en las fachadas de los edificios de cantera, sumando alta circulación de los vehículos de la avenida principal.



5.10.- ISOTERMAS PROMEDIO MENSUAL Y HORARIO DE DICIEMBRE

Islas de temperatura Diciembre

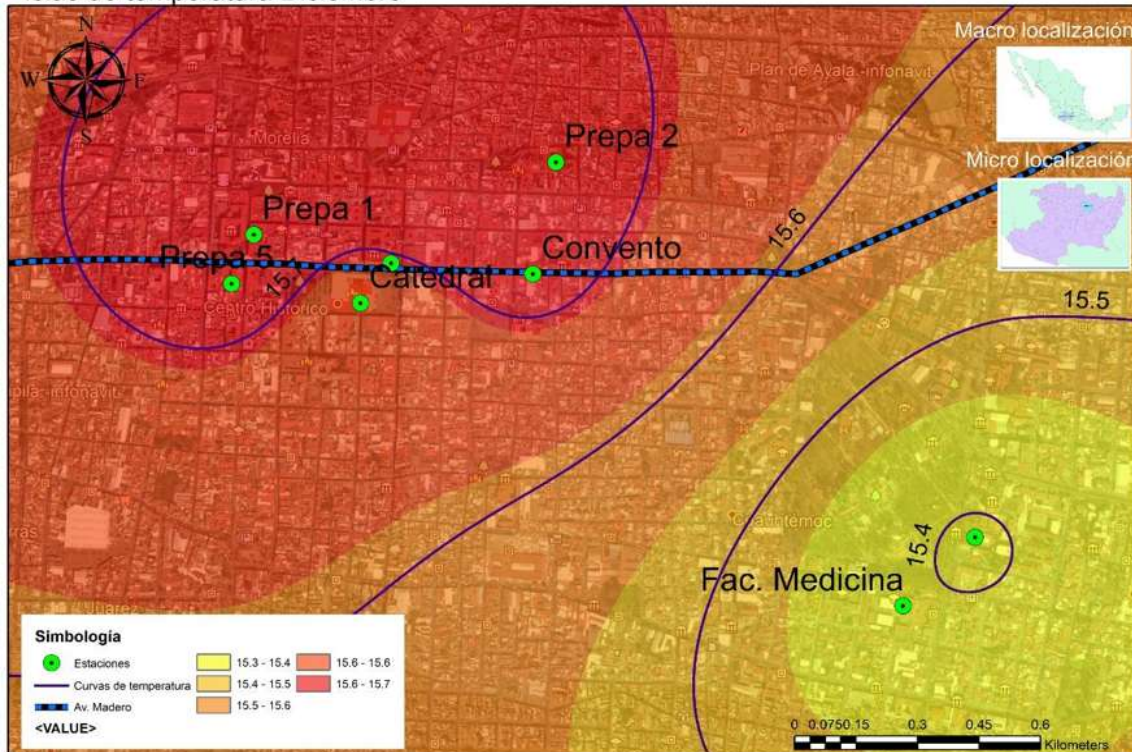


Ilustración 82: Mapa de temperatura promedio para el mes de diciembre, con isotermas del centro de la Ciudad de Morelia, Mich.

Los resultados de la investigación analizados del mes de diciembre se presentan en la Ilustración 82, se estima la presencia de la isla de calor urbana con dirección hacia el norte (Monumento Pípila) donde se argumenta que tiene esa dirección por la disminución de temperatura y la localización de las fábricas que emiten contaminación al medio ambiente que tienen influencia directa en el incremento de temperatura, la variación de temperatura para determinar el máximo térmico es de 0.3°C y se ubica desde la estación del convento de las monjas hasta el IMSS #80 de la avenida madero. Diciembre es el mes con la temperatura registrada más baja con respecto a los demás meses analizados, asociado a la estación del año (invierno). Los isotermas con una temperatura de 15.4°C se localizan en la zona circundante a las estaciones de referencia en el bosque Cuauhtémoc, área de confort térmico para realizar actividades cotidianas y turísticas de forma confortable.



