



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

TESIS

Estrategias de mitigación de Islas de calor urbano en Toluca

**Que para obtener el grado de
DOCTOR EN DISEÑO**

Presenta

M. en D. José Luis Torres Quintana

Tutor Académico

Dr. Silverio Hernández Moreno

Tutores Adjuntos

Dr. David Joaquín Delgado Hernández

Dr. Roberto Franco Plata

Toluca de Lerdo, México

Noviembre de 2020

Agradecimientos

Primeramente, a mi Dios y creador, por darme la oportunidad de seguir haciendo algo provechoso de mi vida y ser ejemplo para los vienen detrás.

A mi Facultad de Arquitectura y Diseño y al área de posgrado por la oportunidad recibida después de tantos años de ausencia.

Un agradecimiento especial para la RAMA (Red Automática de Monitoreo Atmosférico) y el laboratorio Mariano Bárcena de la Universidad Autónoma del Estado de México por las facilidades y datos proporcionados sin los cuales esta investigación no sería posible.

Mención especial merece el PNPC de CONACYT por el apoyo económico sin el cual muchos estudiantes de posgrado no veríamos realizados nuestros anhelos.



CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2 ¿Cómo se define una isla de calor urbano?	4
1.3. Antecedentes.....	6
1.3.1. Cambio climático y calentamiento global	7
1.3.2. Gases de efecto invernadero	8
1.3.3. Efectos del cambio climático en México.....	10
1.4. Justificación	13
1.5. Hipótesis.....	17
1.6. Objetivos.....	19
1.6.1. Objetivo General:	20
1.6.2. Objetivos particulares:.....	20
1.7. Preguntas de investigación.....	21
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.2. Revisión de casos	22
2.2.1. Caso de Adelaida, Australia	23
2.2.2. Caso Barcelona, España	31
2.2.3. Caso Valparaíso, Chile.	33
2.2.4. Caso de Tampico, Tamaulipas.....	39
2.2.5. Caso de Ciudad Juárez, Chihuahua	43
2.2.6. Caso de Toluca, México.....	46
2.3. Metodología revisada	48
CAPÍTULO 3. CAMPO DE APLICACIÓN.....	50
3.1 Introducción al capítulo.....	50
3.2. Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la ZMVT (Zona Metropolitana del Valle de Toluca).....	51
3.3. El tren interurbano México-Toluca	60
3.4. Selección del lugar de estudio.....	67
3.5 Estudio de casos extras.....	68

3.5.1. Caso 1. Métodos geográficos y trabajo de campo. Estudio de isla de calor urbano en Kota, Kinabalu, Sabah, Malasia.....	68
3.5.2. Caso 2. Comparación de variables climáticas rural, suburbana y urbana con relación al fenómeno Isla de Calor Urbana UHI.....	72
3.5.3. Caso 3. Detección e identificación de islas de calor urbano: un acercamiento al estado del arte	85
3.5.4. Caso 4. Desarrollo inteligente de Islas de Calor Urbano UHI	89
3.6. Método particular definido para el estudio-diagnóstico.....	91
CAPÍTULO 4. DATOS Y RESULTADOS.....	94
4.1. Descripción del sitio de estudio	94
4.2. Recopilación de datos de campo.....	104
4.3. Procesamiento de datos	105
4.3.1. Travesías octubre- noviembre 2018.....	105
4.3.2. Travesías abril-mayo 2019.....	114
4.3.3. Travesías octubre-noviembre 2019.....	120
4.3.4. Interpretación de datos de travesías	126
4.4. Datos de RAMA (Red Automática de monitoreo Atmosférico)	137
4.5. Datos Observatorio Mariano Bárcena (UAEM).....	144
4.6. Distribución normal y pruebas de normalidad.....	148
4.7. LANDSAT	153
4.8. Regresión Lineal.....	156
4.9. Conclusiones de capítulo.....	175
CAPÍTULO 5. MITIGACIÓN Y POLÍTICAS APLICABLES	178
5.1. Propuestas de mitigación	178
5.2. Medidas de ecologización	179
5.2.1. Vegetación y enfriamiento.....	179
5.2.2. Estrategias de ecologización urbana	180
5.2.3. Plantación selectiva de árboles y vegetación.....	181
5.2.4. Ecologización de estacionamientos	182
5.2.5. Vegetación alrededor de los edificios.....	182
5.2.6. Muros vivos	183
5.2.7. Techos verdes.....	185
5.3. Medidas relacionadas con infraestructura urbana sostenible, Arquitectura y Planificación del suelo.....	187

5.3.1. Edificios.....	187
5.3.2. Infraestructura vial.....	191
5.4. Gestión sostenible de agua pluvial	195
5.4.1. Arbolado y techos verdes.....	195
5.4.2. Superficies permeables.....	196
5.4.3. Jardines de lluvia	196
5.4.4. Estanques de retención	197
5.4.5. Zanjas de remojo e infiltración	197
5.4.6. Pozos secos.....	197
5.4.7. Estructuras de embalse de pavimentos para su riego con agua reciclada .	198
5.5. Medidas antropogénicas de reducción de calor	198
5.5.1. Control de la producción del calor en edificios.....	198
5.6. Reducción del número de vehículos en áreas urbanas	200
5.6.1. Densificar los centros urbanos y controlar la expansión urbana	200
5.6.2. Desarrollo de uso de suelo mixto	201
5.6.3. Restricciones de acceso a vehículos automotores	201
5.6.4. Tránsito público.....	201
5.6.5. Transporte activo	202
5.7. Edificios pasivos: control de la demanda de aire acondicionado.....	202
5.7.1. Ventilación	202
5.7.2. Ganancias de enfriamiento asociadas con aire acondicionado pasivo	205
5.8. Estrategias particulares por cada estación	206
5.9. Estrategias de mitigación en el trayecto del tren interurbano	211
5.10. Gobernanza y Gestión de proyectos	214
CONCLUSIONES.....	221
GLOSARIO	226
TABLA DE FIGURAS	228
REFERENCIAS.....	233

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El mayor problema actual que aqueja a la humanidad es la sobrepoblación mundial, se estima que para el año 2025 habrá en el planeta, casi 8,000 millones de habitantes, y una de las preocupaciones fundamentales es que esta población se concentra en las zonas urbanas casi en un 75%, dejando abandonadas las zonas rurales y agrícolas, motivando dos fenómenos:

El primero: son la erosión por falta de siembra y rotación de cultivos y la migración campo-ciudad, con sus respectivas consecuencias como son el hacinamiento, la falta de empleo o subempleo, el crecimiento desmedido y sin planeación de la mancha urbana, la falta de servicios básicos, la urbanización forzada de nuevas zonas urbanas en la periferia, el crecimiento habitacional horizontal en lugar del vertical, las rutas y líneas de transporte público cada vez más alejadas, la ocupación de suelo antes desnudo y agrícola y la consecuente deforestación que esto conlleva, la producción manejo y destino final de la basura, y una serie de factores políticos y sociales como la falta de interés de los diferentes gobiernos para frenar o controlar tales situaciones.

El segundo: es que, debido a todos los factores mencionados anteriormente, todas las ciudades grandes y medianas del planeta, emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera, debido entre otros factores, en que al cubrir el suelo desnudo se impide la filtración de agua pluvial al subsuelo, los árboles deforestados que sirven como controladores de la lluvia, pues detienen en su follaje la caída en columna del agua además de que concentran carbono y contaminantes y producen oxígeno CO_2 cada vez son menos, por lo que la radiación solar llega de forma directa a la superficie terrestre y en vez de que exista albedo(recepción de una parte de dicha radiación absorbida por el suelo desnudo), lo refleja al 100% produciendo calentamiento de la

superficie y elevando las temperaturas de las ciudades, motivando el uso de climas artificiales y ventiladores, equipos de refrigeración que de momento alivian o mantienen el índice de confort en los edificios, pero que es una de las prácticas de mayor impacto al medioambiente, pues el uso de la energía eléctrica produce la mayor parte de carbono a nivel mundial.

A fines de los años 90s se intensificó la idea de que existe un efecto negativo de las actividades antropogénicas en el comportamiento del clima mundial, que ya había sido vaticinado en una publicación de 1896 escrita por Svante A. Arrhenius (premio Nobel de Química 1903) en el que citaba acerca de la influencia del Bióxido de Carbono CO₂ sobre la temperatura terrestre, pero ha sido hasta los últimos 35 años cuando la gestión ambiental en materia de la atmósfera ha dirigido su interés en las emisiones contaminantes con efectos dañinos para la salud humana.

Los bosques y suelos, sumideros naturales para la captura de CO₂, han visto reducida su capacidad debido a las inadecuadas políticas ambientales, estrategias y acciones para prevenir y controlar la contaminación atmosférica, pues éstas deben ser integrales, sinérgicas y globales, ya que actualmente una de las principales preocupaciones a nivel global es la mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), toda vez que las políticas económicas, urbanas y de transporte tienen la imperiosa necesidad de considerar el componente ambiental, pues los recursos con que cuentan cada una de éstas, está por rebasar su punto crítico de existencia, pues las fuentes de energía no renovable se están agotando, la superficie del suelo desnudo, forestal y agrícola disminuye cada día, ocasionado por la necesidad cada vez mayor de terreno para edificar zonas urbanas y por consecuencia, la extensión de las vías de comunicación, afectando gravemente los recursos naturales, sobre todo bosques y suelos, forzando cambios de uso de suelo de forestal y agrícola a habitacional y urbano (Gobierno del Estado de México, 2013: p. 26).

El cambio climático ya es una realidad actual, en los últimos cien años se han reportado cambios importantes en el comportamiento del clima, ya que la temperatura del planeta se ha elevado 0.75 °C por lo cual, cada vez más observamos inundaciones, sequías, huracanes intensos y otros fenómenos meteorológicos que hace 50 años no se observaban, como las olas de calor, las nevadas intensas, los deshielos árticos, las grandes temporadas

de huracanes en el Pacífico, plagas y enfermedades, todos relacionados con la vulnerabilidad y cambio climático.

La acumulación del calor urbano tiene efecto sobre las escalas tanto global como local, existiendo una relación directa entre la generación de Isla de calor urbana (UHI) y el cambio climático ocasionado por los anteriores factores (Cladera *et al*, 2015).

1.1. Planteamiento del problema

Una de las principales preocupaciones de la humanidad, es la que actualmente se vive en todo el planeta, el cambio climático, generado por dos fenómenos principales: el crecimiento poblacional y el calentamiento del planeta. En la actualidad, las áreas urbanas consumen más del 70% de energía mundial y contaminan más del 75% globalmente, motivado por diversos factores entre los que se encuentran, la falta de apoyo para las labores agrícolas, la búsqueda de un empleo con mejor ingreso económico, una mejor educación de estudio para los hijos y en general, una mejor expectativa de vida, incrementando con esto el crecimiento desordenado de la mancha urbana al establecerse en las márgenes de las ciudades, con la obvia demanda de servicios básicos y urbanización (Ruano,2008: p.7).

Como factor principal de este problema se señala la migración del campo a la ciudad donde, a principios del presente milenio más del 45% de la población mundial era citadina y para el 2007 se incrementó a más del 50%, un crecimiento urbano sin precedentes a nivel global, principalmente en países en desarrollo, convirtiéndose en un problema muy serio para las ciudades, las cuales nunca estuvieron preparadas y mucho menos diseñadas para albergar a la gran masa de asentamientos humanos, los que de inmediato impactaron ambientalmente en el crecimiento desordenado y sin planeación alguna de los cinturones citadinos, lo cual generó que cada vez la ciudad fuera creciendo horizontalmente, ganándole terreno a zonas anteriormente agrícolas o forestales (Jáuregui, 1988).

Simultáneamente como se dieron esos asentamientos desordenados, se empezaron a incrementar los problemas ambientales, donde los suministros de energía, agua y servicios básicos se vieron rebasados por la demanda, proyectados inicialmente a mediana escala aplicable a nivel de barrios y colonias, pero después de esa migración, se debió considerar a nivel macro-escala, para poder atender a grandes concentraciones poblacionales. Es muy

importante entender el impacto ambiental generado por este fenómeno en el entorno urbano para su estudio en el ámbito climatológico, pues será de vital importancia para comprender la problemática del presente tema doctoral, las islas de calor urbano (Arnfield, 2002: p. 1).

1.2 ¿Cómo se define una isla de calor urbano?

El incremento poblacional en las zonas urbanas por la migración del campo a la ciudad, trae consigo una serie de fenómenos como el crecimiento de la mancha urbana, la construcción de vivienda, el hacinamiento, ocupando cada vez más terreno anteriormente ocupado por zonas agrícolas, verdes y arboladas, ocasionado por la expansión habitacional, la demanda de transporte, que genera emisiones antropogénicas a base de combustibles fósiles, circulante por pavimentos duros e impermeables cada vez mayores, la generación, manejo y destino de basura, los cambios de uso de suelo, la deforestación, la reducción de los mantos acuíferos y la polución, son algunos de los factores que incrementan el efecto isla de calor urbano (Morales, 2007).

La isla de calor urbana es uno de los principales problemas del presente siglo, como resultado de la urbanización e industrialización en zonas densamente pobladas y extensas, generando una gran cantidad de calor irradiado por las estructuras urbanas y el transporte masivo, tanto público como privado, que aunado a la radiación solar que se desarrollan en zonas de gran actividad económica de la población residente en un área extensamente poblada, la industria, el uso de climas artificiales, los suelos duros y pavimentados, la falta de espacios verdes y abiertos que permitan las corrientes de aire y oxigenación, generan el efecto isla de calor (Memon, 2007).

Una isla de calor urbana es un fenómeno en el cual la temperatura del aire en zonas densamente pobladas, es mayor que la temperatura en los alrededores de la ciudad, cuyo incremento de temperatura tiene un efecto directo en el incremento de energía y en las condiciones de confort térmico en los espacios habitacionales, tanto en verano como en invierno, cuya mayor temperatura en invierno dentro del medio urbano, tiene efectos positivos al reducir el uso de calefacción en los edificios pero, en verano es justamente al contrario, pues se incrementa el uso de aire acondicionado y clima artificial con un mayor

consumo de energía eléctrica, generando una mayor polución, reduciendo el enfriamiento pasivo por la noche (figura 1.1).

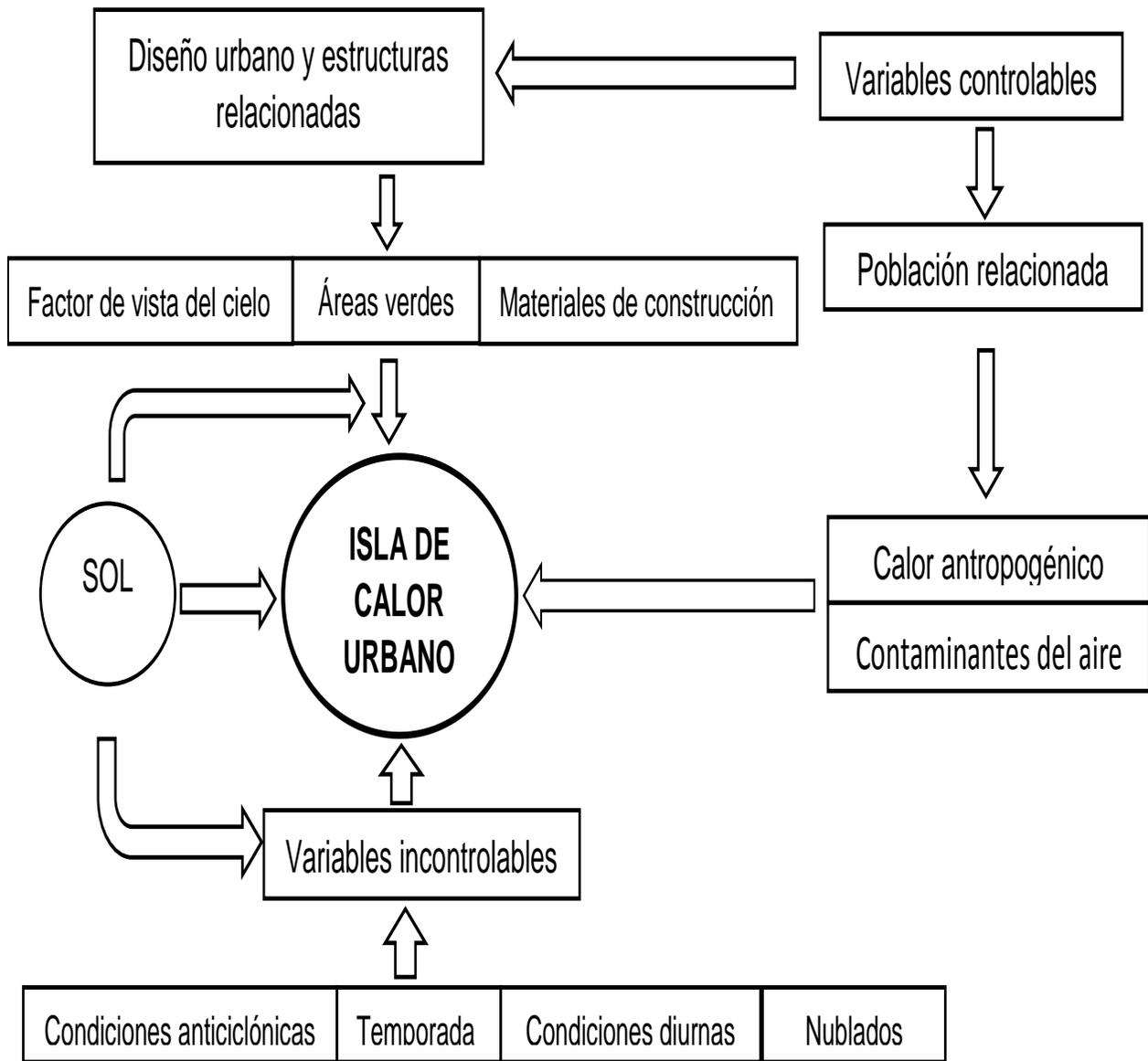


Figura 1.1. Gráfica de generación de Isla de Calor Urbano (ICU).

Fuente: (Rizwan *et al.*, 2018: p. 121).

El impacto real y significativo que puede llegar a tener el efecto de isla de calor urbano en un conglomerado urbano depende, definitivamente de las características del clima local. En ciudades de alta latitud, las islas de calor suelen convertirse en un problema ya que, principalmente en verano y otoño, por la intensa ola de calor ambiental al exterior, y el consecuente calentamiento del edificio, de modificar el confort ambiental al interior del

mismo, recurriendo al uso de sistemas de aire acondicionado y clima artificial, aparatos eléctricos que contribuyen a la producción de gases de efecto invernadero, al calentamiento del planeta y formación de isla de calor urbano.

1.3. Antecedentes

Los climas urbanos difieren significativamente de los climas rurales. En las áreas urbanas del hemisferio norte existe un promedio de 12% menos de radiación solar, un 8% más de nubosidad, un 14% más de precipitaciones, 10% más de nevadas y 15% más de tormentas eléctricas, que en áreas rurales. Las concentraciones pueden ser 10 veces más altas que en la zona campestre y la temperatura de la atmósfera y del aire puede llegar a ser un promedio de 2°C mayor, a diferencia de su contraparte en la zona no urbana, donde las condiciones de urbanización son mínimas o nulas, y es el clima y el medio ambiente mucho más benigno.

Los flujos de calor y humedad son alterados, modificando de forma importante el paisaje y clima urbanos, siendo las variables que más afectan el calor antropogénico, la polución y la variación de humedad en el ambiente, la radiación solar y el albedo. La mayor parte de ciudades con latitudes medias y altas, tienen temperaturas del aire mayores que las de sus zonas rurales, ocasionando la isla de calor urbano, en una amplia gama de escalas, manifestándose desde un edificio y un pequeño jardín hasta una gran parte de la ciudad, dependiendo esto de su ubicación geográfica y las condiciones meteorológicas del lugar, el flujo de transporte, entre otros (Taha, 1997).

La tierra tiene un excedente anual de energía radiante del 29% y la atmósfera tiene un déficit anual de la misma cantidad, lo que no significa que exista un equilibrio, sino que, considerando las propiedades físicas y térmicas de la tierra, esta se calentaría aproximadamente 25°C al día, pero la atmósfera la enfría 1°C secuencialmente, estas tasas de enfriamiento y calentamiento no se observa porque la convección de la energía transportada es equivalente a su excedente radiactivo de la tierra en la atmósfera, compensando de esta forma, su déficit, del cual el 5% del intercambio es calor sensible y el 24% es calor latente. El equilibrio de la energía diurna en un determinado lugar se observa en que la temperatura de la capa límite responde a los procesos de una escala de

tiempo menor a un día, describiendo las características generales más importantes del régimen de energía diurna acumulada en un lugar determinado, debiendo ser este lugar horizontal, homogéneo y extenso (Oke,1978: p. 20).

1.3.1. Cambio climático y calentamiento global

No existe una definición como tal, pero se refiere a la variación global o regional del clima en la tierra a lo largo de un determinado tiempo, fenómeno expresado como la variabilidad observada respecto al clima promedio el cual puede ir desde unos cuantos años hasta miles o millones, la cual siempre ha estado presente en la historia del planeta desde antes de la aparición del hombre. En ese entonces, las variabilidades fueron causadas por fenómenos propios del sistema tierra-atmósfera, pero recientemente se atribuye a la actividad humana (emisiones antropogénicas) como la variable principal que afecta el clima debido a la emisión de GEI presentes en forma natural en la atmósfera y que son esenciales para la vida en la tierra al impedir que una parte del calor radiado, sea reflejado de regreso al espacio.

Los conceptos Calentamiento Global y Cambio Climático están estrechamente relacionados, entendiéndose cada uno por: El calentamiento Global indica el incremento gradual y progresivo de la temperatura media de la superficie terrestre, culpable de las modificaciones del clima a nivel mundial registrado desde principios del siglo XX directamente relacionado con el aumento de GEI en la atmósfera. Como Cambio Climático se entiende, como se señala líneas arriba, la variación global o regional del clima en la tierra a través del tiempo pudiendo nombrarse también variabilidad observada en una escala de tiempo.

La capa de gases contenida en la capa más baja de la atmósfera conocida como tropósfera está compuesta por Nitrógeno N (78.3%), Oxígeno O (21.0%), Argón Ar (0.3%), Bióxido de Carbono CO₂ (0.0359%) y otros gases en menores cantidades como Helio He, Neón Ne y Xenón Xe, independientemente de contener aerosoles y vapor de agua CO₂ en concentraciones cambiantes (figura 1.2), de todos ellos los considerados gases GEI con mayor poder de calentamiento son el vapor de agua H₂O y el Bióxido de Carbono CO₂, cuyo incremento de GEI en las últimas décadas ha generado un aumento de calor proveniente

del sol y que es retenido por la atmósfera terrestre, influenciando aún más el cambio climático terrestre y a la vez, afectando los fenómenos naturales cada día más inestables y de mayores efectos, representando todos estos gases, menos del 1% de la composición química de la atmósfera, suficiente para atrapar una parte del calor que emite la superficie terrestre al absorber la energía solar que la calienta, a lo cual se llama “Efecto Invernadero”, proceso natural dentro del sistema climático (Gobierno del Estado de México, 2013: p. 13).

Nombre	Fórmula	Potencial de calentamiento global (CO ₂ eq) ^{al}	Vida media (años)	Origen
Bióxido de carbono	CO ₂	1	50 a 200	Quema de combustibles fósiles (carbón, derivados de petróleo y gas), procesos industriales, cambio de uso del suelo, incendios forestales
Metano	CH ₄	21	12 ± 3	Descomposición anaerobia en los cultivos de arroz, producción pecuaria y residuos municipales. Emisiones fugitivas en minas y pozos petroleros
Óxido nitroso	N ₂ O	310	120	Producción y uso de fertilizantes con nitrógeno, degradación de suelos y quema de combustibles fósiles
Perfluorocarbonos	PFC	6 500 a 9 200	2 600 a 50 000	Producción de aluminio, fabricación de semiconductores, refrigerantes industriales, aire acondicionado, solventes y aerosoles
Hidrofluorocarbonos	HFC	140 a 11 700	1.5 a 264	Refrigerantes industriales, aire acondicionado, solventes, aerosoles
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	23 900	3 200	Refrigerantes industriales, fabricación de semiconductores, producción y uso de equipos eléctricos; producción de magnesio y aluminio

Figura 1.2. Gases de efecto invernadero.

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente, CICC. 2006 p. 14).

1.3.2. Gases de efecto invernadero

A pesar de que la atmósfera ha tenido variaciones durante millones de años, el problema principal consiste en que las actividades humanas aumentan en gran cantidad los gases de

efecto invernadero a los ya existentes de forma natural, lo que excede la capacidad de la biósfera y por tanto, las concentraciones han sido tan altas que incrementan el efecto invernadero, aumentando considerablemente la temperatura de la superficie terrestre, siendo la concentración de Bióxido de Carbono CO₂ el principal gas relacionado a las actividades humanas generado por la quema de combustibles fósiles como el petróleo y todos sus derivados, el carbón y la leña, pasando de 270 partes por millón (ppm) previas a la Revolución Industrial, a 380 ppm actuales, y cuya tendencia sigue incrementándose a una tasa de 1.8 ppm anualmente, considerando que de seguir esa tendencia, para el año 2050 se estiman concentraciones de 500 a 700 ppm (figura 1.3).

Dióxido de carbono	CO ₂	1	1	50 a 200	Quema de combustibles fósiles y de biomasa, incendios forestales.
Metano	CH ₄	21	23	12- 3	Cultivo de arroz, producción pecuaria, residuos sólidos urbanos, emisiones fugitivas.
Óxido Nitroso	N ₂ O	310	296	120	Uso de fertilizantes, degradación de suelos, algunos usos médicos.
Hidrofluorocarbonos	HFC-23	11,700	12,000	1.5 a 264	Refrigeración, aire acondicionado, extinguidores, petroquímica, solventes en producción de espumas, refrigerantes y aerosoles, producción y uso de halocarbonos.
	HFC-125	2,800	3,400		
	HFC-134a	1,300	1,300		
	HFC-152a	140	120		
	HFC-227ea	2,900	3,500		
	HFC-236 fa	6,300	9,400		
Perfluorocarbonos	HFC-4310mee	1,300	1,500	2,600 a 50,000	Refrigerantes industriales, aire acondicionado, producción de aluminio, solventes, aerosoles, producción y uso de halocarbonos.
	CF ₄	6,500	5,700		
	C ₂ F ₆	9,200	11,900		
	C ₄ F ₁₀	7,000	8,600		
Hexafluoruro de Azufre	SF ₆	7,400	9,000	3,200	Aislante dieléctrico en transformadores de interruptores de redes de distribución eléctrica, refrigerante industrial, producción de aluminio, magnesio y otros metales, producción y uso de halocarbonos.
		23,900	22,200		

Figura 1.3. Tabla de gases de efecto invernadero considerados por el Protocolo de Kioto.

Fuente: Programa estatal de acción ante el cambio climático del Estado de México, 2013: p 29

Como resultado de la actividad humana en el siglo pasado, se captó una transformación que, de otra forma, hubiese tardado cientos o miles de años, resultado de que la temperatura terrestre se haya incrementado 0.74 °C (entre 0.56°C y 0.92°C) en poco más

de cien años y como consecuencia de esto, el nivel del mar ha aumentado a razón de 3.1 milímetros por año (entre 2.4 y 3.8 mm por año) desde 1993, debido a la dilatación térmica, el deshielo de los casquetes y mantos de hielo polares, observándose que en la parte oriental del norte de América del sur y el norte de América septentrional, existe un aumento en las precipitaciones, mientras que en contraparte, en lugares como el Mediterráneo, sur de África y algunas partes del sur de Asia, han aumentado considerablemente las sequías, aunado al incremento de la actividad ciclónica tropical en el Atlántico norte.

Existe gran incertidumbre acerca de los estudios de cambio climático, pues en caso de continuar el aumento de concentraciones atmosféricas de GEI debido a la disminución de superficie terrestre cubierta por glaciación o nieve, el aumento en el calor de los océanos, los cambios en los patrones de precipitación, las sequías más intensas y/o prolongadas, así como el incremento de intensidad en los ciclones tropicales, la temperatura promedio de la tierra podría incrementarse entre 1.4 °C y 3.8 °C para el año 2100, representando esto un aumento superior a cualquiera otro percibido en los últimos diez mil años, el nivel del mar aumentaría en 50 centímetros afectando gravemente las costas e islas, acentuándose la concentración de gases de efecto invernadero debido a la prolongada vida de estos gases en la atmósfera y la inercia térmica de los océanos.

1.3.3. Efectos del cambio climático en México

Nuestro país es especialmente vulnerable al cambio climático debido a su situación geográfica, topografía y aspectos socio-económicos, ya que el 56% de su territorio es zona árida y semiárida, donde existe una población mayor a 100 millones de habitantes de los cuales, el 75% reside en zonas urbanas y el 15% en zonas costeras, independientemente de que cada año se pierden más de 260,000 hectáreas de bosques templados, situación muy grave, así como una inapropiada y desigual distribución del agua, pues casi dos terceras partes del territorio nacional no son aptas para la agricultura, quedando a expensas de tormentas tropicales y huracanes, fenómeno conocido como cambio climático global y que impactan definitivamente al país, efectos que en caso de incrementarse las concentraciones de GEI en la atmósfera aunado a una duplicidad de CO₂ para el periodo 2025 a 2050, traería como consecuencia:

- Una modificación en el régimen de distribución espacial y temporal de las precipitaciones pluviales.
- Se agudizarían las sequías, pues el suelo potencialmente se volvería desértico, modificando la regionalización ecológica y habría una disminución drástica de ecosistemas boscosos templados y tropicales.
- Habría cambios de humedad en el suelo y el aire con sus respectivas alteraciones en los procesos de evapotranspiración y la consecuente recarga de acuíferos.
- Se alterarían las cuencas hidrológicas, así como el régimen y distribución de escurrimientos superficiales e inundaciones.
- Alta incidencia de incendios forestales agravando aún más la deforestación, erosión, liberación de carbono y pérdida de biodiversidad.
- Aumento en los niveles de los océanos impactando a sistemas costeros y marinos como manglares, humedales y zonas de inundación.
- Existirían cambio en el régimen de los vientos e insolación.

Si existiese un incremento de GEI en la atmósfera, se acelerarían las tasas de desertificación, elevando los costos asociados a la erosión, intensificación de sequías, deforestación y pérdida de biodiversidad, pues no debemos olvidar que cerca del 80% del territorio mexicano, tiene algún grado de erosión, principalmente por la deforestación de terrenos con pendientes pronunciadas, siendo más vulnerables algunas zonas costeras expuestas a inundaciones, ya que sobre todo la agricultura de temporal, tendría grandes pérdidas a causa de sequías frecuentes, reduciendo el área de producción de granos básicos y los ecosistemas, así como las especies sufrirían daños irreversibles, afectando gravemente el abasto de agua para consumo humano, afectando con daños severos la infraestructura productiva, registrando estos daños en las tres grandes regiones geográficas del país.

Zona norte

Comprendida por once entidades federativas, de las cuales seis de ellas presentan condiciones muy difíciles en los que predominan climas secos y áridos, excepto en las partes montañosas en que el clima es templado húmedo, subhúmedo y semifrío, donde se verían afectados más del 10% de los sistemas forestales por condiciones secas y cálidas, resintiéndose estos efectos los pastizales y bosques templados, extendiéndose luego a bosques secos y muy secos, quedando estos sitios inutilizados para la agricultura.

Zona Centro

Comprende catorce estados, entre ellos el Estado de México, donde los climas templado, húmedos y subhúmedos tenderían a desaparecer, dando paso a los secos y cálidos y algunas partes áridas. La sequía y desertificación aún bajas, se incrementarían agravando los problemas de disponibilidad hídrica, convirtiendo esta zona en una de alta vulnerabilidad, debido a la gran concentración de población y sus actividades económicas, pues aunado a que es la zona más densamente poblada del país, con más de 22 millones de habitantes entre el Estado de México y la zona Metropolitana de la Ciudad de México, varias de las doce entidades restantes de esta zona, superarían los ocho millones de habitantes para el año 2050, con la consecuente demanda de agua y servicios, que serían muy difícil de proveer.

Zona Sur

Comprendida por siete entidades, será la zona que sufra menos impactos ante el inminente cambio climático, que estamos experimentando, pero que son susceptibles del aumento de nivel del mar por su ubicación en el Golfo de México y Mar Caribe, donde actualmente la superficie es apta para el cultivo de maíz de temporal, la cual desaparecería, dando lugar a que una gran franja costera se extendiera hacia el interior o tierra adentro, afectando también las zonas de producción de petróleo, que al verse afectadas por estos fenómenos naturales como el incremento del nivel del mar, la disponibilidad de agua, el cambio de demanda y el precio de los energéticos, se acentuarían mayormente los efectos producidos por las emisiones continuas e incontrolables en todo el país, existiendo otros factores de fluctuación climática como los fenómenos de “El Niño” y “La Niña”, que provocan

alteraciones en el medio ambiente, intensificando los impactos en diversos sectores (figura 1.4).

<p>Agricultura de temporal: Se verá afectada en áreas que actualmente son medianamente aptas para el cultivo del maíz, reduciéndose así la extensión para su cultivo.</p>	<p>Ecosistemas: Cerca de 50 % de la vegetación presentará cambios en cuanto a distribución y composición florística, sobre todo los bosques templados de pino y encino.</p>
<p>Salud humana: Habrá un incremento en la incidencia de algunas enfermedades transmitidas por vector (p. ej. fiebre amarilla, dengue, malaria) además de las enfermedades gastrointestinales.</p>	<p>Industria y energía: Las industrias que requieren el agua como insumo, como la petrolera, eléctrica y petroquímica, serán altamente vulnerables.</p>
<p>Suelos: Existirá una tendencia hacia la desertificación, por lo cual se agravarán los problemas de erosión. El 48 % del territorio nacional presentará altos índices de vulnerabilidad.</p>	<p>Zonas costeras: Más de 15 mil kilómetros cuadrados de zonas costeras estarán amenazados por la elevación del nivel del mar, afectando a los ecosistemas, la ganadería y la agricultura, por igual.</p>

Figura 1.4. Imagen de los sectores más vulnerables ante el cambio climático en México.
Fuente: Iniciativa ante el Cambio Climático en el Estado de México. Secretaría del Medio Ambiente, 2004 p. 18).

1.4. Justificación

A nivel local, el Plan municipal de Desarrollo Urbano del municipio de Toluca, en su contenido, políticas punto 4, indica que contiene las políticas aplicables en el Municipio encaminadas al ordenamiento territorial y equilibrio del desarrollo sustentable, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida y aumento de la competitividad municipal, teniendo entre sus objetivos generales ordenar y equilibrar la estructura urbana territorial y la normatividad de usos y destinos del suelo que mejoren los niveles de equidad y bienestar social, a fin de consolidar los núcleos poblacionales, así como promover la redensificación y verticalización en áreas con factibilidad, así como preservando y consolidando las áreas de valor y preservación ambiental.

A nivel estatal, el plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023, en el diagnóstico, acción por el clima, identifica que el 40% de personas en situación de vulnerabilidad en el Valle de México, cerca de 2.8 millones de personas, viven en zonas de alto riesgo, aunado a ello la remoción de suelos en masa afecta principalmente a la zona montañosa dañando los asentamientos humanos en sus actividades primarias y zonas de interés para la conservación del medio ambiente, aunado a sequías prolongadas en temporadas de estiaje, incendios forestales y crecimiento desmedido de asentamientos humanos, representan un riesgo ambiental para la entidad, requiriendo todos estos fenómenos de estrategias específicas para su atención y mitigación para reducir las emisiones que contribuyen al cambio climático.

No existen actualmente dentro de este plan, programas que aborden específicamente la necesidad de contener el crecimiento de la mancha urbana, principal amenaza de las ciudades en su impacto al medio ambiente y áreas naturales, los patrones de consumo energético y la capacidad de recarga de los acuíferos, requiriéndose urgentemente la coordinación entre los gobiernos para la modificación y adecuación de los planes municipales de Desarrollo Urbano que trasciendan los límites administrativos y burocráticos en busca de sinergias y estrategias congruentes entre sí para encontrar predios que pudiesen desahogar zonas sobreexplotadas.

El Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de México (Pro-Aire 2018-2030), documento normativo emitido por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México en noviembre de 2018, en el capítulo 2 relativo al diagnóstico de la calidad del aire en el Estado de México, especifica que existen dos sistemas de monitoreo atmosférico independientes, que son, el primero que es administrado por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México a través de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), y la segunda denominada Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) administrada por el Gobierno de la Ciudad de México, que se encarga de monitorear el aire en los municipios conurbados de esta ciudad.

La finalidad de este programa se enfoca en la reducción de gases de emisiones de contaminantes, sobre todo de ozono y partículas suspendidas de 10 y 2.5 micrómetros de diámetro aerodinámico, los más abundante en el estado y mayormente perjudiciales para

la salud de la población, y que por estar nuestra entidad arriba de los 2,000 metros sobre el nivel del mar, los procesos de combustión no se realizan de manera eficiente, lo que genera una emisión mayor de contaminantes en comparación con otras entidades, aún con motores de última generación, siendo la zona metropolitana Cuautitlán-Texcoco la más preocupante por encontrarse entre zonas montañosas que dificultan la entrada de corrientes de viento que puedan disipar la concentración de gases acumulados en estas zonas conurbadas (Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023).

A nivel regional, en el documento del Instituto Nacional de Ecología, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional, emitido por SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, de fecha 28 de octubre de 2010), el país se comprometió a reducir en 30% sus emisiones al año 2020, estando dentro de sus consideraciones principales como palancas de abatimiento de emisiones para México en 2020, la reforestación, aforestación y reducción de deforestación, considerando una reforestación de 2´500,000 ha. reforestadas entre 2010 y 2020, una aforestación de 800,000 ha. entre 2010 y 2020 con una capacidad de 80,000 ha. por año, y una reducción en la deforestación del 50% al 2020, equivalente a 160,000 ha. por año.

La generación de GEI asociados a la calidad del aire y la producción de desechos urbanos, industriales y agropecuarios, así como su disposición final, es una problemática que debe atenderse de manera urgente, pues están vinculados a la zona urbana metropolitana del Valle de Toluca generando impactos tangibles en ella, pues al considerar que estás emisiones se combinan con los paisajes urbanos de suelos pavimentados, ocasiona el efecto isla de calor urbano UHI, que genera un aumento de temperatura en la ciudad, llegando a registrarse una temperatura en esta ciudad en 2017 de hasta 31°C a nivel superficial dentro de la ciudad, según documento, pero que para 2019 según datos físicos levantados en campo por el autor de esta tesis, en horario de 11 a 16 horas, llega a rebasar los 50 °C registrados en superficies asfaltadas y oscuras.

El reto clave dentro de las principales zonas metropolitanas de la entidad, es el deterioro en la calidad del aire consecuente de la urbanización e industrialización, pues existen zonas con alta concentración de contaminantes con partículas menores de 10

micrómetros (P_{10}), partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) y Ozono (O_3), cuyas concentraciones atmosféricas exceden con mucho los límites permisibles fijados por la Normas Mexicanas, pues de acuerdo a datos proporcionados en 2017 por la RAMA (Red Automática de Monitoreo Atmosférico), se estima que en las estaciones de San Mateo Atenco y San Cristóbal Huichochitlán se registró un mayor incremento de contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$ respectivamente y para el O_3 el incremento se observa en la estación Metepec (figura 1.5).

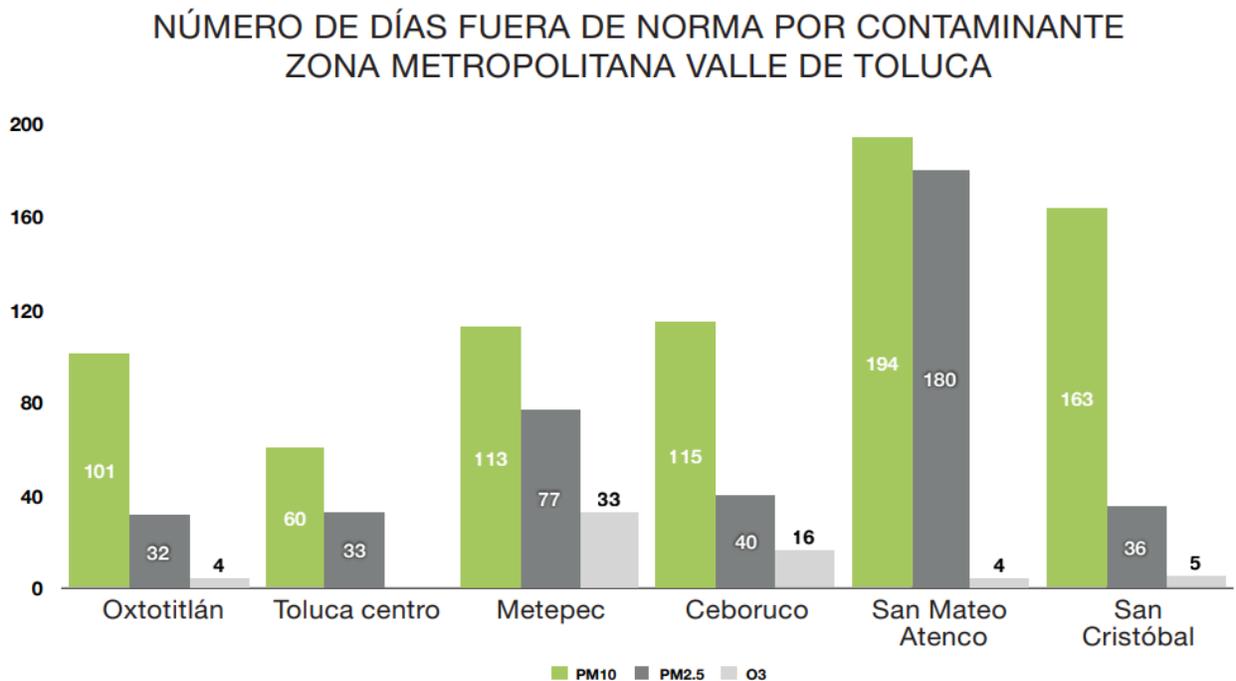


Figura 1.5. Gráfica representativa de días fuera de norma de contaminantes en el Valle de Toluca.
Fuente: RAMA,2017.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), en su Reglamento Técnico editado en 2015 y actualizado en 2017, dentro del Reglamento Técnico del Volumen I, Normas meteorológicas de carácter general y normas recomendadas, en Disposiciones generales, finalidad del reglamento, objetivos principales del reglamento, inciso b) indica: el objeto es satisfacer, de la forma más eficaz posible, necesidades específicas en los diversos campos de aplicación de la meteorología y de la hidrología operativa en el plano internacional. Respecto del inciso c) comenta: se debe velar adecuadamente por la uniformidad de y la normalización de las prácticas y procedimientos empleados para alcanzar los objetivos enunciado en a y b, que

son: a) facilitar la cooperación entre los miembros en materia de meteorología e hidrología y b) ya está señalado.

A nivel internacional y dentro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en la Cumbre de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas celebrada del 25 al 27 de septiembre de 2015 en Nueva York, Estados Unidos, se aprobó el instrumento “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” con tres metas principales a cumplir dentro de los próximos 15 años, terminar con la pobreza extrema, luchar contra la desigualdad y justicia y reparar el cambio climático, y dentro de sus 17 objetivos primarios, el número 13 indica “adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”.

1.5. Hipótesis

Actualmente en la ciudad de Toluca, como en muchas otras ciudades medianas en desarrollo del mundo, aún se tiene la opción de planear el crecimiento, toda vez que es la ciudad capital del estado que circunda mayormente a la zona metropolitana de la ciudad de México y es paso obligado hacia el occidente del país, lo que la convierte en una ciudad que tiende a recibir cada vez más población en su entorno, ya sea flotante, que se traslada todos los días a la capital del país y regresa por la tarde-noche, o permanente, que ha elegido esta ciudad para radicar y realizar aquí todas sus actividades de vivienda, educación, trabajo, recreación y demás, adoptándola como propia.

Lo anterior ha generado un crecimiento desmesurado, que a partir de los sismos de 1985, en que la mayoría de la población capitalina salió de esa zona metropolitana hacia urbes menores pero aledañas como Cuernavaca, Puebla, Tlaxcala, Pachuca y Querétaro, pero Toluca no fue la excepción, lo que repercutió en un aumento repentino de población, demandando servicios básicos como vivienda, empleo y educación, entre otras, creciendo anárquicamente la ciudad de un momento a otro, con las consecuencias propias del desarrollo sin planeación, aumento de la mancha urbana, urbanización, cambios obligados de uso de suelo, deforestación, aumento del parque vehicular, acondicionamiento de rutas de transporte público, generación de basura, inseguridad, siendo algunos de estos factores, determinantes en la formación de islas de calor urbano UHI.

Parte de esta problemática fue resolver el traslado de más de 3'300,000 personas a la ciudad de México (Censo de población y vivienda 2010), pero de más de 5'100,000 considerando los municipios conurbados, para realizar toda clase de actividades laborales, debiendo realizar el mismo recorrido por la tarde-noche, convirtiendo a varios de estos municipios como Tultitlán, Cuautitlán Izcalli, Nicolás Romero, Ecatepec, Ixtapaluca, Chimalhuacán, Tecámac, Valle de Chalco Solidaridad, Tlalnepantla, Naucalpan y Zumpango, entre otras, en ciudades dormitorio, pero la perspectiva de Toluca, Zinacantepec, Metepec, Almoloya de Juárez, Lerma, San Mateo Atenco y otras más del Valle de Toluca no es diferente, sino al contrario, el recorrido que deben hacer los habitantes de estos municipios es mayor, tanto en horas de traslado como en kilometraje, incrementando considerablemente las horas-hombre desperdiciadas.