ESTUDIO Y MODELADO DE LA ISLA DE CALOR URBANA DE LA AVENIDA MADERO, ZONA CENTRO, EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

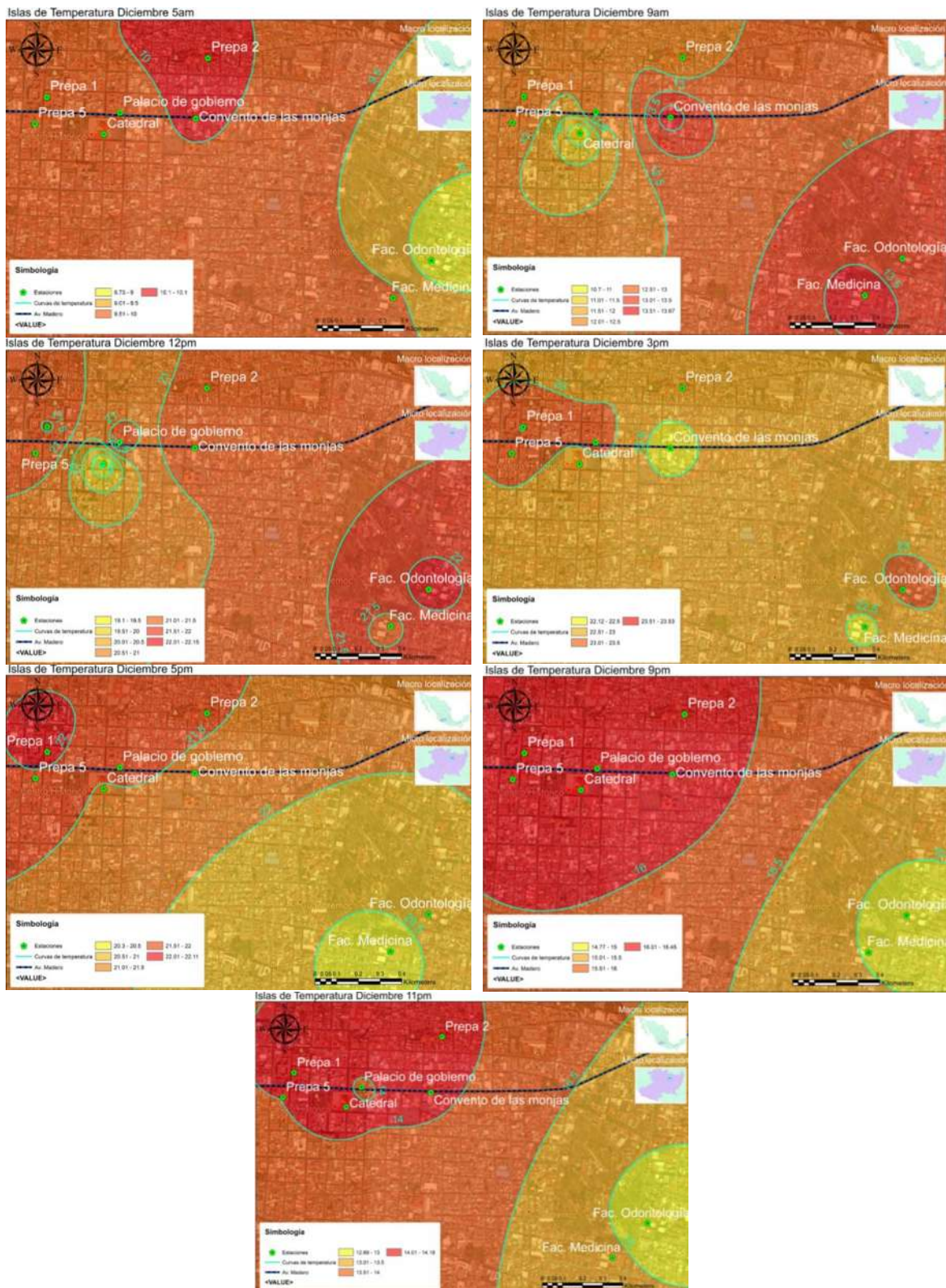


Ilustración 83: Isotermas promedio mensual horario correspondiente al mes de Diciembre



Al analizar los resultados promedios por hora del mes de diciembre de acuerdo a la Ilustración 83, a las 5 am registra un incremento de temperatura en dirección norte con una diferencia de 1°C con respecto a la zona circundante de referencia, en la hora de las 9 pm se aprecia la isla de calor urbana con una dirección noroeste, el máximo térmico registra un valor de 1°C de diferencia y se localiza en la misma dirección que las 5 am solo que existe un incremento de área, la zona del centro histórico es la que presenta la liberación de calor de los materiales de construcción y por ello la influencia directa en el incremento de temperatura. En diciembre se considera una disminución del uso de aparatos eléctricos para regular la temperatura en interiores, pero se observa la presencia de la isla de calor en exteriores, aunque con un registro de temperatura menor con respecto a los otros meses del análisis.

5.11.- ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA

En la actualidad existen gran variedad de estrategias a la mitigación de la isla de calor urbana, todas enfocadas a la creación de áreas verdes que permitan regular la temperatura en el centro urbano, la ingeniería civil y ambiental pretende establecer nuevas estrategias que permitan disminuir el fenómeno de la isla de calor; pensando en que el desarrollo económico de una ciudad se basa específicamente en la industria y en el desarrollo urbano, las estrategia propuesta va encaminada al uso de materiales fríos con menor capacidad de albedo y que la emisividad sea menor, lo que generara una disminución de la demanda de energía eléctrica en interiores y una baja temperatura en el ambiente a causa de que los materiales de construcción permanecerán fríos.

Los Materiales de construcción en la actualidad registran valores de albedo muy altos, con los materiales fríos se pretende un incremento en la reflectancia y por ende menor absorción de radiación solar al interior de los materiales (Ilustración 84).



Ilustración 84: Principios básicos de materiales fríos y su influencia en la temperatura de la superficie.

Al tener una menor absorción de radiación solar acumulada en su interior, la liberación de calor en ausencia de los rayos solares disminuirá considerablemente y la temperatura del ambiente registrará un menor valor.

De acuerdo a la investigación se argumenta que los materiales tienen una influencia en el incremento de temperatura, al implementarse la estrategia de materiales fríos el calor que ingresar al edificio disminuirá considerablemente y con ellos la contaminación en la generación de energía eléctrica; la temperatura del ambiente entre 9 y 11 pm también sufrirán una disminución porque existirá menor liberación de calor al exterior.



6.- CONCLUSIONES

Durante los meses analizados en la investigación se tuvo una estimación la influencia de los materiales de construcción, la sustitución de áreas naturales por materiales antropogénicos y la circulación de los vehículos en el incremento de la temperatura del centro de la ciudad y por ende la presencia de la isla de calor urbana e identificar las zonas desfavorables para desempeñar actividades al aire libre y en oficinas o escuelas.

Los resultados interpretados ilustran en los promedios mensuales la presencia de la isla de calor, que se localiza en el primer cuadro de la ciudad de Morelia (Colegio Primitivo y Nacional de San Nicolás y Preparatoria “Melchor Ocampo”) donde se argumenta que gran parte del incremento de temperatura de la zona se asocia a una alta densidad de vehículos que circulan por la avenida madero en los dos sentidos, el bajo porcentaje de áreas verdes localizadas en la zona donde la mayor partes de áreas están cubiertas por materiales de construcción que absorben la radiación solar y que posteriormente tienen a liberar incrementando así la temperatura de la zona inclusive cuando no hay presencia de la radiación solar.

Los promedios mensuales horarios que se realizaron a las 5 am, 9 am, 12 pm, 3 pm, 5 pm, 9 pm y 11 pm, para estimar el comportamiento de la isla de calor urbana a diferentes horas del día y el crecimiento o exposición que presentaba; en el mes de septiembre a las 5 y 9 am no se observaba la presencia de la isla de calor urbana, en la hora de las 5 pm se identifica una zona con un máximo térmico comparado con la zona verde de referencia, situación que prevalece para las 9 pm donde es marcado la zona circundante de menor temperatura, a las 11 pm se aprecia como la isla de calor urbana se ha incrementado en circunferencia y abarca mayor parte del centro de la ciudad que al inicio solo era el primer cuadro, se establece una relación estrecha que la temperatura se incrementa debido a la propiedad de albedo de los materiales de construcción y en ausencia de presencia de radiación solar se tiende a liberar ese calor acumulado en su interior (emisividad).



Para el mes de agosto se aprecia que a las 5 am la estación ubicada en la Preparatoria “Ing. Pascual Ortiz Rubio” (Prepa 2) en dirección norte, registra una diferencia de temperatura de 3°C que se asocia principalmente a la ubicación de las industrias establecidas en esa dirección y que trabajan día y noche, se considera que el dióxido de carbono (CO_2) de los procedimientos industriales incrementan la temperatura de la zona, en las próximas hora se estimó que la isla de calor urbana se localiza en el centro histórico de la ciudad de Morelia, los isotermas de temperatura críticos son los de las 11 pm se aprecia que aún hay presencia de la isla de calor con una intensidad de 0.85°C localizado en el centro de la ciudad.