A partir de 2014, el gobierno federal, en su afán de reducir el tiempo de traslado y hacer más fluido el recorrido de personas entre estas dos entidades, inició el proyecto y construcción del tren interurbano México-Toluca, que en su proyecto inicial cuenta con seis estaciones, dos de ellas terminales y de encierro, una en Zinacantepec-Buenavista en el Estado de México, y otra en Observatorio, en la ciudad de México, cuatro estaciones intermedias de las cuales tres se ubican en la zona metropolitana del Valle de Toluca y otra en Santa Fe, agravando con esto el efecto de isla de calor urbano UHI en esta urbe detectado anteriormente, según el estudio de isla de calor de 2007 realizado por Carlos Constantino Morales Méndez y Delfino Madrigal Uribe, de la Facultad de Geografía. Este trabajo de tesis se propone, analizar los efectos medioambientales tomando como referencia la primera estación urbana de abordaje Pino Suárez Terminal, que comparada con la estación Zinacantepec-Buenavista y con un punto de referencia ubicado en el centro de la ciudad, Lerdo-Centro, arrojan datos interesantes analizados más adelante.

La hipótesis que se presenta es descriptiva de valores, ya que toma las variables de un determinado contexto dentro del cual pueden ser observadas, estas son temperatura ambiental, temperatura superficial, humedad relativa y viento, las cuales son resultado de la revisión del estado del conocimiento hecho a otros casos de UHI en todo el mundo. Asimismo, se presenta esta hipótesis estadística, de correlación y cuantitativa, representada con símbolos y gráficas lo planteado con palabras, buscando establecer una

correlación estadística entre dos o más variables, representando la población, todos los datos climáticos existentes, pero para la muestra solo se tomaron las variables señaladas.

“Si se aplican las estrategias urbano-arquitectónicas adecuadas en el entorno y de forma inmediata e intensiva, entonces se mitigarán el efecto cada vez mayor de isla de calor urbano UHI, intensificación que deberá extremarse una vez puesto en funcionamiento el sistema de transporte del Tren interurbano México-Toluca”.

1.6. Objetivos

A partir de los notorios efectos del cambio climático, motivado entre otros muchos factores por la emisión de carbono y por una múltiple y variada lista de causas que, aunque consientes de los efectos negativos que esto representa para el planeta, seguimos en esa actitud negativa, como lo son el consumo excesivo de bienes y servicios, la ingesta de alimentos procesados que implican una envoltura, el uso de vehículos de combustión fósil, la producción de basura que representa todo el embalaje de los productos no naturales que consumimos, en ocasiones sin tener necesidad de ello.

La sobrepoblación y el hacinamiento, la construcción de forma horizontal y no vertical, ocupando más terreno natural impidiendo la filtración de agua al subsuelo y aumentando las superficies duras y reflectoras de radiación solar, el consumo desmedido de electricidad ocasionado por la falta de cultura ecológica en el usuario, la falta de conocimiento para cosechar y reutilizar el agua pluvial, y un sinnúmero de actividades humanas que por falta de una concientización e información, le generamos cada vez una mayor carga al medio ambiente y por tanto, de carbono, aumentando el efecto isla de calor urbano (UHI), motivando la depredación y mal uso de nuestro hogar global.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre y sobre todo a las áreas urbanas es intensa, la cual es absorbida parcialmente por el terreno natural, lo que se llama refracción, pero si la superficie es dura e impermeable, los rayos se rechazan hacia la atmósfera, que se conoce como reflexión. A los rayos que inciden directamente del sol se le llama radiación de onda corta, existiendo también lo que se conoce como radiación difusa, que es la radiación solar que se refleja en las nubes o en los aerosoles en el ambiente, la cual determina que el cielo se vea brillante, incluso si el sol se oculta.

El albedo son las ondas largas de radiación emitidas por la superficie terrestre que ha recibido desde el cielo. La urbanización afecta la absorción y la reflexión de la energía solar, así como la emisión de ondas largas, que dependen mucho de la superficie terrestre y su rugosidad, ocasionado por las diferentes formas geométricas de esta superficie, así como la contaminación del aire, dando como resultado, una interferencia con la transmisión de energía radiante.

La geometría de la ciudad afecta la absorción de la radiación complejamente. La sombra ocasionada por los edificios altos en una zona muy densamente poblada da lugar a dos fenómenos contradictorios, ya que la radiación incidente no es igual en una zona de edificios altos a una zona de superficie plana. En la zona urbana la radiación que llega a las calles es menor, no al medio día cuando la radiación es mayor porque incide verticalmente y es cuando la energía se refleja en la zona urbana hacia la atmósfera en lugar de ser absorbida, creando el efecto Albedo y calentando la superficie urbana, llegando a crear lo que se conoce como “isla de calor urbano” UHI (Erell, 2011).

1.6.1. Objetivo General:

Identificar, a base de registrar datos de campo en sitios diferentes y que, contrastados con datos proporcionados por estaciones climatológicas fijas, los efectos de isla de calor urbano UHI y contrastarlos en diferentes magnitudes de tiempo.

1.6.2. Objetivos particulares:

- Primero:** Realizar levantamiento manual físico de datos climáticos en tres puntos previamente seleccionados de entorno rural, semiurbano y urbano, para identificar UHI.
- Segundo:** Obtener datos climáticos de las estaciones fijas más cercanas para su comparación con los datos obtenidos en campo.
- Tercero:** Realizar comparaciones con datos y gráficas estadísticas de los tres puntos de estudio y extrapolarlos con el punto de estudio ubicado en la primera estación intermedia de abordaje del tren interurbano México-Toluca.

Cuarto: Una vez identificado el efecto UHI en la estación Pino Suárez-Terminal y con los datos obtenidos en campo y de estaciones, realizar un ejercicio de regresión lineal para suponer un comportamiento prospectivo.

Quinto: Realizar propuestas de estrategias de mitigación de UHI en los diferentes escenarios que se estudien.

1.7. Preguntas de investigación

Se enlistarán una serie de preguntas con la intención de contrastar los resultados de las diferentes estrategias para observar y evaluar la eficiencia de mitigación de cada una de ellas, sin olvidar que dichas estrategias, son el cuarto capítulo de este trabajo doctoral y se tratarán únicamente como propuestas, pues su análisis a fondo sería motivo de otro trabajo doctoral que incluya experimentación de campo en varios factores climáticos, pero sobre todo, en las cuatro variables aplicadas en este trabajo y su comportamiento en cada una de las estrategias propuestas.

¿Es posible mitigar el efecto isla de calor urbano UHI por medio de aplicación de estrategias urbano-arquitectónicas que beneficien el cambio climático y el confort al exterior?

¿En caso ser posible, cuales son estas estrategias?

¿Cómo deben de implementarse?

¿Cuál debe ser el papel de sociedad, gobiernos y entorno para lograr reducir los efectos de UHI y contribuir al cambio climático global?

¿Cuál es la aportación, desde el punto científico y académico, para lograr estos objetivos?

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Las islas de calor urbano pueden ser superficiales y atmosféricas y se dividen para su estudio en: Capas horizontales y capas Verticales. Las primeras se subdividen para delimitar el alcance territorial del estudio de las variaciones climáticas según su escala, que son micro-escala, meso-escala y macro-escala, a su vez las segundas se subdividen atendiendo los límites de influencia climática en las capas de la atmósfera encima de los edificios y áreas arboladas de acuerdo a su altura y pueden ser capa límite urbana (Urban Boundary layer) que corresponde a la capa atmosférica más próxima a la superficie y la canopia urbana (Urban Canopy layer) que es la altura inmediata al contexto urbano, techos de los edificios y copas de los árboles, estudiándose en la microescala (Oke, 2006).

Se revisarán algunos casos de estudios de éxito para identificar los efectos de las UHI, de ellos tres son internacionales y tres nacionales, de los cuales se revisarán los factores que contribuyen a estos efectos, los métodos investigativos, las herramientas de obtención de datos, el procesamiento de los resultados, la correlación existente entre las tres capas límite de acuerdo a su escala, la discusión de estos resultados y las conclusiones, integrando un cuadro de análisis de los casos que integran este capítulo, tratando de encontrar aspectos comunes en entre ellos, y son:

2.2. Revisión de casos

Casos internacionales

- Adelaida, Australia.
- Barcelona, España.
- Valparaíso, Chile.

Casos nacionales

- Tampico, Tamaulipas.
- Ciudad Juárez, Chihuahua.
- Toluca, México.

2.2.1. Caso de Adelaide, Australia

En la ciudad costera de Adelaide, en Australia, la toma de datos para determinar los efectos de isla de calor urbano UHI, la temperatura diaria promedio fue registrada durante sesenta jornadas, comprendidas entre el 25 de julio al 15 de agosto del 2013, existiendo una diferencia de temperatura urbana-rural de hasta 5.9 °C ocurrida a la medianoche, pero la variación máxima de calor ocurrió durante la tarde cuando el calentamiento del pavimento urbano llegó a 21°C, limitando el estrés por calor el desempeño en la vida cotidiana diurna, en que la vegetación y zona arbolada que proporcionan sombra y evapotranspiración, pasan a variar el calor proporcionando enfriamiento del aire y mejorando el confort exterior.

Se estima que para el año 2090 en Australia, el incremento de la temperatura superficial sea de 3.8°C (CSIRO,2014), Agencia del Gobierno Federal de Australia para Investigación Científica en Australia, y tendrá un impacto determinante en la climatología regional, así como en los ecosistemas y la vida humana, convirtiéndose este estrés por calor hasta en 8.1°C siendo los más altos registros en comparación con su contraparte rural (Gartland,2008), considerando que el crecimiento constante de la traza urbana, la cobertura vegetal reciente y de corta edad y por lo tanto de poco follaje, y el aumento de superficies duras e impermeables, son la causa principal del incremento en la temperatura artificial de UHI (Stone,2012).

Como alternativa para aliviar el exceso de calor, la gente se muda a edificios que tengan clima artificial o aire acondicionado para obtener mejor confort térmico al interior, sin reconocer que el calor antropogénico generado por el uso del aire acondicionado, aunado al emitido por la industria y el parque vehicular, es el principal causante de aumento de temperatura al exterior (Niconopolou,2011), y si a eso se le incrementan fenómenos como la deforestación, el crecimiento desmedido de la zona urbana y el uso de materiales y

colores no amigables con el medio ambiente, el problema de UHI, se agrava. Según *Gartland*, en sus investigaciones a nivel macro-escala, existen cinco características para la UHI:

- Las UHI son más cálidas en el centro de la ciudad que en zona rural.
- La diferencia de temperatura urbano-rural es alta con clima despejado, de noche y en invierno.
- El efecto de UHI depende de modificaciones hechas por el hombre en las cubiertas de las superficies urbanas.
- A mayor desarrollo urbano y menor cobertura vegetal, se intensifican los efectos de la UHI.
- Las UHI crean un efecto más cálido en la superficie abovedada de las ciudades, o sea, en la capa superior de la atmósfera (Oke,1978).

Entre los factores principales que contribuyen al incremento del efecto UHI, se encuentran la estructura urbana, la superficie de la cubierta urbana, tanto de los pavimentos como de los techos de los edificios, la trama urbana, el metabolismo en la construcción (Oke, 2006b, p. 84). En la estructura urbana, el volumen de los edificios, la orientación y el espacio entre ellos, afecta la radiación solar emitida a la superficie del suelo, existiendo una importante relación sombra-calor creada en el ambiente (Johansson, 2006). El intercambio de calor en la masa entre edificios altera el aire en su flujo e intensidad formándose cañones urbanos, que son afectados por esa forma en el paisaje urbano circundante de los edificios, y que es afectado por la radiación y sombra no permanente emitida a la superficie.

Las características técnicas en los materiales de las superficies en las cubiertas de los edificios, especialmente el calor, la masa, la conductividad y la difusividad, dependen en gran medida del color y la textura del material constructivo, qué aunado al intercambio diurno de calor distribuido sobre el terreno natural y pavimentado, las superficies vegetales y los cuerpos de agua superficiales, contribuyen al intercambio de calor entre el área urbana y el aire adyacente (Karatasou *et al.*, 2006). Al existir diferentes capas en la cobertura terrestres y diferentes rugosidades y temperaturas, en los entornos urbanos,

se producen turbulencias que mezclan el aire caliente y el frío, afectando la intensidad de UHI, al igual que la masa vegetal que pueda mitigar o reducir esos efectos.

La radiación generada por zonas residenciales, comerciales e industriales, el distinto uso de la superficie terrestre, las vialidades y los espacios abiertos, los parques y zonas arboladas, los humedales y cuerpos de agua, afectan la intensidad y distribución de HUI. La falta de superficie vegetal y la deforestación contribuyen al calentamiento de la masa exterior del medio ambiente (Gartland, 2008; Wogan y Jusuf, 2010; Coussetal, 2012). La tipología de las edificaciones y la distribución e intensidad de la vegetación urbana afectan los patrones de viento, y si la vida urbana está asociada al consumo de energía, se incrementa el calor residual en las ciudades, porque el calor antropogénico producido por el hombre se relaciona directamente con su acondicionamiento y transporte en el aire (Arnfield, 2003; Ichinose *et al.*, 2010). El calor excesivo aumenta la necesidad de mayor cantidad de aire acondicionado al interior de los edificios (figura 2.1).

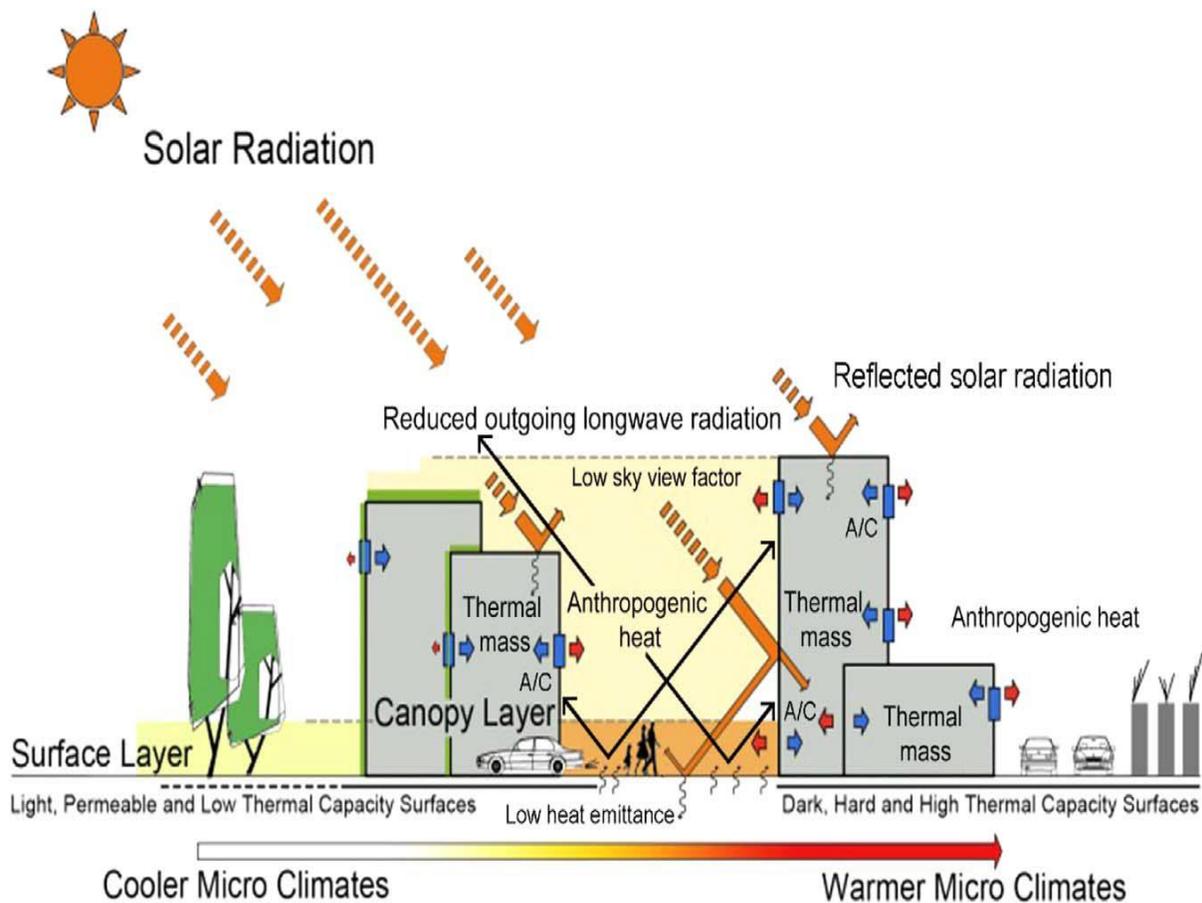


Figura 2.1. Factores contribuyentes de UHI.

Las islas de calor se enlistan de forma horizontal, normalmente en tres escalas conocidas: La escala superficial urbana (*Surface layer*), la escala de capa dosel o de espacio público urbano (*Canopy layer*) y la escala de capa límite atmosférica (*Boundary layer*) (Arnfield, 2003; Oke, 2006b).

Los efectos de las UHI dependen en gran parte del comportamiento térmico de los materiales superficiales y su exposición a la radiación solar. El calor emitido por las superficies urbanas se mezcla por convección, afectando la temperatura del aire ubicada encima de la superficie urbana, pues la sección urbana delimitada entre la superficie a cubrir y el horizonte de los edificios, es considerada como capa urbana superficial o de dosel (*Canopy layer*). La geometría y relación de los espacios abiertos, su aspecto en alto y ancho y el factor de vista al cielo desde cero (Svensson,2006), los materiales componentes del suelo recubierto como asfaltos, suelos duros, cubiertas de césped, cuerpos de agua y zonas arboladas, entre otros, aunados al flujo del viento, afectan la acumulación de calor en la capa dosel.

El calor emitido por la capa superficial urbana se aglomera a través de la turbulencia del aire en la capa dosel urbana y encima de ella, la mezcla resultante de aire normal con aire caliente sobre las áreas urbanas se conoce como capa límite urbana, formando un domo de aire caliente sobre las áreas urbanizadas, dicha mezcla de aire caliente se acumula en la parte superior del dosel (Oke,1987; Tapper,1990; Tatcher and Hurley,2012), llegando a alcanzar una altura en el domo de hasta 1,500 metros encima de la superficie urbana, asentándose cerca de la media noche, cuando de maximiza.

Cuando el aire más caliente alcanza alturas más elevadas, debido a la resistencia del aire, la superficie en la capa tienen solo unos pocos centímetros de espesor, alcanzando su máxima temperatura en las horas finales de la tarde, cuando la superficie dosel ha estado expuesta a la radiación durante varias horas, alcanzando su mayor volumen en la noche, cuando el aire caliente se eleva en la atmósfera inferior y se forma la cúpula de aire cálido en toda la zona urbana (Gartland, 2008; Oke, 1987; Sailor, 2015), contrastando con la capa de aire que crece en el límite rural, que decrece diurnamente alcanzando su máximo calentamiento aparejada con la superficie, mostrándose en la figura 2.2, que las diferencias de temperatura disminuyen con el aumento de la escala espacial,

detectándose una diferencia de temperatura entre los lados norte y sur del edificio, con la fachada en dos direcciones distintas (Erettal, 2011; Priyadarsini, 2009).

A medida que aumenta la escala, los efectos de UHI se moderan por la turbulencia del aire				
Escala	Capa	Temperatura de enfoque	Elementos enfocados	Dimensión Rango (aprox.)
Micro- escala	Superficie suelo	Temperatura superficial	Espacios abiertos, suelo desnudo, jardines, fachadas y equipamiento urbano	1-10 metros
Meso-escala	Canopia	Temperatura del aire	Espacio entre edificios, techos de edificios y copas de los árboles	10-10 ³
Macro- escala	Capa Límite	Temperatura de la superficie y del aire	Uso de cobertura del suelo y capas atmosféricas medias	10 ³ -10 ⁵

Figura 2.2. Tabla de escalas de estudio de isla de calor urbano UHI.
Fuente: (Gartland, 2018).

El efecto UHI existe en todos los climas de las ciudades del mundo, sobre todo en las densamente pobladas, pero su magnitud es diferente de acuerdo en cada zona urbana, la cual depende en parte debido a la variedad de métodos de medición y escala de reporte (Steward,2011). El estudio de UHI tiene cinco métodos para medir sus efectos, incluyendo estaciones climáticas fijas captadoras de datos, dispositivos móviles de movimiento longitudinal y transversal que forman intersecciones o nodos o una combinación de ambos, detección remota que utiliza datos satelitales, detección vertical y balance de energía con el auxilio de imágenes térmicas proporcionadas por vía satelital (figura 2.3) (Gartland, 2008).

Como lo indica la figura indicada, en las mediciones de temperatura, esta tiende a indicar una mayor intensidad de UHI comparado, por ejemplo, con el simulador para la temperatura del aire, la cual, como se indicó anteriormente, tiende a ser más alta durante la calma y el clima soleado del invierno (Gartland, 2008), por lo cual esta investigación utiliza datos de invierno. Al investigar la temperatura del aire cerca de la superficie en una ciudad de clima templado como Adelaida, Australia, esta se realizó en el invierno del 2013.

Cuatro casos de UHI respecto a su área, método y tipo de dato			
Área	Método	Tipo	UHI (°C)
Tokyo	Colección de datos en automóvil	Temperatura superficial	8.0
Tokyo	Colección de datos satelitales	Temperatura superficial	12.0
Atlanta, USA	Modelación	Temperatura superficial	1.2
Atlanta, USA	Modelación	Temperatura del aire	0.6
Seúl, Korea	Clima	Temperatura estacional del aire	3.4
Seúl, Korea	Datos satelitales	Temperatura superficial	8.0
Festivales de hielo	Clima estacional	Temperatura del aire	1.0
Polonia	Clima estacional	Temperatura del aire	12.0

Figura 2.3. Tabla de casos según área, método y tipo.

Fuente: (Rizwan *et al.*, 2018: p. 123).

La figura 2.4 muestra, que el área metropolitana de Adelaida ofrece un ejemplo ideal para el estudio de UHI debido a que en su entorno están las tierras del parque CDB, Adelaide Hills que se encuentra al este y oeste de la playa en su extremo occidental. Por lo tanto, una sección este-oeste del área metropolitana de Adelaida incluye colinas verdes y arboladas, contexto suburbano exterior, tierras de parque urbano, el centro de la ciudad CBD y las áreas de orilla del mar, que proporcionan un rango de entornos ideales para la discusión de las variaciones diarias de los efectos de UHI con datos invernales del análisis de temperatura superficial (Guan *et al.*, 2013; Clay *et al.*, 2016; Sharifi *et al.*, 2017; Sharma, 2015 y Hien, 2016).