En la época de verano que comprende los meses de junio, julio y agosto se apreció una temperatura regular para la zona de estudio, que influye las lluvias de verano lo que indica una temperatura estable en algunos horarios, sin embargo, a las 11 pm se estableció un incremento y la existencia de la isla de calor con un máximo térmico de 0.5°C .

La influencia que los materiales de construcción tienen en la isla de calor urbana y por ende en el incremento de temperatura es alta, por las propiedades de los materiales como el albedo y la emisividad, la mayoría de los edificios históricos de la ciudad presentan una fallada de cantera con una textura rugosa, por tanto, la capacidad de retener radiación solar y liberarla es alta y se estimó en los isotermas de los meses a las 11 pm donde los rayos solares han desaparecido pero la temperatura de la zona es considerable.

Se estimó la presencia de la isla de calor en el centro de la ciudad comparando la diferencia de temperatura de un área verde dentro de la misma ciudad y con la temperatura del centro, se trabajó a microescala para mayor exactitud.

Los isotermas de promedios mensuales se observó claramente la isla de calor urbana en el centro de la ciudad a microescala inclusive es considerable la diferencia de temperatura de la zona de referencia con respecto al centro de la ciudad.



Los meses de febrero y marzo no se reportan por problemas de acceso a los edificios donde se ubicaron las estaciones, se evaluaron los dos meses por separado para conocer el comportamiento de la isla de calor.

El modelo matemático y gráfico permite determinar y estimar con claridad las zonas críticas del centro de la ciudad donde los materiales de construcción tienen mayor influencia en el incremento de la temperatura y por ende la existencia de la isla de calor urbana, las zonas donde se localiza el máximo térmico se consideran como áreas fuera del confort térmico para realizar actividades turísticas o cotidianas y se asocia directamente con la demanda de energía eléctrica en aparatos electrodomésticos que regulan la temperatura en interiores, con ello se deduce que se incrementa la contaminación por la producción de energía.

De acuerdo a la literatura la isla de calor es una diferencia de temperatura entre un área rural circundante y la temperatura del centro urbano, de acuerdo con los resultados se deduce que la isla de calor puede presentarse inclusive con la diferencia de temperatura entre el centro urbana y un área verde que se localiza dentro de la ciudad, estimando una diferencia de temperatura de hasta 3°C a microescala.

Es una investigación que aún no ha sido tan estudiada y que afecta directamente a la población en general y muy poco conocida, queda mucho por investigar e interpretar para llegar a estar estrategias de mitigación viables y que no vayan dirigidas o enfocadas a la biología sino que como ingenieros ambientales se puedan determinar soluciones en los materiales de construcción y que disminuyan la propiedad del albedo y con ello reducir el consumo de energía eléctrica y aumentar la comodidad de la población en desempeñar su actividades cotidiana.



8.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. Córdova, «Geotecnología espacial aplicada al estudio del fenómeno de islas térmicas urbanas,» *Terra*, vol. XXIX, nº 46, pp. 13-28, 2013.
- [2] EPA, «Heat island Impacts,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-impacts#health>. [Último acceso: 12 06 2020].
- [3] Mexicana Aerofoto S.A., «Morelia,» Morelia, 1964.
- [4] L. Howad's, *Climate of London*, Londres: International Association For Urban Climate, 1817.
- [5] G. Manley, «The Atmospheric Circulation Over The British Isles And Neighbouring Seas,» de *Climate And The British Scene*, Gran Bretaña, Collins, 1958, pp. 57-92.
- [6] M. Brunet, «La magnitud y fluctuaciones de la isla de calor Tarragona,» *Tarraco*, nº 7, pp. 19-29, 1992.
- [7] E. Ramiro, «Una isla que se mueve,» *Didáctica Geográfica*, nº 8, pp. 33-55, 2006.
- [8] J. Quereda, E. Montón y J. Escrig, «Un análisis experimental del efecto urbano sobre las temperaturas,» *Investigaciones Geográficas*, nº 47, pp. 5-17, 2007.
- [9] K. Gobakis, D. Kolokosta, A. Synnefa, M. Saliari, K. Giannopoulou y M. Santamouris, «Development of a model for urban heat island prediction using neural network techniques,» *Sustainable Cities and Society*, vol. 1, nº 2, pp. 104-115, 2011.
- [10] K. Giannopoulou, I. Livada, M. Santamouris, M. Saliari, M. Assimakopoulos y Y. G. Caoris, «On the characteristics of the summer urban heat island in Athens, Greece,» *Sustainable Cities and Society*, vol. 1, nº 1, pp. 16-28, 2011.
- [11] I. Keramitsoglou, C. T. Kiranoudis, G. Ceriola, Q. Weng y U. Rajasekar, «Identification and analysis of urban surface temperature patterns in Greater Athens, Greece, using MODIS imagery,» *Remote Sensing of Environment*, vol. 115, nº 12, pp. 3080-3090, 2011.
- [12] K. Kourtidis, A. K. Georgoulas, S. Rapsomanikis, V. Amiridis, I. Keramitsoglou, H. Hooyberghs, B. Maiheu y D. Melas, «A study of the hourly variability of the urban heat island effect in the Greater Athens Area during summer,» *Science of the Total Environment*, vol. 517, pp. 162-177, 2015.
- [13] M. D. C. Moreno García, *Climatología Urbana*, Barcelona: Universidad de Barcelona, 2010.