Figura 2.4. Área metropolitana de Adelaida.

Fuente: Soltani, 2016.

El método de monitoreo móvil por desplazamiento es la forma más rápida y económica de tomar datos para dibujar el perfil de una isla de calor urbana UHI en la ciudad, en caso de que el acceso a las estaciones de monitoreo fijas sea difícil y costoso (York,20017). Para registrar un perfil de UHI en Adelaida, con resolución de un kilómetro, requiriendo 30 estaciones sincronizadas en fila, pues solo se necesita una estación que se movilice para mapear una sección transversal de 100 metros. En el método de desplazamiento móvil y equipado con una estación climática portátil, esta mide la temperatura del aire, más la temperatura radiante y la humedad, a través de rutas y caminos lineales o diagonales, pudiendo variar el modo de transporte según la escala y precisión de la investigación.

En el caso de estudios a escala macro se requiere de transporte público o automóvil como medio de transporte (Steward, 2000), para el caso de escala micro, los investigadores pueden hacer sus recorridos caminando o en bicicleta para moverse por los senderos urbanos (Spronken, Smith y Oke,1998). En ambas situaciones, la duración de cada experimento en la toma de datos es factor determinante, ya que las condiciones climáticas pueden cambiar durante el experimento, pero la mayoría de los desplazamientos móviles debe durar máximo una hora, tiempo en que las condiciones climáticas pueden variar, y se requiere calibración de datos para disminuir los efectos de las variaciones climáticas (Gartland, 2008).

En este experimento, la temperatura se midió durante los viajes en la tarde (14:00 a 14:35), a media tarde (16:10 a 16:45), en la tarde (18:00 a 18:45), temprano en la noche (21:00 a 21:35) y a media noche (22:45 a 23:20). Los datos obtenidos fueron comparados con los datos de la estación climática rural fija de *Reseworthy*, localizado a 56 Km. al norte del centro de Adelaida CBD. Para el registro de datos se utilizó un sensor higrómetro *Extech®10* (temperatura resolución 0.1 °C; precisión + - 0.5 °C a 40 °C; distancia 40°C a 70 °C; intervalo mínimo de muestreo 2 segundos; tasa de respuesta 10 segundos; capacidad de registro de datos: 16000 registros), unidad de registro de datos instalada a 1200 mm del suelo, en un poste de 200 milímetros en la izquierda de un coche de pasajeros (para evitar la radiación del motor en el frente y el calor del humo del escape por atrás) cubierto con una tubería blanca para evitar el efecto rápido de la radiación solar

(figura 2.5). La temperatura de bulbo seco y la humedad relativa se registraron cada 10 segundos. Se recopilaron datos de temperatura, se identifica que en condiciones reales la toma de datos se hizo cada 30 segundos para que *Extech*®10 detecte las diferencias de temperatura de 0.1 °C mientras se mueve a la velocidad de 50 km/hora.



Figura 2.5. Sensor *Extech*® y vehículo de recorrido para registro de datos.

Una posible limitación en el método de desplazamiento móvil se relaciona con los sensores de temperatura y clima, pues estos deben ir fijados al vehículo en movimiento, ajustado a una altura de 1200 mm a 1500 mm del suelo, cuya medición puede ser afectada por los movimientos detectados sobre la rugosidad de la superficie de rodamiento, o bien por las emisiones de calor propias del motor o escape del vehículo. Para obtener datos confiables, se requiere mantener el sensor en cada estación de toma de datos por un tiempo determinado en espera de la respuesta de la tasa del sensor, que aumenta la duración de la medición de UHI, pudiendo llegar a influir el tráfico local en el intervalo de tiempo de toma de datos en el recorrido del automóvil para el monitoreo.

Los resultados se presentan en la temperatura cercana a la superficie registrada en la figura 2.5 durante el invierno, la temperatura desciende significativamente después de la puesta del sol. Al revisar los datos de registro en la oficina de *Roseworthy* del Buró

Australiano de Meteorología, estos indican que alrededor de la zona urbana centro de Adelaide CBD, hubo un mayor efecto de UHI en comparación con las áreas suburbanas de la periferia durante las mediciones (figura 2.4), donde en dicha área central urbana se alcanzó un máximo de 5.9°C durante la noche, representando esta área urbana de Adelaide, una isla urbana de calor que almacena el calor durante la tarde y lo envía a la atmósfera hasta después de seis horas.

En Adelaide, el calor urbano cercano a la superficie, en comparación con el registrado en la estación climática de *Reseworthy*, se modifica desde 1°C por la tarde hasta 5°C hacia la media noche durante un día típico soleado de invierno. El calor acumulado por la tarde en el entorno construido se descarga con retraso a la atmósfera en la noche, sin embargo, esa acumulación de calor no coincide con el perfil urbano por la tarde en que los espacios abiertos están expuestos a la radiación solar. Esto demuestra la liberación del calor almacenado y la reducción por enfriamiento de la onda larga en los efectos de medianoche de UHI.

Respecto a la discusión de los resultados obtenidos, la discusión radica en que el perfil de UHI durante la tarde tiene una mayor fluctuación de temperatura a lo largo del trayecto, especialmente en los límites alrededor de la zona urbana central de Adelaide CBD, cuyas fluctuaciones térmicas fueron de hasta 2°C de diferencia a la temperatura cercana a la superficie en distancias cortas menores a 1 Km del centro de la ciudad, a principios de la tarde temprano también existen importantes fluctuaciones de calor perturbado alcanzando la temperatura hasta 1.2°C de diferencia a las zonas habitacionales del centro de la ciudad, teniendo la UHI menor variación a media tarde y media noche, pues en el invierno y después de mediodía, en Adelaide se nubla se nubla parcialmente cerca del 30%.

2.2.2. Caso Barcelona, España

La finalidad de realizar un experimento de islas de calor urbano UHI es la de establecer su intensidad en noches específicas definidas calendarizadas, así como su intensidad máxima y si intensidad media, definiendo como intensidad de UHI a la diferencia de

temperatura entre el sector más cálido de la ciudad y el sector más fresco del espacio no urbano que rodea a la ciudad, que está determinado por:

$$\Delta T_{U-R} = T_U - T_R$$

Donde ΔT_{U-R} es la intensidad de la isla de calor UHI, T_U es, la temperatura de un punto cálido del centro de la ciudad y T_R la temperatura de un punto rural o no urbano próximo o que rodea a la ciudad.

La intensidad de la isla de calor urbano UHI es el indicador más simple y cuantitativo de la modificación térmica que experimenta la zona urbana sobre su territorio de ubicación y de su calentamiento urbano respecto del que se experimenta en la zona rural que rodea a la ciudad, en horario nocturno (Memon *et al.*, 2009). Esta expresión de intensidad de isla de HUI está basada en un esquema sumatorio de Lowry de 1977, que indica: La temperatura media de un punto urbano cálido está en función del clima de la región (C) en que se ubica, más el efecto de los factores geográficos del lugar en su medio urbano (G_U) y más la influencia de la urbanización (U):

$$T_U = C + G_U + U$$

T_R es la temperatura media en un punto rural un punto urbano en función del mismo clima regional (C), más los efectos de los factores geográficos locales del lugar rural o no urbano (G_R):

$$T_R = C + G_R$$

Si los factores climáticos locales son iguales en ambos puntos $G_U = G_R$, entonces la diferencia de las dos temperaturas nos indicará los efectos de la urbanización:

$$U = T_U - T_R$$

Luego entonces, para conocer un valor correcto y confiable de intensidad de isla de calor UHI, se escoge un punto rural o no urbano con una altitud y distancia al mar o a las masas de agua existentes más cercanas, comparables a las del punto urbano del estudio, considerando que estos factores geográficos, altitud y distancia al mar, son decisivos para el estudio. Si el punto rural o no urbano se sitúa muy por encima del punto urbano de estudio, su temperatura promedio será más baja o en algún evento ocasional será

mayor, si existe inversión térmica, quedando falso el cálculo de las diferencias térmicas, todo esto considerando la cercanía de las estaciones climáticas fijas a ambos puntos de estudio, rural y urbano.

Para el estudio de UHI en Barcelona se escogió como punto urbano, el observatorio oficial del primer orden de la Agencia Estatal de Meteorología de Barcelona, ubicado en la Villa Olímpica de la ciudad, y como punto no urbano y dependiente de la misma institución, el observatorio del aeropuerto de Barcelona, con una altitud y distancia al mar, muy parecidas entre sí. Tanto el área metropolitana de Barcelona AMB donde se ubica la Villa Olímpica como el aeropuerto de la ciudad, no son precisamente área urbana y área rural, respectivamente. La primera si está ubicada en una zona densamente poblada, pero la segunda no es un área rural, pues la tipología del suelo de Barcelona es urbana, periurbana y rura-urbana, no rural.

2.2.3. Caso Valparaíso, Chile.

Se estudia la zona metropolitana de Valparaíso, Chile, analizando algunos topo-climas y aspectos como la mayor o menor influencia ejercida en el clima por la cercanía al mar, la altitud, la exposición de laderas, la humedad del suelo, la presencia de áreas verdes, la reflectividad del suelo y la densidad constructiva, correlacionando todas con la temperatura a través de modelos de regresión múltiple por pasos, considerando las estaciones de invierno y verano, pero diferenciando cuáles son los factores que modifican las temperaturas en ambas temporadas del año, pues están varían de acuerdo a la estación astronómica en que se practique la experimentación.

Las oscilaciones térmicas que proporciona el satélite Landsat señalan diferencias de temperatura en la emisión superficial de 17.4°C en verano y se reducen a 8.8°C en invierno. En verano los factores más significativos que explican la distribución de la temperatura son la humedad, la reflectividad, la cercanía al mar, y las áreas verdes, esta medidas mediante el sistema NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) por sus siglas en inglés, siendo las comunidades de Quilpué y Villa Alemana las principalmente sometidas a mayores temperaturas que pudiesen formar una ICUs (Isla de calor urbanas) por sus siglas en español, mostrándose el resto de la zona urbana más

fría que esta zona , exceptuando el Barrio puerto de Valparaíso y Las Dunas de Concón. Las grandes áreas verdes y naturales situadas en Viña del Mar como el Club de Golf Granadilla, el Sporting Club, la laguna El Sauzalito, el Club Naval y el Cerro Porteño, coinciden con las áreas más frescas de la ciudad.

En el invierno, a diferencia de las condiciones climáticas de verano, los factores más representativos de las temperaturas son la reflectividad del suelo, la exposición de las laderas y la densidad de población, concentrándose las islas de calor urbano principalmente en Valparaíso, Concón y los barrios del norte de Viña del Mar, donde destaca el barrio Gómez Carreño, restando las comunidades de Quilpué y Villa Alemanas, que son menos cálidas que el resto de la ciudad, pero que en esta temporada, varían sus condiciones respecto a otras épocas del año.

La población que albergan las ciudades aunado al tamaño físico y densificación de estas, impactan sobre el medio ambiente y el entorno. Los suelos ocupados por edificaciones en las ciudades, alteran las condiciones climáticas locales a través de la velocidad y dirección del viento, disminución de la humedad y el aumento de temperaturas, factores de formación de islas de calor urbano, las cuales son de dos tipos: La isla de calor urbana ICU es definida por las mayores temperaturas que registra la capa de aire que cubre la ciudad respecto de su entorno rural, consecuencia del calor acumulado en los edificios, vialidades y calles, industrias, estacionamientos, comercios y zonas habitacionales, cuyos materiales de construcción almacenan gran cantidad de calor producto de la insolación diurna y que es liberada hacia la atmósfera por la noche.

La isla de calor de superficie ICUs al contrario, es la temperatura emitida por diferentes estructuras y cuerpos urbanos y que son captados directamente por sensores infrarrojos (Sarricolea y Romero, 2006). Las ICUs no están sometidas a compensaciones térmicas que realizan los flujos de aire desde las superficies más cálidas a las más frías, que regulan la temperatura del aire en las ciudades, previniendo mayores rasgos e intensidad durante el día. La figura 2.6 muestra las características de ambas islas de calor según su desarrollo temporal, su intensidad máxima durante el día, métodos de estudio y cómo es su representación gráfica. De esta se deduce que las ICUs son más intensas en verano

y durante el día, con intensidades de 10°C a 15°C, como también existe alta correlación espacial entre la isla de calor urbano de superficie y de aire.

Tabla de Isla de Calor urbano ICU superficial y atmosférica		
Características	Isla de Calor Urbana Superficial ICU _s	Isla de Calor Urbana Atmosférica ICU _A
Desarrollo temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Presente en el día como en la noche • Más intensa en los días de verano 	<ul style="list-style-type: none"> • Pequeño o inexistente durante el día • Más intensa en las noches de invierno
Condiciones para el desarrollo de la máxima intensidad	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor variación espacio temporal • Día: 10 a 15°C • Noche: 5 a 10°C 	<ul style="list-style-type: none"> • Escasa variación espacio temporal • Día: 1 a 3°C • Noche: 7 a 12°C
Método típico para su estudio	<ul style="list-style-type: none"> • Mediciones indirectas • Sensores remotos 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediciones directas • Estaciones meteorológicas fijas y transectos móviles
Representación gráfica típica	<ul style="list-style-type: none"> • Imagen térmica 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de isotermas • Imagen térmica

Figura 2.6. Tabla de Isla de Calor Urbana ICU superficial y atmosférica.

Fuente: (Sarricolea y Romero, 2006).

La estacionalidad máxima intensa de las ICUs depende de las condiciones existentes en la localización geográfica de la ciudad y su entorno (Sarricolea et al,2008), y es más intensa en el verano, pero algunos estudios han encontrado doble estacionalidad con puntos máximos entre otoño-verano y otoño-invierno. La figura 2.7 muestra las altas correlaciones de temperaturas superficiales y del aire durante la noche, tanto en magnitud como distribución, y su casi nula existencia durante el día, lo interesante de este estudio es la existencia de ICUs bajo la intensidad de superficies construidas con dos puntos principales, el centro de la ciudad y la zona industrial de la periferia.

La morfología de la isla de calor urbana superficial ICUs se establece, entre otros factores, por la densidad de edificaciones y la existencia de parques y zonas verdes, las cuales áreas relativamente frías comparadas con su entorno construido, (Oke,2006) señala que la capa límite urbana (urban boundary layer) se diluye hasta desaparecer en las áreas verdes, arboladas y boscosas, resaltando su importancia en el periodo diurno, de igual importancia es la relación de las temperaturas con la topografía del lugar, adaptándose al interior de la ciudad por efecto de los vientos.

arroyos que descienden de terrazas que llegan hasta los 500 metros de altitud (figura 2.8).

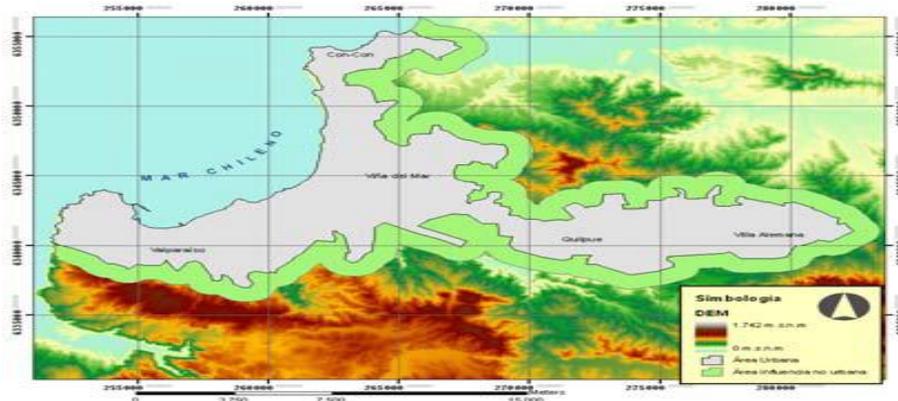


Figura 2.8. Mapa de estudio de Gran Valparaíso.

Fuente: (Sarricolea y Romero, 2006).

Las lluvias anuales son en promedio de 500 mm y se registran en el invierno, de mayo a agosto, siendo julio el mes con mayor precipitación, de 111 mm, existiendo años secos de cerca del 50% en promedio, cuando ocurren los fenómenos del Niño, fluctuando las temperaturas máximas en verano de 25 a 30°C en los cerros más apartados del mar y en comunidades interiores, contrastando un poco con las temperaturas invernales que van de 13 a 18°C.

Las temperaturas máximas en verano varían de entre 25 a 30°C en los cerros alejados del mar y comunidades interiores, pero en invierno estas temperaturas se modifican entre los 13 y 18°C, siendo julio el mes con mayor precipitación de 111 milímetros. Existen medidas de mitigación que deberían integrarse a la normatividad urbana, estableciendo relaciones estadísticas entre las temperaturas superficiales y algunas variables explicativas. El método de análisis de este artículo es la aplicación de modelos de regresión múltiple por pasos sucesivos, todas ellas en base a imágenes térmicas proporcionadas por el satélite *Landsat*®.

Estas temperaturas son influenciadas por el régimen de brisas de mar al continente y los grados de continentalidad, generando núcleos interiores de calor en verano y núcleos litorales en invierno, cuyas temperaturas de emisión superficial y conformación de ICUs alcanzan intensidades en el verano que van de 10 a 15°C y otras de menor intensidad en

invierno. Las variables que explican de mejor forma la distribución térmica de la ciudad son la densidad de población, la topografía, la exposición de las laderas y la cercanía al mar, entre otras.

La selección del método escogido se basa en el uso de análisis espacial y técnicas geoestadísticas, pues los datos de temperatura fueron proporcionados por las imágenes térmicas del satélite *Landsat*® de febrero y agosto del año 2007, teniendo correcciones geométricas y radiométricas para la obtención de la temperatura superficial. El soporte del sistema de información geográfica SIG *Arc Gis Desktop*® 9.2 permitió incorporar en una geo-data-base las variables explicativas aplicando modelos de regresión múltiple paso a paso ingresando secuencialmente las variables hasta cubrir la mayor parte de la varianza total y obtener el menor error estándar posible, logrando construir una ecuación que represente la distribución de las temperaturas superficiales respecto de sus variables, tales como:

- Topografía de la metrópolis
- La exposición de las laderas
- Distancia al mar y fuentes húmedas
- Humedad del suelo
- Brillo del suelo
- NDVI
- Densidad de población

Los resultados y conclusiones del estudio son que las temperaturas promedio son más altas en la zona metropolitana de Valparaíso tanto en verano (febrero) como en invierno (agosto) del año 2007, donde se alcanzaron diferencias en la temperatura de hasta +4.4°C en verano y +2.8°C en invierno, respecto del área circundante de la zona de la zona urbana.

Respecto de las temperaturas extremas, la temperatura mínima no varía, ya sea urbana o rural, pero las temperaturas máximas son mayores en la zona rural en verano con +1.2°C (isla de calor no urbana, Peña y Romero, 2006 y Romero,2008). El área urbana registra mayores temperaturas en invierno de +0.8°C y considerando los valores máximos

urbanos y los valores mínimos rurales, llegan a existir variaciones hasta de 17.4°C en verano y de 8.8°C en invierno (figura 2.9).

Temperaturas superficiales calculadas para verano e invierno (°C)					
Estación	Posición	Temp. Media	Temp. Mínima	Temp. Máxima	Desv. Estándar
Verano, imagen Landsat	Urbano	24.6	14.1	31.5	2.2
	Rural	20.2	14.1	32.7	2.7
Invierno, imagen Landsat	Urbano	17.3	11.4	20.2	1.6
	Rural	14.5	11.4	19.4	1.7

Figura 2.9. Temperaturas superficiales cálidas en verano e invierno.

Fuente: Sarricolea y Romero, (2006).

Los núcleos de mayor calor en Gran Valparaíso en el verano, debido a la distribución espacial de las temperaturas en esta temporada, se registran en las ciudades interiores de Quilpué y Villa Alemana, por estar alejadas de la refrescante brisa marina de verano en la bahía. Las grandes áreas verdes de Viña del Mar se comportan como islas frías penetrando su frescura en los sistemas de quebradas en los cerros ayudando a menores cargas de exposición solar en las laderas de exposición sur.

2.2.4. Caso de Tampico, Tamaulipas.

En todo proceso de urbanización, se sustituye al terreno natural por superficie construida, disminuyendo la capacidad de absorción de agua, la baja reflectividad y un comportamiento térmico del edificio ideal para la acumulación de calor y su posterior emisión, elevando la temperatura atmosférica de la ciudad, en contraparte con la zona rural menos urbanizada, fenómeno llamado isla de calor urbano UHI, afectando al microclima y alterando el confort y calidad del hábitat, lo cual impacta la climatología y la variabilidad del espacio urbano en magnitud y extensión diferentes, así como las anomalías térmicas superficiales, la deforestación y el incremento de incendios forestales en la periferia de la ciudad (Fuentes, 2014).

La vivienda en la ciudad de Tampico se clasifica así: Primeramente, la vivienda es producto de la autoconstrucción en zonas que no cuentan con servicios públicos, de ellas

se estiman 4,769 que significan el 5.73% total de la vivienda, donde habitan casi 17,435 personas. En segundo término, están las viviendas que cuentan con servicios públicos, pero inadecuados o insuficientes, las cuales, según datos del INEGI del 2010, su porcentaje es de 1.5%, año en el cual existen 3,140 viviendas consideradas “hogares pobres” al percibir menos de dos salarios mínimos diarios, este tipo de viviendas están ubicadas en asentamientos con densidades que van de 8.84 a 12.37 viviendas por hectárea, representando el 13.23% de viviendas hacinadas, situación muy importante a considerar en el estudio de UHI.

En esta ciudad como en muchas otras, los materiales que forman la ciudad reciben y acumulan la radiación de onda corta, emitiéndola más tarde en frecuencia más larga, y en parte son retenidas por las partículas en suspensión y los gases de combustión. Esas cápsulas de gases solo pueden romperse por la acción del viento, pero si existen edificios demasiado altos y muy contiguos uno del otro, se forma lo que se conoce como cañón urbano, por lo cual la corriente de aire es obstruida y no rompe para disolver la acumulación de gases y partículas. La causa principal de formación de UHI se debe a que las características geométricas de las calles y los edificios reducen la emisión de rayos de onda larga nocturna hacia la atmósfera, comparado a campo abierto donde existen menos obstrucciones (Moreno,1993).

En el ámbito físico se entiende por temperatura, la propiedad común que tienen los cuerpos que se encuentran en equilibrio térmico. Cuando dos cuerpos con diferente temperatura, uno frío y uno caliente, entran en contacto durante un tiempo prolongado, alcanzan un grado térmico común llamado equilibrio térmico. En el ámbito arquitectónico-ambiental, la temperatura es un punto clave para alcanzar el confort y calidad de vida en el hábitat, que aunado a otros factores, determinan el sistema constructivo a utilizarse, la orientación del edificio, las medidas y alturas de los espacios, el sistema constructivo y su reacondicionamiento en las diferentes estaciones del año, desde la primavera hasta el invierno.