-
- [14] B. J. Berry y F. E. Horton, «Urban environmental management: Planning for pollution control,» *Prentice Hall, Upper Saddle River*, p. 425, 1974.
- [15] J. G. Kennen, «Relation of macroinvertebrate community impairment to catchment characteristics in New Jersey streams,» *Journal of the American Water Resources Association*, pp. 939-955, 1999.
- [16] SEDATU, «Vulnerabilidad de la población por altas temperaturas,» Secretaria de Gobierno, México, 2014.
- [17] A. Martini, D. Biondi y A. C. Batista, «Urban Forest Components Influencing Microclimate and Cooling Potential,» *Revista Árvore*, pp. 198-209 Doi: 10.1590/1806-90882017000600003, 2017.
- [18] I. Pilatowsky Figueroa, «Psicrometría, métodos de humidificación y dehumidificación y sus aplicaciones en el diseño arquitectónico,» Centro de Investigación de Energía, Guadalajara, México, 2002.
- [19] D. Triantakonstantis y G. Mountrankis, «Urban Growth prediction: A review of computational models and human perception,» *Journal of Geographic Information System*, pp. 555-587, 2012.
- [20] J. G. Hurtado, «La urbanización del mundo,» de *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 2010, pp. 41-55.
- [21] ONU, «Perspectivas mundiales de urbanización,» Nueva York, 2014.
- [22] World Economic Forum (WEF), «Crecimiento de urbanización en el mundo,» *WEF*, pp. 50-56, 2017.
- [23] United Nations, *World Urbanization Prospects; the 2018 revision*, New York: United Nations, 2019.
- [24] H.-K. Jo, «Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea,» *Journal of Environmental Management*, pp. 115-126, 2001.
- [25] SEMARNAT, «Informe de la situación del medio ambiente en México,» SEMARNAT, México, 2008.
- [26] V. Bunge, *La presión hídrica en las cuencas de México*, México: INE, 2010, pp. 88-91.
- [27] NASA, «National Aeronautics And Space Administration,» 23 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/feature/langley/what-is-earth-s-energy-budget-five-questions-with-a-guy-who-knows>.