Una vez identificadas las principales calles por donde se tomará el registro de datos, se determinarán las variaciones térmicas de UHI a base de isotermas (*I* = Igual y *Thermos* = Temperatura), identificando patrones de comportamiento de temperatura,

ubicando puntos de intersección o nodos entre las calles principales y las calles secundarias, confirmando que las lecturas de los valores registrados, son las mismas en los aparatos de medición, que en este caso se trata de un sensor *HOBO*® Pro v2 de intemperie, dotado de un puerto USB para transferir los datos al ordenador, con un rango de temperatura de -40.0 °C a +70.0 °C, una precisión de temperatura de +- 00.20 °C en el rango de 00.0 a 50.0 °C, en intervalos de muestreo de 1 segundo a 18 horas en intervalos fijos o múltiples de registro de datos, el sensor Pro v2 logra precisiones en su reloj de hasta 1 minuto/mes a temperatura de 25°C (figura 2.10).



Figura 2.10. Imagen del sensor *HOBO*® Pro v2.
Fuente: Fuentes, C.A. (2007).

El registro de datos se tomará instalando y fijando el sensor *HOBO*® en la caja de una camioneta, donde accionarán tres personas. La primera conducirá el vehículo lo más lentamente posible que permita el tráfico del lugar. La segunda persona registra la ubicación del lugar cada 30 segundos usando las intersecciones y nodos previamente establecidos, y la tercera persona equipado con una cámara fotográfica, identifica las características morfológicas del entorno como altura, separación y configuración de los edificios, la presencia de vegetación, cuerpos de agua y las demás variables que requiera el experimento debiendo registrarse los datos entre las 20.00 y 21.00 horas pues se recomienda (Oke,1989) que no exista influencia de la radiación solar.

Se realizan dos trayectos, uno en sentido longitudinal y otro en sentido transversal, sobre las principales vialidades de la ciudad creando nodos o intersecciones donde se registran los valores, volviendo a repetirse el recorrido y registro cada día en el mismo nodo para cruzar la información de los valores térmicos de los diferentes días de registro. Al terminar cada serie de trayectos, se observan los datos registrados por el sensor y se exportan a una hoja de cálculo de *Excel*® utilizando el *Hobo-ware software* y la estación base óptica U-4 con acoplador para manejo de *HOBO*® donde se realiza una tabla de mediciones

íntegras de temperatura del aire en °C para obtener una visualización de los valores térmicos de la temperatura de los trayectos marcados en rojo.

Por medio de un plano de la ciudad instalado en el programa de diseño *Autocad*®, se colocan los datos de acuerdo con los nodos o intersecciones según el horario y la ubicación real, al irse uniendo los valores obtenidos de la misma temperatura, van obteniendo los isotermas que determinan la isla de calor urbano en la ciudad de Tampico, según su intensidad térmica y distribución espacial. En esta investigación se determinó que los meses más críticos son enero y agosto y las estaciones más críticas y pertinentes para el estudio son el verano y el invierno, respectivamente, por ser las más representativas climáticamente.

Se argumenta que las islas de calor, tanto en verano como invierno se comportan con una mínima variabilidad de tamaño, se obtuvieron perfiles térmicos que son relevantes según su comportamiento medio mensual de temperaturas registradas, obteniéndose valores térmicos máximos y mínimos de cada estación o nodo, siendo esas variables térmicas las que influyen directamente con el microclima de cada zona de la ciudad (figura 2.11)



Figura 2.11. Plano de la ciudad de Tampico con los recorridos en color rojo.
Fuente: (Fuentes, 2007).

2.2.5. Caso de Ciudad Juárez, Chihuahua

Determinación de isla de calor en Ciudad Juárez mediante programa de cómputo

Para estimar la intensidad de la isla de calor en Ciudad Juárez fue necesario contar con una metodología apropiada a las características del entorno, de ahí que se haya optado por la comparación de las temperaturas de una zona rural y otra urbana, contrastándolas entre sí; tomando los parámetros de temperatura proporcionadas por cinco estaciones meteorológicas automatizadas fijas y utilizando un programa específico para climatología, como lo es *WeatherLink*®, obteniéndose parámetros de temperatura de enero, febrero, julio, agosto y septiembre de 2003.

Según el censo del año 2000 efectuado por el Instituto Nacional de Información Geográfica y Estadística (INEGI), Ciudad Juárez contaba con 1 218 817 habitantes; población que creció seis veces de 1950 a 1990, por ser una ciudad fronteriza. Para 2004 registraba ya 1 445 218 habitantes. Este crecimiento se debió a que la ciudad se volvió un polo de desarrollo durante los años recientes, sobre todo, en el ámbito de la industria maquiladora, de acuerdo con datos proporcionados por el propio INEGI. La ciudad tuvo una tasa de crecimiento de 4.35 %, la cual es muy grande comparada con la tasa promedio nacional de 1.9 %. Como consecuencia de ese crecimiento poblacional hubo la necesidad de expandirse, incrementando las áreas de construcción habitacional, urbanización y del parque vehicular que brindarían, a esa población, servicios de vivienda, trabajo, transporte y esparcimiento; siendo todos estos, factores de surgimiento de islas de calor urbano (ICU).

Las estaciones climáticas que se consideraron para la toma de datos en el estudio fueron cinco: *Advance*, ubicada en el predio de la compañía; *Advance Transformer*™, en el Parque Industrial Juárez-Gema; *Delphi*, que se localiza dentro de las instalaciones de la empresa *Delphi* SEC, en el parque industrial Antonio J. Bermúdez; Protección Civil, que se encuentra en la Presidencia Municipal de Ciudad Juárez; Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), emplazada en el Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad, en el edificio E del departamento de Ingeniería, y en Montada, que está situada en la estación de policía La Montada, de la Colonia Ampliación Fronteriza, al poniente de la ciudad, las cuales monitorean la temperatura exterior, humedad relativa,

dirección y velocidad del viento; sin embargo, para el estudio se consideró únicamente la temperatura exterior (figura 2.12).

Temperatura media mensual y anual Ciudad Juárez 2003		
Mes	Temperatura °C	Temperatura °F
Enero	6.1	43.0
Febrero	9.0	48.2
Marzo	12.1	53.8
Abril	17.4	63.3
Mayo	21.8	71.2
Junio	26.3	79.3
Julio	27.5	81.5
Agosto	26.5	79.7
Septiembre	23.4	74.1
Octubre	17.6	67.7
Noviembre	10.7	51.3
Diciembre	6.9	44.4
Anual	17.1	62.8
Años de observación	38	38

Figura 2.12. Tabla referente a la temperatura media y mensual en 2003.

Fuente: Dirección General de Promoción Financiera y Económica del Municipio de Juárez. Servicio Meteorológico del Estado de Chihuahua. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Servicio Meteorológico Nacional de El Paso, Texas (2004)

La técnica adecuada para detectar la influencia de la urbanización en el estudio consistió en determinar la diferencia de temperatura de la estación meteorológica rural La Montada contrastándola con el promedio de las otras cuatro, que corresponden a zonas urbanas, o sea, la de la presidencia Municipal, la Universidad, la *Delphi®* y la *Advance®*, dejando fuera del estudio la escala macro para centrarse en la escala local (Kim, 2002). Cada estación meteorológica, equipada con un dispositivo meteorológico *Monitor II®* marca *DAVIS*, compatible con el *software WeatherLink®*, pretende registrar las temperaturas interna y externa, la humedad, presión barométrica, velocidad y dirección del viento, y el punto de rocío, datos captados las veinticuatro horas del día, y que son representativos, en tiempo real, de las temperaturas externa e interna. El dispositivo se encuentra configurado para captar grados *Celsius* o *Fahrenheit*, descargando los datos del monitor al *software*, mediante la siguiente secuencia:

- Se instala el *software* en la computadora a utilizar, ya sea *PC* o *laptop*;

- Se da de alta la estación a monitorear;
- Interconectar *Monitor II*® con la computadora a utilizar;
- Inicio de programa con el ícono *Pclick* y conectarla a la estación de estudio;
- Al activar el ícono de descarga aparece un gran recuadro que cuestiona el periodo de tiempo de la memoria de *Monitor II*®;
- Se almacena la información descargada en un archivo de texto lista para usarse.

La información recabada se transfiere al programa *Microsoft*® *Excel*®, para calcular las diferencias de temperatura entre las estaciones climatológicas de la Universidad, Protección Civil, *Advance* y *Delphi*, y a continuación, promediarlas y contrastarlas con las de La Montada, seleccionando los datos máximos y mínimos diarios de cada una, y obtener así, el promedio mensual por estación (figura 2.13).

Islas de Calor Urbano ICU por mes y por estación del año en Ciudad Juárez						
	Enero	Febrero	Junio	Julio	Agosto	Sept.
Máximo Diurno	7.56	5.9	5.04	5.09	4.42	4.66
Máximo Nocturno	-7.41	-10.1	-5.55	-4.93	-6.02	-4.93
Máximo diurno para invierno		6.93°C				
Máximo nocturno para invierno		menos 8.76°C				
Máximo diurno para verano		4.8°C				
Máximo nocturno para verano		menos 5.36°C				

Figura 2.13. Tabla referente a las ICU por mes y por estación del año.

Fuente: (Contreras *et al.*, 2007).

Como conclusión se determinó que, en Ciudad Juárez, el fenómeno de isla de calor urbano se presenta con un valor máximo diurno de 6.0°C y un valor negativo nocturno máximo de 7.0°C. Se recomienda llevar a efecto más estudios de ICU —pues son muy escasos—; reforestar áreas libres y estacionamientos con flora nativa; utilizar pavimentos pétreos en lugar de asfaltos y suelos duros; emplear colores claros en fachadas, azoteas y calles; así como tomar en cuenta factores no incluidos en este estudio, como el albedo, la emisividad y la rugosidad.

2.2.6. Caso de Toluca, México

En la mayoría de las ciudades del mundo se observan significativas modificaciones climáticas causadas por el crecimiento poblacional, el aumento de las zonas urbanas, la deforestación y reducción de zonas boscosas y agrícolas, el uso de aire acondicionado y calefacción en las viviendas, y la contaminación del aire producida por emisiones antropogénicas, vehiculares e industriales. Todos los factores señalados anteriormente son motivados por las variaciones atmosféricas entre la zona urbana y las zonas rurales periféricas. Toluca, al igual que varias ciudades que rodean a la ahora, Ciudad de México, ha tenido un desarrollo descomunal y un crecimiento desordenado a partir de las décadas de los 60 y 70 apoyados en el auge industrial y la migración campo-ciudad.

Pero ese crecimiento se ha dado en sentido horizontal, y no vertical, con el consecuente incremento de recorridos cada vez más extensos por rutas, vialidades y calles asfaltadas y duras, cuyos suelos impermeables que impiden la filtración de agua pluvial al subsuelo y promueven el decremento del albedo y la reflectividad, volviéndose receptoras de gran cantidad de radiación.

Para identificar los espacios de mayor intensidad calórica debida a los condicionantes señalados, se realizó un estudio de isla de calor urbano en la ciudad de Toluca, tomando la base de datos de la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA), dependiente del Gobierno del Estado de México, en dos días previamente seleccionados de invierno y verano, tanto en el día como en la noche, y cuyas variables atmosféricas a considerar fueron: temperatura ambiental, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento, que, aunados a los registros de monóxido de carbono y ozono, dan una idea más clara de su relación con el efecto invernadero. Con esto se intentó demostrar la variabilidad térmica de la ciudad provocada por los cambios forzados de uso de suelo, contaminación ambiental y abatimiento de los mantos acuíferos.

La metodología usada para realizar el estudio de isla de calor urbano consistió en fijar los indicadores climáticos que permitirían elaborar mapas y gráficas para una representación espacial y temporal. Se eligieron dos días específicos del invierno 2004 y el verano 2005, despejados y soleados, sin precipitaciones y con vientos suaves de no más de dos metros por segundo. Los datos se obtuvieron de las siete estaciones climatológicas que

conforman la RAMA, distribuidas en el Valle de Toluca, pero que no difieren, una de la otra, en más de seis kilómetros. Asimismo, se tomó en cuenta la misma hora del día y de la noche; condiciones de suma importancia para la identificación fidedigna de la isla de calor urbano.

La ciudad experimenta una temperatura media anual de 12.9°C, la cual se reduce en invierno y llega hasta -2.0°C, pero que se incrementa en verano a casi +28.0°C, existiendo una amplitud térmica entre estaciones de 30.0°C. Esta circunstancia se origina, entre otros factores, por el cambio de uso de suelo (Hernández *et al.*, 2005). Las mayores temperaturas se presentan en los meses que van de abril a mayo, en temporada estival, fluctuando entre los 26.0 °C y 28.0 °C.

La precipitación media anual era de 760 milímetros, pero en los dieciséis años posteriores a la década de los 90 se elevaron hasta 805 milímetros; y en los años posteriores a 2015 llegaron a más de 900 milímetros, como en 2009, cuando el promedio anual fue de 930 milímetros, según datos del Observatorio Meteorológico «Mariano Bárcena» de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Las precipitaciones provocadas por los vientos alisios, los huracanes, los frentes y el efecto monzónico, permiten que las temperaturas de Toluca, a lo largo del año, se identifiquen con una zona tropical. Las temperaturas más elevadas se presentan antes del solsticio de verano, y las más frías, cerca del solsticio de invierno. Lluve durante gran parte del año, principalmente, en verano, de junio a septiembre, siendo junio, julio y agosto los meses con mayor precipitación. Sin embargo, en los años posteriores a 2015 la precipitación pluvial se ha incrementado a más de 900 milímetros, presentándose en los meses entre mayo y octubre; siendo el mes de julio el de mayor cantidad de precipitación, y febrero, el de menor cantidad de lluvia registrada (figura 2.14).

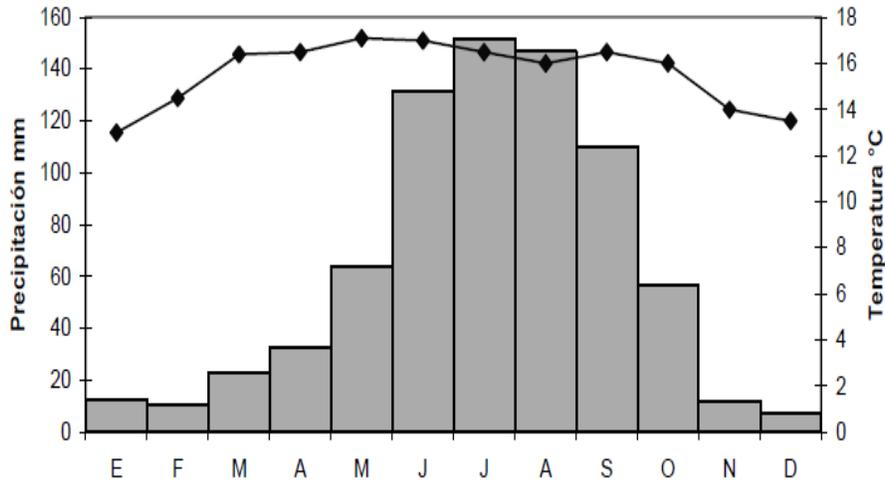


Figura 2.14. Gráfica de temperatura y precipitación media mensual en Toluca
Fuente: (Constantino *et al.*, 2007).

En conclusión, el calor experimentado en la zona urbana de Toluca está directamente ligado al efecto de isla de calor, existiendo una diferencia térmica, en invierno, de 3.0°C en el día y de 1.5°C por la noche; pero en verano la oscilación es de 2.0°C, como resultado de la gran extensión territorial. La insolación es un factor base en las variaciones atmosféricas, sobre todo, debida al tipo de materiales empleados en casas y edificios, que originan altas diferencias de temperatura entre el día y la noche; observándose temperaturas más elevadas en el día, causadas por la radiación —situación primordialmente notoria en verano, cuando el calor fluctúa más según la hora del día y la estación del año—. Debido al proceso de construcción del tren interurbano se está impactado el contexto de manera substancial; pero este impacto será mayor cuando funcione el sistema, agravando el efecto de isla de calor a lo largo del trayecto, en particular, en las estaciones, pues transportar cada día a 270 000 personas, en cinco estaciones, supondrá un enorme trastorno ambiental y social en un futuro próximo.

2.3. Metodología revisada

Como se pudo revisar en los seis casos anteriormente revisados, las metodologías fueron diferentes y variadas entre sí, lo que nos da una perspectiva de los alcances de estas, pero que básicamente, en un estudio de isla de calor urbano UHI se debe definir de inicio, qué se pretende lograr con dicho estudio, definir los alcances y utilidad, a quienes se va a beneficiar y la cantidad de población beneficiada, la escala del estudio, determinar si

es un trabajo para alguna instancia de gobierno, académico, científico, laboral o particular, pero sobre todo, los recursos financieros y de equipo disponibles para lograr la meta así como el rango de tiempo a trabajar, recordemos que el clima se modifica constantemente en el tiempo actual y real (figura 2.15).

Indicadores, equipo, software, escala y metodología utilizada en casos revisados						
Caso	Adelaida	Barcelona	Valparaíso	Tampico	Juárez	Toluca
Indicadores	Temperatura superficial, temperatura ambiental y humedad	Temperatura ambiental	Temperatura superficial	Temperatura ambiental	Temperatura ambiental, humedad, dirección y velocidad del viento	Temperatura ambiental, humedad, precipitación y viento
Equipo	Higrómetro <i>Extech®</i>	Equipo climático fijo	Sensores remotos	Sensor Hobo Pro-2	Equipo climático fijo	Sensores manuales y estaciones climáticas RAMA
Software	Excel	<i>Easyfit de Mathwave</i> y Análisis estadístico	<i>ArkGis Desktop®</i> 9.2	<i>Autocad y Hobo Ware software</i>	<i>Wather Link®</i>	Excel y análisis estadístico
Escala	Microescala	Microescala	Canopia	Canopia	Meso escala	Meso escala
Metodología	Travesías móviles	Estaciones climáticas fijas	Satélite Landsat	Trayectos móviles	Cinco estaciones meteorológicas automatizadas	Trayectos móviles

Figura 2.15. Tabla de indicadores, equipo, software, escala y metodología de casos de estudio.

Fuente: Del autor.

Resultados

Los casos revisados hasta ahora, nos aclaran el panorama respecto de los diferentes procedimientos existentes hasta ahora para identificar Islas de Calor Urbano UHI, sin dejar de considerar, que en cuestión de equipo electrónico y sensores, todos los días la tecnología nos brinda equipos nuevos de avanzada y novedosos, que cada vez mejoran técnicamente a la versión anterior, así como en el ámbito científico, con el diseño cada vez más sofisticado de softwares de aplicación medio ambiental y climática, pero los equipos, aplicaciones, softwares y metodologías revisadas hasta el momento, son lo más reciente que existe, sin dejar de considerar que el estudio a fondo del medio ambiente tiene como máximo cincuenta años antes, cuando se previa lo que ya está sucediendo.

CAPÍTULO 3. CAMPO DE APLICACIÓN

3.1 Introducción al capítulo

Dependiendo de algunos factores como pueden ser las condiciones urbanas, climáticas geométricas, la humedad antropogénica y las variadas fuentes de calor en el medio urbano, es de comprenderse que existe una diferencia de cierta magnitud entre el área urbana y el área rural de la misma zona urbana. En ciudades de latitudes medianas y altas, las temperaturas del aire urbano son mayores que los valores que se registran en lugares rurales, donde la polución puede llegar a ser 10 veces más nociva en las capas superiores de la atmósfera, habiendo variaciones de hasta 2°C.

Las islas de calor son un problema actual en cualquier zona urbana del planeta, la cual, dependiendo de la condición climática y la ubicación geográfica, puede ocurrir en diferentes rangos de escala, pudiéndose manifestar desde el entorno de una construcción hasta una zona urbana o ciudad completa, donde los flujos de calor y humedad son alterados por el paisaje urbano y los vientos dominantes, dispersando el movimiento de los contaminantes y las partículas suspendidas, y si a esto se le aumenta el calor antropogénico del transporte, se convierte en algo nocivo para la salud humana, la vegetación y la vida animal en el medio en que se desarrolle.

¿Cómo se define una zona urbana?

Una zona urbana se caracteriza por tener más de 2,000 habitantes a quienes ofrece desarrollos en los sectores industrial y de servicios, y que en base a estos da una mayor capacidad de sostenimiento a una sociedad que la conforma, la cual es estudiada por el urbanismo, que analiza todo tipo de mejoramiento y optimización para ofrecer una mejor calidad de vida a sus habitantes. Estas zonas están en constante crecimiento y actualización buscando generar nuevas fuentes de energía, entre otras muchas mejoras

urbanas, con el fin de aminorar los efectos nocivos causados por ese crecimiento y urbanización.

Las islas de calor urbano UHI se representan normalmente en tres escalas: La escala de material superficial (Surface layer), la escala de construcción de dosel (Canopy layer) y la escala de espacio límite (Boundary layer) (Arnfield, 2003; Oke, 2006b).

Los efectos producidos en las islas de calor urbano UHI dependen bastante de los materiales con que está construida la superficie y la exposición de esta a la radiación solar (Arnfield, 2003; Oke, 2006b).

El calor emitido por las superficies urbanas es mezclado por medio de la convección y afecta la temperatura del aire en las superficies urbanas. La sección delimitada entre la superficie urbana y la superficie cubierta por edificios y árboles se considera capa urbana o capa de dosel (Canopy layer). La geometría y su relación con los espacios abiertos, su espaciamiento de ancho o alto, la visibilidad o nubosidad del cielo, los materiales de construcción del suelo cubierto, los cuerpos de agua, las zonas arboladas y el flujo del aire, afectan valiosamente el calor acumulado en la capa dosel.

3.2. Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la ZMVT (Zona Metropolitana del Valle de Toluca)

Dependiente la Secretaría del medio ambiente del Gobierno del Estado de México, cuyo objetivo es alcanzar un auténtico desarrollo sustentable en la entidad, por ello impulsa la protección de los ecosistemas estatales y acciones tendientes a mejorar la calidad del agua, aire y suelos del Estado de México.

La red de monitoreo atmosférico RAMA es un programa del Gobierno Estatal para la vigilancia atmosférica y está vinculada con los siguientes objetivos:

1. Evaluar la calidad del aire en la zona establecida, mediante la generación de indicadores de la calidad del aire.
2. Crear las medidas necesarias para controlar la contaminación.
3. Observar la tendencia de los contaminantes a lo largo del tiempo

4. Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire y brindar información en caso de situaciones de alerta, alarma y emergencia.
5. Obtener una base de datos para planear la distribución del suelo y del transporte.
6. Conocer el impacto que generan ciertos contaminantes sobre la población.
7. Proporcionar datos para el desarrollo y validación de modelos.
8. Desarrollar estrategias de control para prevenir problemas por contaminación, o bien, eliminarlos.