- [28] K. R. Gunawardena, M. J. Wells y T. Kershaw, «Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity,» *Science of the Total Environment*, pp. 1040-1055, 2017.
- [29] C. Grimmond, M. Roth, T. R. Oke, Y. Au, M. Best y R. Betts, «Climate and more sustainable cities: Climate information for improved planning and management of cities (Producers/capabilities Perspective),» *Procedia Environmental Sciences*, pp. 247-274, 2010.
- [30] G. L. Stephens y T. L'Ecuyer, «The Earth's energy balance,» *Atmospheric Research*, vol. 166, pp. 195-203, 2015.
- [31] Z. Duan y W. Bastiaanssen, «Evaluation of three energy balance-based evaporation models for estimating monthly evaporation for five lakes using derived heat storage changes from a hysteresis model,» *Environmental Research Letters*, vol. 12, nº 2, 2017.
- [32] A. Palacios, L. Cong, M. E. Navarro, Y. Ding y C. Berreneche, «Thermal conductivity measurement techniques for characterizing thermal energy storage materials: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 108, pp. 32-52, 2019.
- [33] J. Turner, A. V. Parisi y D. J. Turnbull, «Reflected solar radiation from horizontal, vertical and inclined surface: Ultraviolet and visible spectral and broadband behaviour due to solar zenith angle, orientation and surface type,» *Journal of Photochemistry and Photobiology Biology*, vol. 92, nº 1, pp. 29-37, 2008.
- [34] R. Emmanuel y A. Loconsole, «Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK,» *Landscape and Urban Planning*, pp. 71-86, 2015.
- [35] P. J. Robinson, «On the definition of a Heat wave,» *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 40, nº 4, pp. 762-775.
- [36] V. Geros, M. Santamouris, S. Karatasou, A. Tsangrassoulis y N. Papanikolaou, «On the cooling potential of night ventilation techniques in the urban environment,» *Energy and Building*, pp. 243-257, 2011.
- [37] J. Stromann-Andersen y P. A. Sattrup, «The urban canyon and building energy use: urban density versus daylight and passive solar gains,» *Energy and Buildings*, pp. 2011-2020, 2011.
- [38] C. Carrasco, M. Palme y M. A. Galvez, «Factor de cielo visible y el efecto de isla de calor en Valparaíso,» *Urbano*, pp. 26-33, 2016.
- [39] E. Mora Damian, «Análisis espacio temporal de la isla de calor urbana en la Ciudad de Morelia, Michoacán,» *Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo UMSNH*, p. 87, 2015.



-
- [40] N. E. Theeuwes, G. J. Steeneveld, R. J. Ronda, B. G. Heusinkveld, L. W. Van Hove y A. ... Holtslag, «Seasonal dependence of the urban heat island on the street canyon aspect ratio,» *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, pp. 2197-2210, 2013.
- [41] E. N. Correa, M. A. Ruiz y M. A. Cantón, «Morfología forestal y confort térmico en "ciudades oasis" de zonas áridas,» *Ambient*, pp. 119-137 doi:10.1590/S1678-86212010000400009, 2010.
- [42] D. P. Roy, V. Kovalsky, H. K. Zhang, E. F. Vermote, L. Yan, S. S. Kumar y A. Egorov, «Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity,» *Remote Sensing of Environment*, pp. 57-70, 2016.
- [43] Y. Ke, J. Im, J. Lee, H. Gong y Y. Ryu, «Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations,» *Remote Sensing of Environment*, pp. 298-313, 2015.
- [44] E. O. System, 26 Dicembre 2019. [En línea]. Available: <https://eos.com/ndvi/es/>.
- [45] E. P. A. (EPA), «Trees and Vegetation,» *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*, p. 32, 2015.
- [46] F. Kreith, R. M. Manglik y M. S. Bohn, Principios de transferencia de calor, Denver, Colorado: Cengage Learning, 2012.
- [47] J. K. C. Dimas, Desarrollo de morteros ligeros base cemento portland con propiedades térmicas optimizadas mediante la incorporación de un micro co-polímero, Monterrey, Nuevo León: UANL, 2014.
- [48] F. P. Incropera y D. P. DeWitt, Fundamentos de transferencia de calor, Cuarta ed., México: Pearson, 2000, p. 912.
- [49] L. Gartland, Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas, London: Earthscan, 2008.
- [50] T. Oken, G. Mills, A. Christen y J. Voogt, «Urban Climates,» Cambridge University, Cambridge, Reino Unido, 2017.
- [51] A. McEvoy, T. Markvart y C. Castaner, «Practical Handbook of photovoltaics fundamentals application,» Academic Press, Waltham, Estados Unidos, 2011.
- [52] H. Taha, «Urban surface modification as a potential ozone air-quality improvement strategy in California: A mesoscale modelling study,» *Boundary-Layer Meteorology*, pp. 219-239, 2015.