¿Qué es la contaminación del aire?

Es la presencia en el ambiente de cualquier agente físico, químico o biológico, o bien la combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o que impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos (OMS). El término contaminación atmosférica se aplica generalmente a las alteraciones que tienen efectos perjudiciales sobre la salud de los seres vivos y los elementos materiales.

La contaminación del aire se puede definir como la presencia en la atmósfera de uno a más elementos, en cantidad suficiente, con ciertas características y una permanencia determinada, que puede causar efectos indeseables tanto en el ser humano, la vegetación, los animales, las construcciones y los monumentos, y pueden ser polvo, olores, humo, vapor o partículas suspendidas.

Calidad del aire

Esta se mide en IMECA (Índice Mexicano de la Calidad del Aire) cuyo reporte se emite diariamente en cada zona y para cada contaminante criterio, existiendo también un reporte mensual, informado según la Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019 que establece los lineamientos para la obtención y comunicación del índice de la calidad del aire y Riesgos a la salud, interpretándose la calidad del aire como:

- + Buena, de 0 a 50 IMECAS, adecuada para llevar a cabo actividades al aire libre.
- + Regular, de 51 a 100 IMECAS, se pueden llevar a cabo actividades al aire libre, posibles molestias en niños, adultos mayores y personas con enfermedades.
- + Mala, 101 a 150 IMECAS, causante de efectos adversos a la salud en la población, en particular a niños y adultos mayores con enfermedades respiratorias como asma o del corazón, evitar actividades al aire libre, estar atento a la información de la calidad del aire, acudir al médico si presenta síntomas respiratorios o cardiacos.
- + Muy mala, 151 a 200 IMECAS, causante de mayores efectos adversos a la salud en la población en general, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades respiratorias como el asma o del corazón, evitar salir de casa y mantener ventanas cerradas, estar atento a la información de la calidad del aire, acudir al médico si presenta síntomas respiratorios o cardiacos.
- + Extremadamente mala, más de 200 IMECAS, causante de mayores efectos adversos a la salud de la población en general, se pueden presentar complicaciones graves en los niños y adultos mayores con enfermedades respiratorias como el asma o del corazón, proteger la salud, evitar salir de casa y mantener ventanas cerradas, estar atento a la información de la calidad del aire, acudir al médico si se presentan síntomas respiratorios o cardiacos, evite el uso del automóvil (Calidad del aire en zona metropolitana RAMA).

¿Como opera?

La red automática de monitoreo atmosférico se compone de siete estaciones fijas, una unidad móvil y un centro de control. Las estaciones se encuentran ubicadas con las siguientes claves: 1 Oxtotitlán (OX), 2 Toluca centro (CE), 3 Metepec (MT), 4 Ceboruco (CB), 5 San Mateo Atenco (SM), 6 Aeropuerto (AP), 7 San Cristóbal Huichochitlán (SC), Unidad Móvil (UM) y Centro de control (CC). La Red opera las 24 horas del día los 365 días del año, por lo que la generación de datos es constante y en tiempo real.

La Red Automática mide seis contaminantes, que son:

- 1.- Bióxido de Azufre (SO₂).
- 2.-Bióxido de Nitrógeno (NO₂).

3.-Monóxido de Carbono (CO).

4.-Ozono (O₃).

5.-Partículas suspendidas menores a 10 micras (PM₁₀).

6.-Partículas suspendidas menores a 10 micras (PM_{2.5}).

Dada la relación entre la contaminación atmosférica y las condiciones del clima, se miden parámetros meteorológicos como: Temperatura ambiente, Humedad relativa, Velocidad y dirección del viento, Presión atmosférica, Radiación solar total y Precipitación pluvial.

Para que la red de monitoreo RAMA proporcione datos reales y representativos, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Zona de estudio: Es el lugar geográfico donde se realiza el estudio y debe estar de acuerdo con los objetivos del programa, tomando en consideración la topografía del sitio con las variables del clima.
- Clima: Es el factor que va a determinar la selección del sitio de muestreo, los más significativos son: Presión temperatura, precipitación pluvial, velocidad y dirección del viento.
- Selección del sitio de muestreo: De acuerdo con lo especificado por la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (EPA), los sitios de muestreo deben:
 - + Ser representativos del área donde se ubican
 - + Proporcionar datos comparables con el resto de los equipos de monitoreo
 - + Tener un tiempo de vida útil largo.
 - + Ser accesibles permanentemente.
 - + Contar con suministro de energía eléctrica seguros.
 - + Ser capaces de resistir condiciones extremas.
 - + Estar protegidos contra actos de vandalismo.
- Inventario de emisiones: El inventario de emisiones enumera todas las fuentes de emisión que existen en la zona de estudio y define el tipo de contaminante, número y tamaño de cada una de esas fuentes de emisión.

- Manejo y reporte de datos: Los datos deberán ser validados y se debe contar con un número mínimo de ellos por periodo de tiempo para que la información se considere veraz.
- Método de análisis para los contaminantes: Se debe contar con metodologías oficiales establecidas como estándares para la medición y análisis de los contaminantes considerados como criterio a nivel internacional. Estos contaminantes son: Bióxido de Azufre, Bióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono, Ozono, Hidrocarburos no metano y material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}). Las metodologías para el caso de México se encuentran en Normas Oficiales Mexicanas.
- En acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud, el número promedio de estaciones que deben considerarse para los programas de vigilancia de la calidad del aire en zona urbanas e industrial, va de 2 a 10, dependiendo del tamaño de la población. Para el Valle de Toluca, que cuenta con una población de 1´846,116 habitantes, el número mínimo de estaciones es de 5, la red automática de monitoreo ambiental RAMA del Valle de Toluca, cuenta con 7 estaciones, cumpliendo con esta norma en dos estaciones excedentes al rango solicitado (figura 3.1).

Estaciones de monitoreo.

- Son recintos metálicos climatizados, que albergan en su interior los equipos analizadores automáticos, además de contar con una torre meteorológica, donde están instalados los sensores cuenta con energía eléctrica regulada, su sistema de adquisición de datos está basado en plataforma PC y una topología de red LAND interna y comunicación con el Centro de Control TPC/IP. El Valle de Toluca se encuentra dividido para su estudio en tres regiones, dentro de cada una de las cuales se encuentran distribuidas las estaciones de monitoreo, y esta corresponden a:
 - Zona centro:
 - Toluca centro
 - Oxtotitlán

- Zona Norte:
 - Aeropuerto
 - San Cristóbal Huichochitlán
- Zona Sur:
 - Metepec
 - Ceboruco
 - San Mateo Atenco

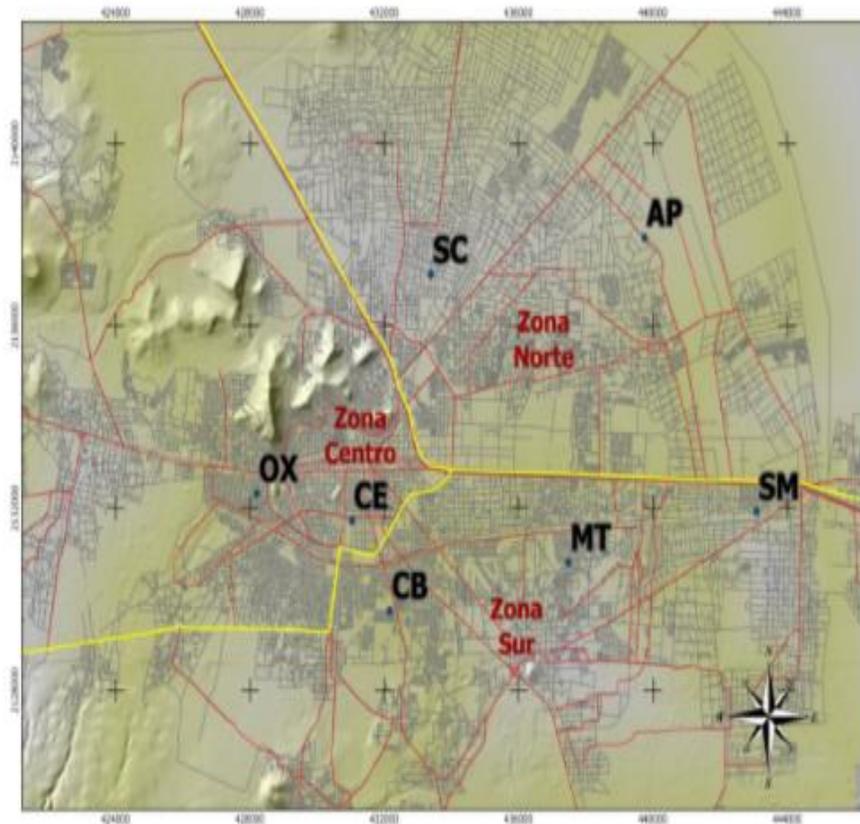


Figura 3.1. Ubicación de estaciones de monitoreo de la RAMA.

Fuente: Zona Metropolitana del Valle de Toluca, RAMA.

Técnicas de medición.

Se utilizan diferentes técnicas de medición, de acuerdo al contaminante que se pretenda medir, así tenemos que, para medir las partículas suspendidas de fracción respirable PM10 y PM2.5 se emplea la técnica de atenuación por radiación Beta, que es un método equivalente federal (FEM) para el monitoreo continuo de partículas, certificado por la

USEPA (Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos), para medir la concentración de Ozono (O_3) en el aire se emplea la técnica de espectrometría de absorción en el Ultravioleta, para medir la concentración de Bióxido de Nitrógeno (NO_2) en el aire se emplea la técnica de Quimioluminiscencia, para medir la concentración de Bióxido de Azufre (SO_2) en el aire se utiliza la técnica de Fluorescencia pulsante en el Violeta y para medir la cantidad de Monóxido de Carbono (CO) se utiliza la técnica de espectrometría de absorción en el infrarrojo.

El sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire (SMCA) según su siglas de acuerdo a la descripción de Pro Aire 2018-2030 del Gobierno del Estado de México, ha sido implementado por el ejecutivo estatal para proteger la salud pública de los habitantes, pues los datos pueden ser utilizados en caso de contingencia atmosférica y para el diseño de políticas públicas, acciones y estrategias enfocadas a mejorar la calidad del aire en la entidad, y están regidas según la Norma Oficial Mexicana NOM-56-SEMARNAT-2012 que establece las características y reglas de operación, mantenimiento y gestión de la información y quienes están obligados a tener un SMCA son:

- Asentamientos humanos y municipios con más de 500,000 habitantes
- Zonas metropolitanas y conurbaciones
- Asentamientos humanos con emisiones superiores a 20,000 toneladas anuales de contaminantes criterio primario a la atmósfera
- Zonas con significativa actividad industrial

Equipos de medición

Las estaciones de monitoreo son cabinas metálicas climatizadas de 3.30 X 2.30 metros y de 2.00 metros de alto, en el interior se encuentran instalados los analizadores automáticos para el monitoreo de 6 contaminantes atmosféricos, (O_3 Ozono, PM_{10} partículas menores a 10 micras, $PM_{2.5}$ partículas menores a 2.5micras, CO monóxido de carbono, NO_2 bióxido de nitrógeno, SO_2 bióxido de azufre), cuentan con una torre meteorológica con sensores que miden temperatura ambiente, dirección y velocidad del viento, precipitación, radiación solar, humedad relativa y presión atmosférica, cuentan con energía eléctrica regulada y un sistema de adquisición de datos de plataforma PC con una topología de Red LAN interna con un sistema de comunicación con centro de control vía TPC/IP (figura 3.2).



Figura 3.2. Equipo y sensores de monitoreo atmosférico.
Fuente: Zona Metropolitana del Valle de Toluca, RAMA.

De acuerdo a la ubicación del punto de estudio del trabajo doctoral, donde se hará el muestreo, se ubica en Pino Suárez esquina Las Torres, corresponde la estación de monitoreo de Ceboruco, que es la de más reciente creación (2010) en RAMA, cuyo punto más cercano de estación climática fija es la estación de monitoreo y meteorológica Ceboruco, ubicada en calle Ceboruco s/n, Colonia Azteca, Heriberto Enríquez esquina José Antonio Albarrán, al interior de la escuela preparatoria No. 5 Ángel María Garibay Kintana (figura 3.3.).

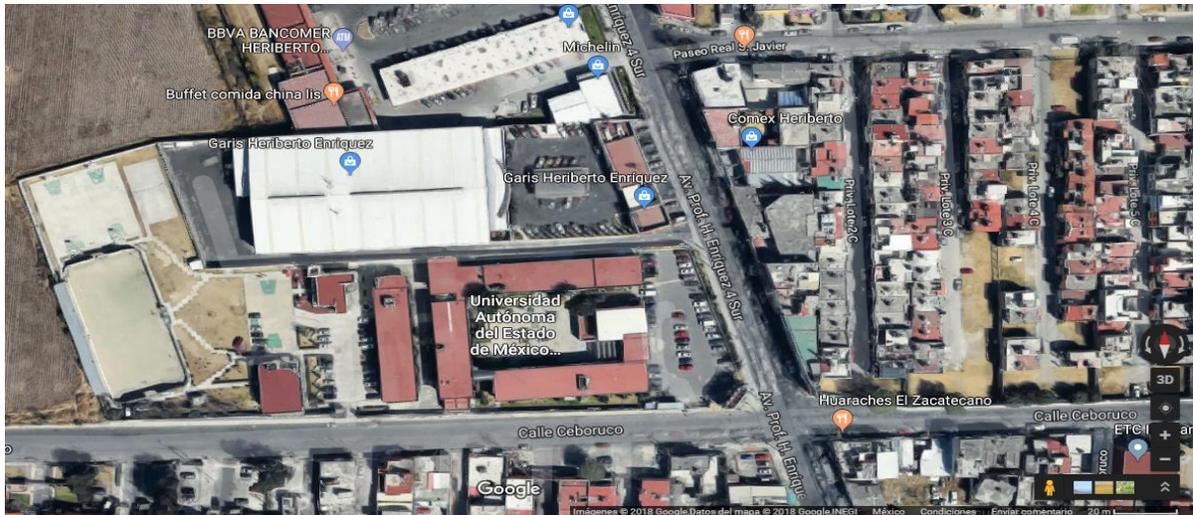


Figura 3.3. Ubicación de estación climática fija de RAMA en Prepa Ángel María Garibay Kintana.
Fuente: Zona Metropolitana del Valle de Toluca, RAMA.

Esta estación de monitoreo se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas Latitud Norte 19° 15'37.1'' y Longitud Oeste 99°38' 44.6'' y coordenadas UTM Este 432,079.54, Norte 2'129,762.56, Región 14 y aquí se miden los siguientes contaminantes y parámetros:

Contaminantes que mide:

- Partículas menores de 10 micras (PM₁₀)
- Partículas menores a 2.5 micras (PM_{2.5})
- Bióxido de Azufre (SO₂)
- Bióxido de Nitrógeno (NO₂)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Ozono (O₃)

Parámetros meteorológicos que registra:

- Temperatura exterior (°C)
- Humedad relativa exterior (%)
- Dirección del viento (°A)
- Velocidad del viento (m/seg.)
- Precipitación pluvial /mm)
- Presión atmosférica (mm Hg)
- Radiación Ultravioleta (Med/hr)

3.3. El tren interurbano México-Toluca

Como parte del Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018 y teniendo como objetivo conectar al Valle de Toluca con la zona Poniente de la ciudad de México, cruzando cinco municipios en el trayecto, que son Zinacantepec, Toluca, Metepec, San Mateo Atenco, Ocoyoacac, y las delegaciones Álvaro Obregón y Cuajimalpa, no sin antes atravesar los parques nacionales “ La Marquesa” y “El Desierto de los Leones”, en 2014 se inició el proyecto y construcción del sistema de transporte Tren Interurbano México-Toluca, que en su trayecto tendrá paradas en los lugares de mayor problemática existente en el poniente de la ciudad capital, Santa Fe y Observatorio, los cuales se han consolidado como zonas comercial y de negocios desde 1989, beneficiando a más de 20,000 automovilistas al día y más de 3.5 millones de pasajeros al año (SCT, 2014).

La consolidación ha implicado un gran problema de infraestructura vial, con un gran aforo vehicular, solo en la carretera México-Toluca circulando más de 105,000 vehículos al día, ocupando 1.8 personas por auto, perdiéndose más de dos horas solamente en el trayecto de los trabajadores de la zona. Asimismo, la zona metropolitana del Valle de Toluca ha tenido un crecimiento en la medida del crecimiento poblacional de los municipios que lo conforman, así tenemos que, en 2014, existían 2´172,035 habitantes entre los 22 municipios que conforman el valle, siendo los de mayor población Toluca, con 819,561 habitantes, Metepec con 214,162, Zinacantepec con 167,759, Almoloya de Juárez con 147.653, Lerma de Villada con 134,799 y Temoaya con 90,010 (Centro Mario Molina).

En los últimos 30 años, el crecimiento de la superficie urbana ha sido de ocho veces mayor al de su población, tanto en la zona industrial como en la zona metropolitana, aumentando la demanda de vivienda y servicios públicos, atentando contra los ecosistemas y provocando afectaciones al medio ambiente, arriesgando la sustentabilidad regional. Las zonas metropolitanas del Toluca y Valle de México han tenido un aumento de 26.3 veces respecto de 1980, pasando de 129.5 Km² a 3,402.4 Km², incrementándose la ocupación territorial de 5,191 Km² a 18,529Km², demostrando que el 90% de esa superficie tiene una densidad de construcción menor a 25 viviendas por Hectárea, provocando un sistema de transporte público desestructurado, orillado a una movilidad individualista y motorizada del transporte, donde en un vehículo particular vemos una o cuando mucho, dos personas.

En busca de atender la demanda de transporte de la población del poniente de la ciudad de México y la movilidad de los más de 270,000 personas que diariamente se trasladan entre estos lugares, se inició la construcción del sistema de transporte Tren Interurbano México-Toluca, teniendo que sortear, entre otros problemas y por medio de carriles elevados de ida y vuelta en ambos trayectos, sustentado en columnas de concreto elevadas sobre el suelo, la topografía tan accidentada existente entre ambas entidades, sobre todo a lo accidentado del relieve, debiendo subir de 2,650 m.s.n.m. de Toluca a más de 3,300 m.s.n.m. de Cuajimalpa, siendo lo más grave que el trayecto debe atravesar predios ejidales, comunales, de reserva ecológica en los dos parques nacionales, sortear los carriles de la autopista, la elevación y llegada al Monte de las Cruces, atravesar la zona comercial de Santa Fe y llegar a su destino en un predio anexo a la Central Camionera Poniente de la ciudad de México (figura 3.4).



Figura 3.4. Estaciones y tiempo de recorridos del tren interurbano.

Fuente: (SCT, 2013).

Dicho sistema de trenes tendrá las siguientes características:

- Longitud estimada de 57.7 kilómetros.
- Cuatro estaciones intermedias
 - Terminal de autobuses (Pino Suárez)

- Aeropuerto (Tecnológico)
- Lerma
- Santa Fe
- Dos terminales
 - Observatorio
 - Zinacantepec (Buenavista)
- Atenderá 270,000 pasajeros por día
- Velocidad máxima de recorrido de 160 Km/Hora
- Tiempo de recorrido de 39 minutos
- Fuerza motriz a base de electricidad en línea catenaria flexible
- Reducción de tiempo de traslado a 90 minutos viaje redondo
- Viaje de 46 minutos por viaducto elevado y 4.7 km por túnel
- Ubicado en el cerro de Las Cruces
- Contará con 30 trenes de 5 vagones cada uno
- Cada tren tendrá una capacidad de 739 pasajeros.
- Inversión de más de 44,000 millones de pesos.
- Reordenamiento de flujo vehicular de más de 200,000 vehículos/día
- Reducción de 3,400 toneladas de emisión contaminante CO₂ Dióxido de Carbono que representa el oxígeno producido por 276 Has. de bosque
- Incremento en la seguridad del traslado de pasajeros y reducción anual de accidentes (400 aproximadamente y 30 víctimas mortales en promedio anual)
- Generación de empleos en la primera etapa de construcción de 17,000 directos y 35,000 indirectos

Inicialmente la construcción se realizó sin mayores contratiempos (figuras 3.5, 3.6 y 3.7) avanzando el proyecto hasta mediaciones del parque nacional “La Marquesa”, pero al adentrarse en el municipio de Ocoyoacac, iniciaron los problemas por la afectación en zonas ejidales y comunales, agravándose más en la zona de Santa Fe, donde grupos de colonos de 33 colonias de las delegaciones Álvaro Obregón y Cuajimalpa, se opusieron al paso del tren por la Avenida Vasco de Quiroga, una de las principales vías de esta zona y

con serios problemas espaciales, independientemente de que se realizaría una tala inmensa de árboles, poniendo en riesgo el ya deteriorado entorno ambiental.



Figura 3.5. Imagen de proceso constructivo de rieles en Buenavista.
Fuente: Notimex, 2018.



Figura 3.6. Pruebas iniciales de trenes del trayecto.
Fuente: Notimex, 2018.



Figura 3.7. Construcción en primera etapa.
Fuente: Notimex, 2018.

Actualmente la obra está suspendida en su último tramo Santa Fe-Observatorio hasta en cuanto no se defina alguna solución por parte de la Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal (CDHDF) y exista un consenso con los habitantes de estas delegaciones o bien, se modifique el trazo de llegada a la ciudad de México, existiendo las propuestas de hacerlo por Barranca del Río Tacubaya (de los Militares) pasando por SEDENA. Existe también la situación por parte de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEPARNAT de considerar la tala de más de 1,800 árboles más en la zona, aunados a los 38,842 ya talados en la zona de “La Marquesa”, nos da un panorama del “ecocidio” generado por la obra (figura 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13)



Figura 3.8. Construcción de estación Buenavista.
Fuente: Notimex, 2018.



Así serán el Tren Interurbano México-Toluca

Figura 3.9. Construcción del acceso en Buenavista.
Fuente: Notimex, 2018.



Tren Interurbano México-Toluca, único en su tipo en Latinoamérica

Figura 3.10. Obra suspendida en Buenavista.
Fuente: Notimex, 2018.



Así serán el Tren Interurbano México-Toluca

Figura 3.11. Vista de encierro y talleres en Buenavista.
Fuente: Notimex, 2018.



Figura 3.12. Colado de carriles en estación Buenavista.
Fuente: Notimex, 2018.



Figura 3.13. Llegada de tren de prueba.
Fuente: Notimex, 2018.