-
- [53] Y. Qin y H. He, «A new simplified method for measuring the albedo of limited extent targets,» *Solar Energy*, pp. 1047-1055, 2017.
- [54] J. K. Campos Dimas, Desarrollo de morteros ligeros base cemento portland con propiedades térmicas optimizadas mediante la incorporación de un micro-polímero, Monterrey, Nuevo León : Universidad Autónoma de Nuevo León UANL, 2014.
- [55] F. Fernández, «Lisa Gartland. Heat Islands. Understanding and mitigating heat in urban areas,» *Revista de Geografía Norte Grande*, nº 43, pp. 119-121, 2009.
- [56] P. Sarricolea, E. Aliste , P. Castro y C. Escovedo , «Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos,» *Revista de Climatología Urbana* 8, pp. 71-84, 2010.
- [57] EPA, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of strategies, Washington, Estados Unidos: EPA, 2014.
- [58] L. Sogacheva, P. Kolmonen, T. H. Virtanen, E. Rodriguez, A. M. Sundstrom y G. de Leeuw, «Determination of land surface reflectance using the AATSR dual-view capability,» *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, vol. 7, nº 7, pp. 7451-7494, July 23 2014.
- [59] A. J. Arnfield, «An approach to the estimation of the surface radiative properties and radiation budgets of cities (Columbus, Ohio),» *Physical Geography*, vol. 3, nº 2, pp. 97-122, Mayo 2013.
- [60] C. Kimuku y M. Ngigi, «Study of Urban Heat Island Trends to Aid in Urban Planning in Nakuru County-Kenya,» *Journal of Geographic Information System*, vol. 9, nº 3, pp. 309-325, Junio 2017.
- [61] J. Zhang y Y. Wang, «Study of Relationships between the Spatial Extent of Surface Urban Heat Islands and Urban Characteristic Factors Based on Landsat ETM+ Data,» *Sensors*, vol. 8, nº 11, pp. 7453-7468, 2008.
- [62] G. Evola, A. Gagliano , A. Fichera, L. Marletta, F. Martinico, F. Nocera y A. Pagano, «UHI effects and strategies to improve outdoor thermal comfort in dense and old neighbourhoods,» *Energy Procedia*, pp. 692-701, October 2017.
- [63] World Bank Group, «Climate Change Knowledge Portal,» [En línea]. Available: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico/climate-sector-energy#>. [Último acceso: 25 Junio 2020].
- [64] IEA, «IEA,» [En línea]. Available: www.iea.org.



-
- [65] I. S. Elsayed, «Mitigation of the Urban Heat Island of the City of Kuala Lumpur, Malasia,» *Middle-East Journal of Scientific Research*, vol. 11, nº 11, pp. 1602-1613, 2012.
- [66] L. D. J. Ramos Gutiérrez y M. Montenegro Fragoso, «La generación de energía eléctrica en Mexico,» *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 3, nº 4, 2012.
- [67] Dirección General de Epidemiología (DGE), «Informe semanal de Vigilancia Epidemiológica,» Secretaría de Salud, México, 2020.
- [68] N. L. Alchapar, E. N. Correa y M. A. Cantón, «índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencia para la mitigación de la isla de calor urbana,» *Ambiente construido*, vol. 12, nº 3, 2012.
- [69] S. Oliveira y H. V. Andrade, «The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon,» *Building and Environment*, pp. 2186-2194, 2011.
- [70] J. Yuan, K. Emura y C. Farnham, «Is urban albedo or urban green covering more effective for urban microclimate improvement?: A simulation for Osaka,» *Sustainable cities and society* (32), pp. 78-86, 2017.
- [71] I. Tumini, «Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid,» *Sustainable building conference*, pp. 50-65, 2015.
- [72] A. G. Haro, *Isla fría de los parques urbanos: una aproximación desde el estudio de la influencia climática de los parques urbanos en Barcelona, Barcelona, España, 2017.*
- [73] Instituto para Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFEM), *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, México: Secretaría de Gobernación, 2015.*
- [74] INEGI, «Población Morelia, Michoacán,» Morelia, 2015.
- [75] G. M. Sánchez y A. Vieyra, «Evaluación de la integración funcional de la zona metropolitana de Morelia,» *INCEPTUM, Revista de Investigación en Ciencias de la Administración*, vol. VII, nº 13, pp. 365-391, 2012.
- [76] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), «Encuesta Intercensal,» *Intercensal*, 2015.
- [77] Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y H. Ayuntamiento de Morelia, «Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Municipio de Morelia,» Morelia, 2012.



-
- [78] C. C. Onset, «Onset comp,» 01 Agosto 2019. [En línea]. Available:
<https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/h08-004-02>.
- [79] J. K. Campos Dimas, Desarrollo de morteros ligeros base cemento portland con propiedades térmicas optimizadas mediante la incorporación de un micro co-polímero, Monterrey: UANL, 2014.
- [80]