3.4. Selección del lugar de estudio

Considerando que de los 270,000 personas que se movilizarán diariamente en el trayecto del sistema, más del 70% son residentes de los municipios conurbados de la zona poniente del valle de Toluca (Toluca, Metepec, Zinacantepec y Almoloya), corresponde saber que la mayor parte de estos usuarios se trasladarán a la zona más cercana a la Terminal de Autobuses de Toluca para abordar el tren en la estación Pino Suárez, distante no más de 850 metros caminando 10 a 15 minutos entre ambas, además de que en este punto es donde hacen la primera parada de abordaje todos los camiones de pasajeros con rumbo a la ciudad de México y las zonas norte y poniente del Estado, y es punto de llegada de las personas que se movilizan desde diversos lugares y municipios sureños, estando los vehículos estacionados con motor en marcha desde 5 hasta 15 minutos esperando pasaje, lo que da una idea de las partículas suspendidas en el entorno (figura 3.14).



Figura 3.14. Aerofoto de estación Terminal (Pino Suárez).

Fuente: Google Earth.

La obra en esta estación así, como en el resto del sistema, actualmente se encuentra suspendida hace más de un año (2019) por el cambio de gobierno federal, del cual el nuevo presidente de la república, no ve con buenos ojos dicha obra, suponiendo que es un caso de manejo de dinero entre los políticos de anteriores regímenes gubernamentales, pero definitivamente en esta estación, por la cantidad de personas que abordarán y descenderán del tren diariamente, aunado a los razonamientos explicados anteriormente, el efecto UHI en este lugar tendrá un considerable incremento en cuanto inicie funciones el sistema.

3.5 Estudio de casos extras

Con la finalidad de obtener una metodología definida para el procesamiento de obtención, registro, selección, elaboración de gráficas e interpretación de datos, de seleccionaron una serie de casos universales de UHI, para definir una metodología propia, considerando las posibilidades técnicas, económicas, temporales, administrativas y académicas al alcance, analizando en ellos el título, año de edición, autores, institución, palabras clave, introducción, la escala, el objeto, la metodología, estrategias y las conclusiones, dichos casos en orden progresivo son:

3.5.1. Caso 1. Métodos geográficos y trabajo de campo. Estudio de isla de calor urbano en Kota, Kinabalu, Sabah, Malasia.

Autores: Lim Ling Siang y Elizabeth Bui, febrero 2007, *Nanyang Technological University, National Institute of Education.*

Resumen/problema:

El tamaño de las ciudades ha aumentado en promedio un 36% (Henderson y Wang, 2004) debido al fenómeno mundial de migración rural a sitios urbanos, cuyas ciudades superiores a 12 millones de habitantes, ha aumentado de 24 a 83 habitantes, disparándose del 5% al 50% el incremento en la población de las zonas urbanas en los últimos dos siglos (McMichael, 2000), dejando solo el 3% en la zona rural (Wong, 2004), estimándose que para 2030, dos tercios de la población mundial residirá en zonas urbanas, cuyo porcentaje de migración aumentará cada año de entre 5 a 10 millones de habitantes, generando esta tendencia, una mayor demanda de suelo destinado a

vivienda, servicios, recreación, trabajo y otros, ocupando esta demanda, las tierras circundantes de las ciudades, forzando un cambio de uso de suelo agrícola y forestal a habitacional suburbano y urbano.

Esto generará un estrés tanto en el uso del suelo como en la población sobre los recursos existentes, reflejándose en el índice de habitantes por km² en suelo urbano, por ejemplo, en los Estados Unidos, las estadísticas indican que en áreas urbanas la densidad poblacional metropolitana estándar (SMSA) en 1970 era de 422 hab/km² en comparación con las 57 personas por km² en áreas rurales. En China se modificó la tasa porcentual anual promedio, según Carnahan, Gove y Galle (1974) entre 1975 a 2005, que fue de 1.91%, aun así, se incrementó la población en 4.7 millones solamente en el último periodo de 30 años, según datos del 2006 del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, por lo que han aparecido megaciudades superiores a 10 millones de habitantes, convirtiendo a la isla de calor urbano UHI, el desarrollo sostenible y el bienestar social, en temas medulares a resolver.

Respecto del primero (UHI) y según Tisdale, existen dos requisitos básicos para la urbanización: Las personas y el conocimiento tecnológico. El incremento de la población y los excedentes aumentan el proceso, y la tecnología le da forma y enfoque, siendo estos dos factores, auto-alimentables entre sí, convirtiendo a la urbanización en perjudicial cuando se da afectando otros factores como el medio ambiente, el bienestar social, político y económico, convirtiendo a la urbanización en la principal causa de la formación del fenómeno de isla de calor urbano UHI.

Identificación de isla de calor urbano UHI

La isla de calor urbano UHI se refiere al calor característico de la atmósfera y superficies en las ciudades (zonas urbanas) en comparación con su entorno periférico (zonas rurales) y es un ejemplo de modificación climática no intencional que modifica las características de la superficie y la atmósfera de la tierra causadas por la urbanización (Voogt, 2004) que señala un patrón de temperatura concéntrico alrededor del centro de la ciudad, disparándose hacia las orillas y zonas rurales (Marsh, 2005), la cual es variable según la extensión geográfica y el tamaño de la ciudad (población), entre mayor sea el tamaño de la ciudad y áreas urbanizadas, mayor será el efecto UHI.

Existen diferencias de temperatura diurna entre la ciudad y su área rural, atribuidas al consumo excesivo de combustible en zonas urbanas, pero después de muchos estudios, se determinó que las áreas rurales se enfrían más rápido por la noche que las zonas urbanas, ya que estas retienen gran parte del calor irradiado durante el día en calles, avenidas, edificios y otras estructuras, siendo esta la diferencia de temperatura urbano-rural, el efecto máximo de UHI que comúnmente se detecta de entre tres a cinco horas después del atardecer (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2006).

Dichos procesos de calor son los principales contribuyentes de las diferencias de temperatura del microclima urbano (Wong, 2004), y son:

1. El incremento y ocupación de espacios como edificios de gran altura, calles y avenidas asfaltadas, superficies de concreto, etc.
2. Aumento de radiación solar y disminución de suelo desnudo.
3. Eliminación de la cubierta vegetal y
4. La pérdida de agua, humedales y cuerpos líquidos en el entorno.

Existen otros factores que agravan las UHI en las ciudades (Oke, 1991), y son:

- La geometría de cañon de los edificios que disminuye la radiación de onda larga ocasionada por el intercambio de las edificaciones y la proyección al horizonte.
- La geometría radiante del cañon disminuye el albedo debido a la reflexión múltiple de la radiación por la superficie del cañon, las propiedades térmicas de los materiales aumentan ganancia térmica durante el día y lo devuelven al entorno por la noche, estos materiales reemplazan al suelo desnudo y las plantas que son los medios de enfriamiento naturales en la ciudad.
- El calor antropogénico liberado por los vehículos, las fuentes estacionarias y el metabolismo de los animales, aumenta la temperatura ambiente en las ciudades.
- El efecto invernadero incurre en mayor ganancia de radiación de onda larga que entra al ambiente urbano contaminado.

Problemática

La isla de calor urbano UHI se considera como el fenómeno de un área urbana o porción de aire relativamente cálido que se desarrolla sobre áreas urbanizadas con tendencia

cada vez mayor de acuerdo a la rapidez de la urbanización, cuya magnitud se ha estudiado principalmente diferenciando las temperaturas entre entornos urbanos y rurales (Wong, 2004; Roth y Col,1989), comparando los patrones térmicos urbanos diurnos y nocturnos a través de datos de UHI proporcionados por Teledetección satelital, resultando que la magnitud de calor derivada durante el día fue muy fuerte, según mostró el satélite, siendo Londres la primera ciudad en investigarse sobre UHI, notándose mayor diferencia de temperatura y aire ambiental entre áreas urbanas y rurales durante la noche, en comparación con el día.

Estrategia-herramienta

Uso de los espacios verdes urbanos como un medio para la mitigación de UHI. Debido a la actual migración urbano-rural, al constante aumento de población en las ciudades y el consecuente aumento de la mancha urbana debido a la urbanización en las ciudades, viviendo más de 50% de la población mundial en centros urbanos, principalmente en Europa donde más de 500 de los 750 millones de personas de este continente viven en ciudades, cuyas consecuencias socioeconómicas derivan en una alta actividad industrial que altera significativamente la calidad del aire urbano, debiéndose investigar y conocer los impactos climatológicos de la urbanización para encontrar posibles estrategias de mitigación que le faciliten a la población, la adaptación a nuevas condiciones ambientales.

Una de esas posibles estrategias se basa en la silvicultura urbana y vegetación para reducción del calor atmosférico superficial de los entornos urbano, incluidos proyectos de paisajismo y el uso de materiales de construcción de bajo albedo para contrarrestar el efecto de UHI y la reducción de la temperatura del aire, aunado a la ocupación de los terrenos y desnudos disponibles en la ciudad y destinarlos a parques y jardines con la promoción, participación, y responsabilidad de las autoridades locales, que al igual que sucede en nuestro país, existe un divorcio total entre academia, gobierno y sociedad en general, repercutiendo definitivamente, en el entorno, afortunadamente para este caso, se desarrolla en un lugar de clima cálido y húmedo, en cuya zona rural, no es tan significativo el contraste.

3.5.2. Caso 2. Comparación de variables climáticas rural, suburbana y urbana con relación al fenómeno Isla de Calor Urbana UHI.

Autores: Siti H. Ibrehim, Facultad del Medio Ambiente construido, Universidad de Malasia, Sarawak, Nurul I. Ahmat, Facultad de Ingeniería, Universidad de Malasia, Sarawak.

Palabras clave: Temperatura del aire, desarrollo, humedad, isla de calor urbano, urbanización, temperatura superficial.

Resumen

La extrema urbanización no planificada en todo el mundo, es la causa principal del efecto Isla de Calor Urbano UHI, sobre todo en las estructuras de los edificios que absorben la radiación durante el día y la emiten a su entorno por la noche, observando que en Kuching, Sarawak, las variables climáticas relacionadas con este efecto son la temperatura superficial, temperatura ambiental y la humedad relativa, registradas en tres áreas diferentes, urbana, suburbana y rural, utilizando una cámara térmica para recabar datos de temperatura superficial y un termohigrómetro para registrar la temperatura del aire y la humedad relativa.

Entre otras opciones para mitigar los efectos de UHI está la implementación de techos verdes (*green roofs*) y muros vivos (*living wells*), los pavimentos claros y frescos y la optimización de la eficiencia de los pavimentos asfálticos. Se observó que la temperatura en una pared y una ventana en zona rural es de 10^a 15 °C y de 2.5 a 9 °C respectivamente más fríos que en áreas urbana y suburbanas, en tanto que la temperatura del aire es 8.5°C más alta en zonas suburbana y urbana respectivamente que en zona rural.

Respecto a la humedad en zona rural, presenta mayor humedad que en zona urbana y suburbana debido al incremento de la vegetación y suelo desnudo y agrícola en esa zona, siendo la humedad urbana menor, obteniéndose 83.5 % de humedad en zona urbana, 93% en zona semiurbana y 98.1% en zona rural, pero es posible llevar a cabo una adecuada planificación urbana para evitar estos resultados, sobre todo en ciudades aún en desarrollo.

Introducción

A partir de la segunda guerra mundial, ha crecido en desarrollo y urbanización en ciudades de todo el mundo, ocasionando muchos problemas ambientales, entre ellos las UHI, que es un fenómeno del entorno debido a la modificación del clima ocasionado por cambios en la composición de la superficie terrestre y la atmósfera, identificando desde hace más de 200 años la diferencia de temperatura entre zonas rural y urbana, siendo más altas estas últimas, donde la temperatura se incrementa radialmente desde su borde hacia el centro urbano, representando T_u la temperatura del aire en zona urbana y T_r la temperatura del aire en zona rural, donde se llega a incrementar la temperatura del aire de 2 a 8 °C, pero en condiciones extremas esta diferencia llega a ser de 10 a 15 °C, representándose la diferencia $\Delta t = T_u - T_r$ definiendo esta Δt la cantidad la UHI.

En estudios realizados en ciudades como Tokio, Londres, Kuala Lumpur, Johor Bahru, Adelaida, Seúl y Bangkok, se han detectado UHI en acuerdo a los siguientes casos: Por ejemplo, en Tokio se ha observado que a brisa terrestre y marina reduce la temperatura acumulada durante el día debido a la velocidad del viento terrestre detectado en la noche, sobre todo en verano. En Londres se practicó un ejercicio de simulación térmica conocido como IESVE Entorno Virtual de Soluciones Ambientales Integradas para prospectar el futuro rendimiento energético de una oficina, visualizando para 2050 un aumento en la carga de enfriamiento y consumo de energía debido al aumento de la temperatura del aire.

En un estudio en Kuala Lumpur, al utilizar los sistemas de información geográfica SIG se identificaron mapas de contornos de diferente color para identificar UHI, localizadas en el centro de la ciudad. En la ciudad de Johor Bahru, Malasia, se practicaron tres métodos: El primero fue a base de encuestas móviles cubriendo toda la ciudad, observando una diferencia de 4 °C entre la ciudad y sus alrededores, en la temperatura registrada entre la noche y un día soleado. La segunda, realizada por Maru (2015), realizó mediciones meteorológicas en varias estaciones climatológicas basándose el muestreo en los diferentes usos de la tierra, encontrando diferencias de temperatura entre la zona centro densamente poblada por edificios altos de 32 a 35°C contra las registradas en el campo afuera de la ciudad, que fue de 29 a 31°C.

En Adelaida, Australia, Soltani y Sharafi (2017) realizaron un estudio en base a 60 trayectos en rutas previamente trazadas bajo un cielo despejado, observando una diferencia entre el área urbana y la rural de 5.9°C durante la noche, pero al final de la tarde ocurrió la variación más significativa, llegando a 2°C. En la ciudad de Manaus, Souza y Zavala (2014), en su estudio de UHI comparando la zona boscosa de la urbana, en un lapso de 8 años, mostró una reducción e incremento de humedad relativa y temperatura, llegando a ser de 1.7% la humedad y de 3°C la temperatura, respectivamente. En Seúl, Corea, durante un año se monitorearon temperaturas superficiales en 31 estaciones meteorológicas de la zona urbana, detectando la UHI de forma concéntrica, ubicada principalmente en la zona comercial e industrial, cuya intensidad máxima fue de 2.2°C de diferencia entre ambas.

Escalas

Las UHI se representan en tres escalas principales:

1. Escala de material de superficie urbana (*Surface Layer*),
2. Escala del edificio y espacio público (*Canopy Layer*) y
3. Escala de ciudad o capa límite (*Boundary Layer*).

El comportamiento térmico de los materiales de la superficie expuesta a la radiación solar afecta significativamente la UHI. El calor en la capa superficial urbana se mezcla con las turbulencias de aire en la capa dosel (*canopy*) y superior, produciendo una cúpula de aire caliente en las ciudades, llamada capa límite urbana (*Boundary Layer*), la cual devuelve la intensidad de calor al entorno por la noche.

Oke (1982) comenta que después de la puesta del sol, el límite entre zonas urbana y rural indica un gradiente de temperatura dirigido a las UHI en una ciudad grande y con cielo despejado y vientos ligeros, ese gradiente horizontal se refiere al aumento de temperatura en el centro de la ciudad debido a construcciones y edificios comerciales y muy urbanizados, donde la temperatura máxima se encuentra comúnmente en el núcleo urbano. Durante la noche, el calor retenido por las superficies urbanas se emite de forma lenta, contrario a las zonas rurales que lo liberan rápidamente, por lo que la intensidad máxima de UHI es poco después del atardecer, cuando las superficies urbanas se

mantiene calientes y las rurales empiezan a enfriarse, pero iniciando la elevación de temperatura superficial a la atmósfera (figura 3.15).

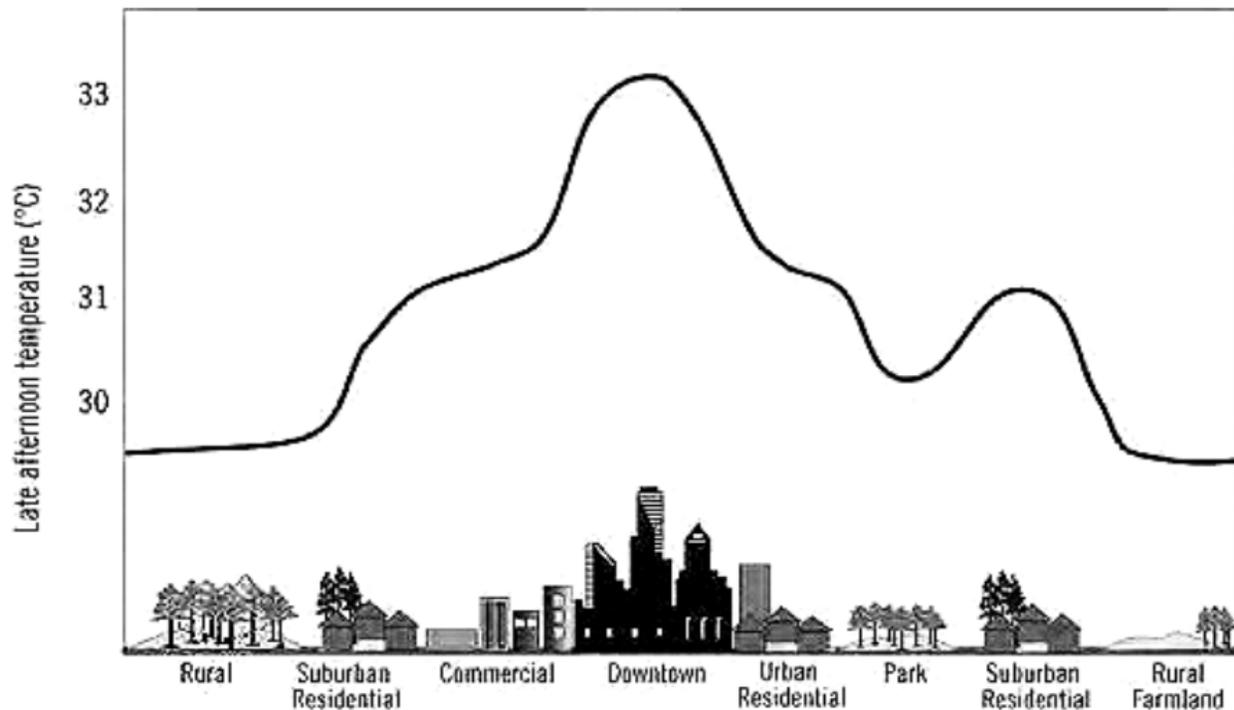


Figura 3.15. Perfil de UHI considerando los tres sitios.
Fuente: Caso revisado.

Objeto del estudio

Se pretende investigar el impacto de las superficies urbanas en el desarrollo de UHI a través de la revisión de las variables climáticas en tres sitios diferentes. El campo de la investigación en la mayoría de los estudios ese relaciona con la temperatura del aire, sin embargo, para mejorar la comprensión de la exposición del calor local, se debe incluir en el estudio la humedad relativa, utilizando el termohigrómetro para recopilar datos de campo. Aparte de esto, la gran parte de estudios considera analizar solo la temperatura, ya sea ambiental o superficial, pero ambas son cruciales para, junto con la humedad, comparar estas variables en los tres lugares, rural, suburbano y urbano.

Métodos

Se estudiará el impacto de las superficies de los edificios en el fenómeno UHI en Kuching, Sarawak, observando las variables climáticas en los tres diferentes sitios, rural, ya que el

fenómeno es ocasionado por el calor absorbido por la radiación solar absorbida por la superficie de los edificios, los datos recopilados son específicamente temperatura del aire, temperatura superficial del edificio y la humedad relativa, ocupando una cámara térmica *Therma CAM P65* de *FLIR Systems Inc.* Con la capacidad de calcular la diferencia de temperatura entre los puntos medios de medición y los puntos más cálidos, deduciendo la temperatura superficial más alta del estudio a base de imágenes térmicas tomadas por la cámara. Se utilizará el termohigrómetro Testo 625 de *Testo Inc.* Para recopilar datos del aire y humedad a través de un sensor conectable que permite medir temperatura del aire, humedad, punto de rocío y temperatura de bulbo húmedo, congelando las lecturas máxima y mínima con gran precisión.

Localización del estudio

Será realizado en Kuching, capital de Sarawak, al este de Malasia, país con días soleados todo el año y, por tanto, de gran radiación solar, humedad y temperatura por ser una región cálida, debido a la posición geográfica del país, los edificios están expuestos a alta radiación de oriente a occidente durante la mañana y tarde, mientras que muchos edificios verdes buscan la mejor orientación para reducir la ganancia de calor, mejorar la eficiencia energética y rendimiento térmico.

El propósito de seleccionar tres áreas es determinar cuál de ellas exhibe mayor efecto UHI, así como contrastar el impacto de las superficies en las construcciones en estas áreas, quedando definidas, Área 1. Kuching City Center (área urbana), Área 2. Sarawak Energy Behard (área suburbana) y Área 3. Kampung Bumbok, Bau (área rural) (figura 3.16).

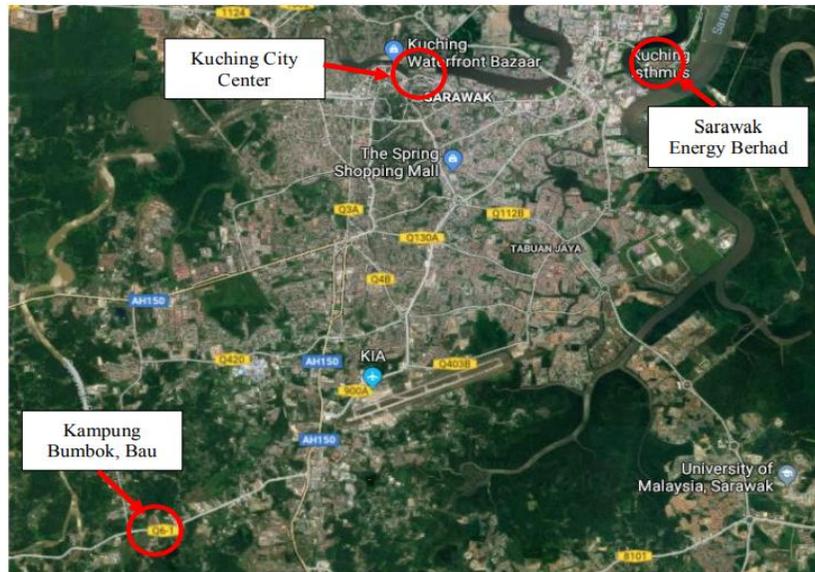


Figura 3.16. Localización de todas las áreas de estudio.
Fuente: Caso revisado.

Resultados y discusión del caso

Relativo a la temperatura superficial, temperatura del aire y humedad relativa en los tres sitios de estudio, resultaron las siguientes secciones:

Temperatura superficial

En la figura 3.17 se muestra la comparación entre las temperaturas de la superficie de la pared de lado este de los edificios seleccionados en los tres sitios. Estos eventos fueron nocturnos en Kuching Center, Sarawak Behard y Kampung Bunbok Bau, y en comparación con las variables climáticas de zonas urbana, suburbana y rural, respectivamente, estas áreas de construcción no estuvieron expuestas a radiación solar. Pero de 10:00 a m hasta 11:00 a m la temperatura de la pared suburbana es más alta que la temperatura de la pared urbana, debido a la diferencia de materiales usados en ambas paredes, pues se utilizó muro de hormigón con revestimiento de aluminio en la pared suburbana mientras que para el muro urbano se utilizó solo hormigón.

Table 1. Building materials of selected sites.

Location	Wall material	Window material
Kuching City Centre	Concrete	Glass
Sarawak Energy Berhad	Concrete + aluminium cladding	Thick double-glazed glass
Kampung Bumbok, Bau	Concrete	Glass

Figura 3.17. Tabla de la selección de materiales de construcción de los sitios.

Fuente: Caso revisado.

La conductividad térmica del aluminio es mayor que la del hormigón, esta última varía de 0.1 w/m k a 1.7 w/m k, mientras la del aluminio ronda en los 205 w/m k, teniendo el aluminio mayor conductividad de calor. Respecto a la capacidad calorífica del aluminio y del hormigón, las paredes tienen 897 J/kg °C y 880 J/kg °C respectivamente, ambos materiales tienen casi la misma capacidad calorífica, requiriendo entonces, la misma cantidad de calor por masa para aumentar su temperatura en 1 °C, pero como la conductividad térmica del aluminio es mayor que la del hormigón, la temperatura del aluminio es más alta durante el día que la del hormigón, por tanto, la pared suburbana se calienta más que la pared urbana.

Pero en el periodo pico, de 12:00 a 14:00 horas el muro de revestimiento de aluminio es más frío que el de hormigón, esto debido a que la radiación solar es más intensa a esa hora en la parte superior del edificio, siendo los lados este y oeste los mejor protegidos de la radiación, por eso la temperatura del muro suburbano es más baja que la del muro urbano en esa orientación. El muro del edificio suburbano tiene la temperatura más alta, cerca de 51 °C a las 11:00 a m pero al final del periodo vespertino, se enfría más rápido que los muros de las zonas rurales y urbanas, influenciado por el propio material de revestimiento de aluminio de la pared, cuya UHI se genera por la absorción de calor en la estructura del edificio durante el día y es liberada durante la noche, aumentando la temperatura nocturna, ya que el aluminio se enfría más rápidamente que el hormigón porque hay menos calor almacenado en el aluminio que en el edificio de hormigón, por lo cual liberará menos calor al entorno en la noche, por esta razón, el aluminio es muy recomendable para reducir los efectos de UHI (figura 3.18 y 3.19).

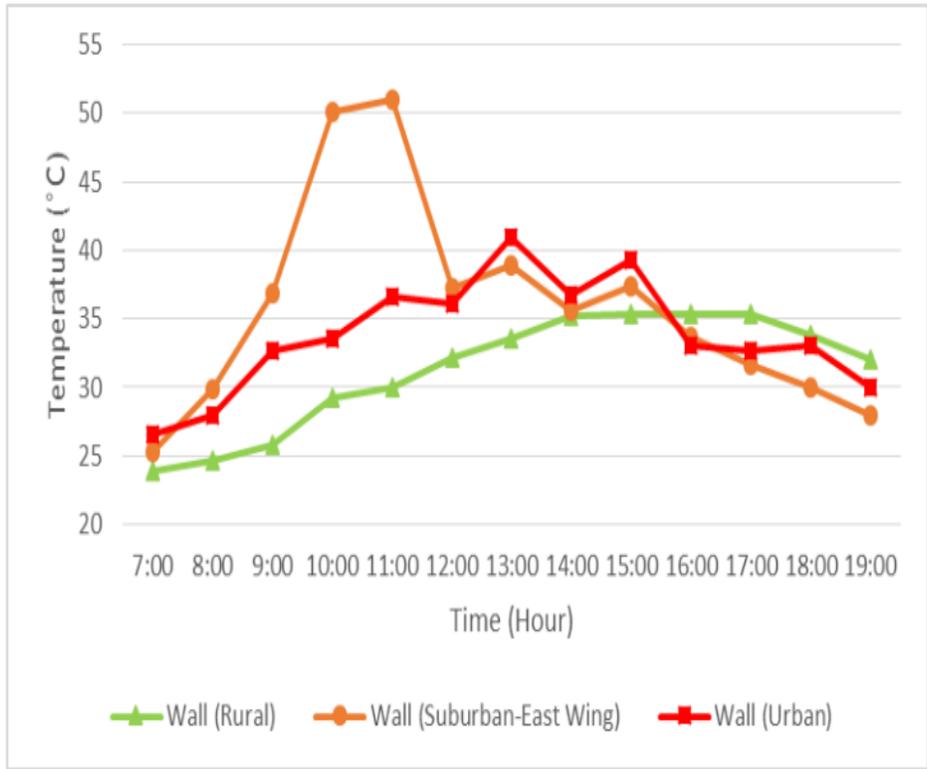


Figura 3.18. Comparación de temperatura en la superficie de muros lado este.
Fuente: Caso revisado

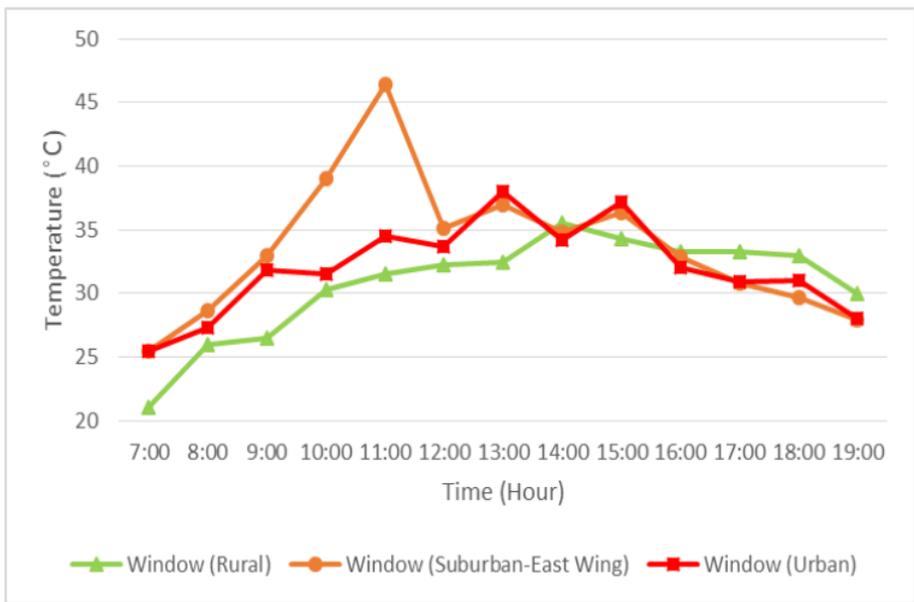


Figura 3.19. Comparación de temperatura en superficie de ventana lado este.
Fuente: Caso revisado.

La figura 3.20 muestra la comparación entre temperaturas en las superficies de las paredes de lado oeste de cada edificio, por tanto, en la mañana, estos lados de las construcciones no están expuestos a radiación solar directa. Durante el día, la pared del edificio del área rural, exhibe la temperatura más baja el edificio suburbano de hormigón con recubrimiento de aluminio se calienta más durante la intensidad más alta de luz solar, sin embargo, se enfría más rápido que el muro de hormigón en zonas rurales y urbanas, cuyas temperaturas superficiales más altas en los muros rural, suburbano y urbano son de 37°C a las dos de la tarde, 51.6°C a las cuatro de la tarde y de 47.2°C a la una de la tarde, respectivamente.

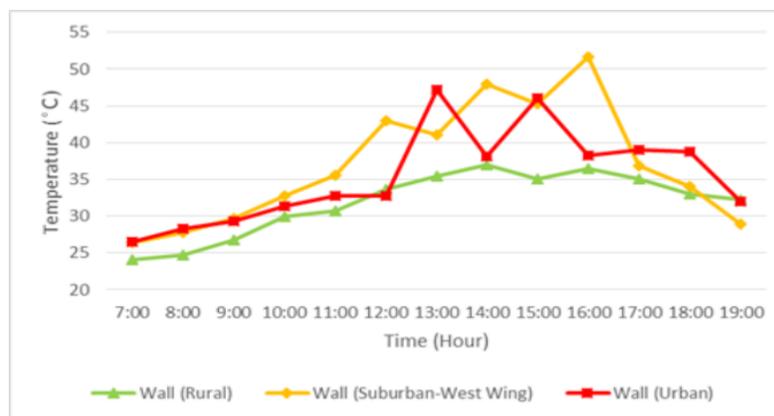


Figura 3.20. Comparación de temperatura en los muros de lado oeste.
Fuente: Caso revisado.

En la figura 3.21 se puede observar que la temperatura superficial en los suburbios y los muros urbanos fluctúan desde medio día hasta la noche, pudiendo deberse a la cobertura de nubes ocasionales. Para Matzuko (2011), la nubosidad es el principal factor meteorológico que determina la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre, cuya cobertura nunca es constante, como tampoco lo es la energía solar radiante, la cual puede reducirse de un 80 a 90% si existiesen nubes gruesas de bajo nivel. La superficie del edificio gana más calor cuando la cobertura de nubes es mínima porque la radiación solar es más intensa, pero si existiese una espesa cobertura de nubes, estas reflejarían la radiación y ayudaría a reducir la energía radiada sobre la superficie terrestre, por eso la temperatura de la pared es mayor cuando la cobertura de nube es mínima.

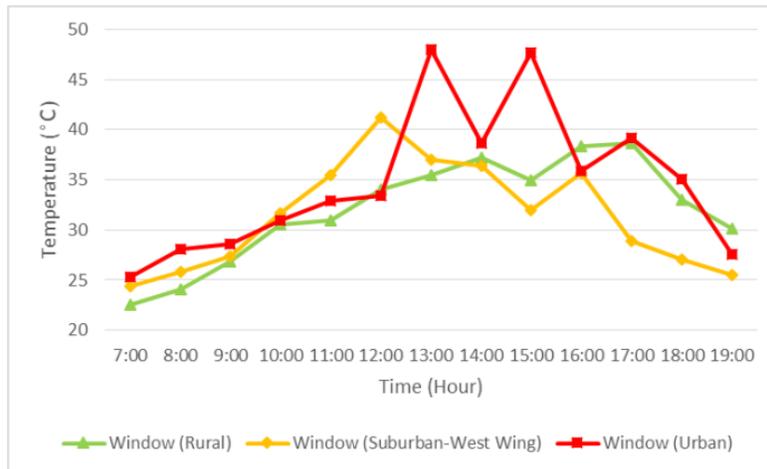


Figura 3.21. Comparación de temperatura en ventana lado oeste.

Fuente: Caso revisado.

Como el edificio del área suburbana está construido paralelo a su eje este-oeste, desde las 12:00 horas hasta las 2:00 de la tarde se incrementa la temperatura superficial del muro en su lado oeste al estar expuesta a radiación, calentándose más durante la tarde. Al paso del tiempo, el muro suburbano se calienta más que el urbano y el rural, por la misma razón que tiene un revestimiento de aluminio que calienta más rápido el muro que los de hormigón, pero que de la misma forma libera más rápido el calor manteniendo la temperatura de la superficie del muro más baja que la de los muros de hormigón, concluyendo que el lado este de los edificios está más caliente por estar expuesto a mayor intensidad de radiación solar que los del lado oeste.

Temperatura del aire

La figura 3.22 muestra la diferencia de temperatura en el aire entre las tres áreas de estudio, siendo el área urbana la más cálida con 41.6°C seguida de las áreas suburbana y rural con 40.3°C y 33.1°C respectivamente, existiendo una diferencia considerable entre la zona urbana y la rural de 8.5°C, lo que comprueba que las áreas urbanas exhiben una mayor temperatura ambiental o del aire superficial, que las áreas rurales. Basados en el perfil idealizado de UHI de la figura 3.15, la temperatura del aire alcanza su punto máximo en el centro de la ciudad, existiendo una gran variación con las temperaturas de toda la ciudad, dependiendo básicamente del tipo de cobertura superficial.

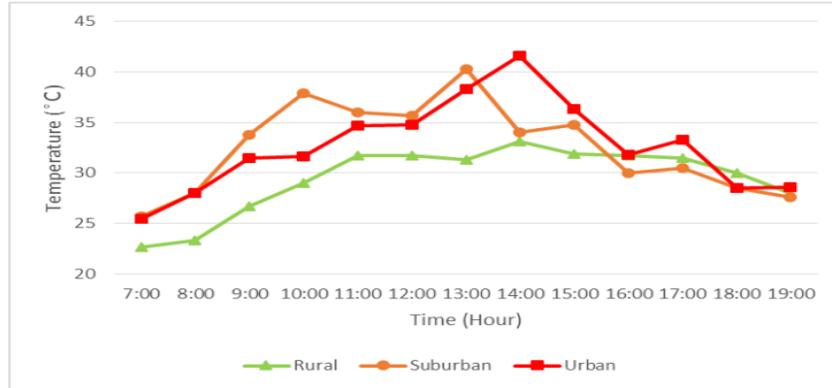


Figura 3.22. Comparación de temperatura del aire en cada sitio.
Fuente: Caso revisado.

Elsayed (2012) estimó que la diferencia en la temperatura del aire entre zonas urbanas y rurales podría alcanzar 5.5°C , demostrando que las temperaturas de la ciudad densamente poblada son más cálidas que en zonas rurales menos desarrolladas. Kubota y Ossen (2008) realizaron un estudio de UHI en Johor Bahry, Malasia, por las características del lugar se llevó a cabo en marzo con temporada de lluvias, y en septiembre con temporada de secas, demostrando los resultados que la diferencia de temperatura nocturna entre la ciudad y las zonas circundantes fue de un máximo de 4°C durante un día soleado, demostrando nuevamente que las zonas urbanas son más calientes que las zonas rurales. Para Ibrahim y Chandesiri (2015) la diferencia de temperatura entre un área urbana y una rural puede llegar a variar de 8 a 10°C en el día y superficialmente, pues los materiales de construcción de edificios y calles en zonas urbanas se calientan más rápido que el suelo desnudo, agrícola y forestal en zona rural.

El principal factor que influye en las temperaturas ambiental o del aire y superficial, así como en el balance energético en las áreas urbanas, es la modificación de la superficie terrestre y los cambios forzados de uso de suelo agrícola y forestal a grandes estructuras y superficies asfaltadas, está probado que las áreas urbanas exhiben una mayor temperatura, tanto del aire como superficial, que las áreas rurales, que al tener una cobertura vegetal más baja, están expuestas a mayor absorción de radiación solar de onda corta, liberándola por la noche parcialmente y lentamente a la atmósfera mediante radiación de onda larga, por tanto los ambientes rurales y verdes muestran un menor

efecto de UHI debido al flujo de la evapotranspiración de árboles y vegetación, ayudando a enfriar el aire y refrescar el entorno.

Humedad relativa

Los porcentajes de humedad relativa son más altos por las mañanas a las 7:00 horas, como lo muestra la figura 3.23, llegando a ser en zonas rurales y urbanas de 98.1% y 83.5% respectivamente, siendo para el área suburbana de 93%, definiendo que el área con mayor índice de vegetación tiene la mayor humedad relativa, obviamente la zona rural tiene el mayor porcentaje debido a que es una zona agrícola y forestal, y a eso aumentamos algún cuerpo de agua como lago, laguna, río o arrozales, habrá una mayor humedad que ayudará a disminuir la temperatura del aire.

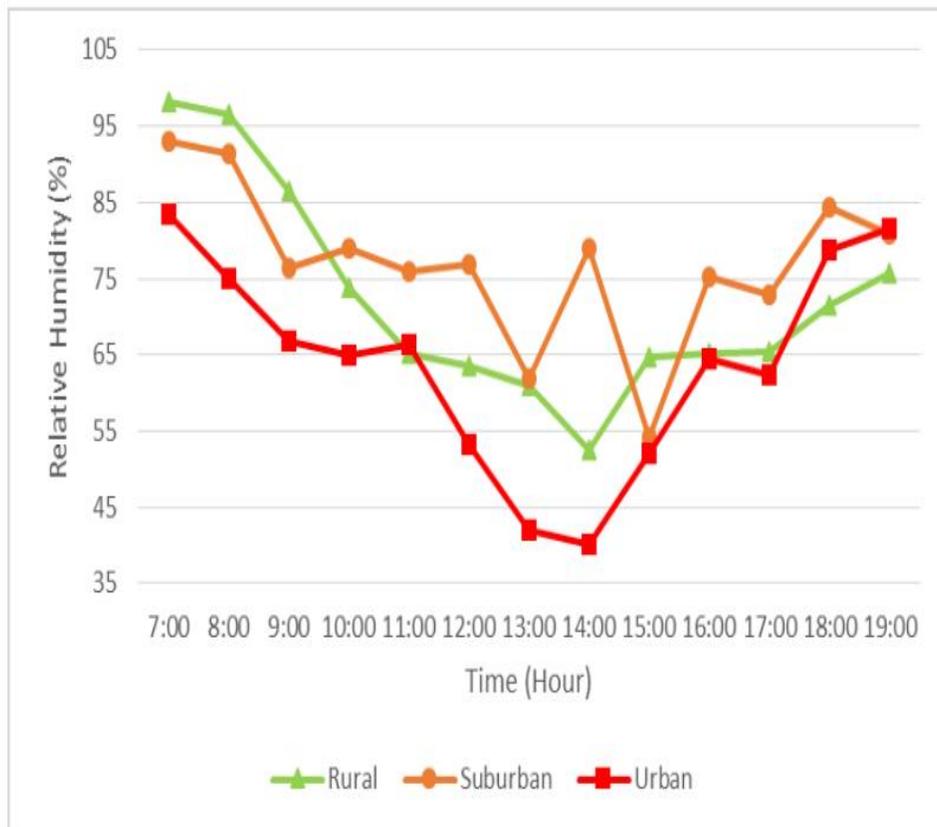


Figura 3.23. Comparación de humedad relativa en cada sitio.

Fuente: Caso revisado.

Hass y Col (2016) encontraron que en sitios de poca vegetación y con una gran cobertura de suelo duro e impermeable, puede llegar a porcentajes muy bajos de humedad y a temperaturas extremas, contrario a lugares con grandes superficies de vegetación y

zonas forestales que seguramente tendrán mayor humedad relativa. Sin embargo, a partir de las 10:00 horas la humedad es más alta en los suburbios que en las otras dos áreas, debido a la presencia del Río Sarawak, ya que la humedad en la atmósfera proviene de los cuerpos de agua, de los océanos por vaporización y de las plantas y árboles por evapotranspiración, existiendo un ciclo contiguo de intercambio entre el agua y la atmósfera, que es evaporización, transpiración, condensación y precipitación, definiendo a la humedad relativa como el porcentaje de humedad en la atmósfera en comparación con su plenitud, la cual se ve afectada por la temperatura del aire, siendo menor la humedad en los continentes y mayor en los océanos, a mayor temperatura menor humedad y viceversa.

Conclusiones del caso

- En temperatura superficial, las ventanas y paredes del área rural son más frías que las de las áreas suburbana y rural. Para muros de lado oeste la temperatura es más alta, en forma ascendente, rural 37°C, urbana 47.2°C y semiurbana 51.6°C. Para ventanas de aluminio la clasificación queda así: rural 38.7°C, urbana 48°C y semiurbana 41.2°C. Para muros de lado este queda rural 35.4°C, urbano 41°C y semiurbano 51°C. Para las ventanas rural 35.5°C, urbana 38°C y semiurbana 46.4°C. Las superficies de los edificios contribuyen al efecto UHI, no así los revestimientos de aluminio, que tienden a reducir el efecto UHI.
- En la temperatura del aire las áreas urbanas y suburbanas son más cálidas que las áreas rurales, siendo esta la más baja, quedando: rural 33.1°C, urbana 41.6 °C y suburbano 40.3°C, debido a la influencia del tipo de cobertura terrestre de cada lugar con mayor cantidad de vegetación corresponde una menor temperatura del aire.
- Para la humedad relativa, el área con mayor cantidad de vegetación también tendrá mayor porcentaje de humedad relativa, por tanto, las áreas rurales tendrán mayor porcentaje que las urbanas y suburbanas, quedando la clasificación: rural 98.1%, suburbano 93% y urbano 83.5%.
- En los estudios de UHI, el foco de estudio principal es la temperatura, pero deben incluirse otras variables como la humedad y la temperatura superficial, para poder determinar e identificar las UHI en diferentes panoramas y lugares.

- Para el estudio de UHI en Kuching, la diferencia de temperatura del aire entre la zona urbana y rural es de hasta 8.5°C, pero puede, ocasionalmente, llegar a ser desde 10 hasta 15°C.
- Como Kuching se considera aún una ciudad en desarrollo, todavía es posible llevar a cabo una adecuada planificación y selección de materiales de construcción con el enfoque de reducir el efecto de UHI.

3.5.3. Caso 3. Detección e identificación de islas de calor urbano: un acercamiento al estado del arte

Autor: John Peterson Anzola Anzola, Facultad de ingeniería, Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá, Colombia.

Fecha de publicación: Noviembre/2015.

Palabras clave: Islas de calor urbano, redes de sensores, procesamiento digital de imagen, minería de datos, autómatas celulares, técnicas híbridas.

Resumen

Se pretende describir los factores condicionantes para la detección e identificación de UHI resaltando la relación de temperaturas superficiales con las temperaturas de altura y la influencia del transporte del aire convectivo vertical y horizontal en la formación de islas. Se hace una revisión bibliográfica de técnicas y tecnologías como: redes de sensores para análisis de contaminación y teledetección, procesamiento digital de imagen aplicada a imágenes satelitales para obtener información por filtros de suavizamiento, eliminación de ruido y segmentación. Por último, se utilizó la minería de datos con algoritmos de *clustering*, predicción e implementación híbrida en autómatas celulares que proporcionan un dominio espacial y temporal en detección e identificación de UHI.

Introducción

En el último siglo se han incrementado los índices de Bióxido de Carbono CO₂ y otros gases de efecto invernadero causados por la combustión del carbón, aceite, petróleo y sus derivados, aumentando la temperatura de la superficie terrestre debido a causas

naturales y antropogénicas relacionadas con el clima y microclima en función al tipo de superficie donde los rayos del sol inciden directamente, además de que los edificios grandes y altos impiden el flujo de corriente de aire refrigerante a los puntos de la superficie, limitando la circulación del aire convectivo tanto horizontal como vertical ocasionando aumentos de temperatura por masas de aire atrapadas, formando todos estos factores, el efecto Isla de calor urbano.

El transporte convectivo horizontal de contaminantes se realiza a través del viento, cuyas corrientes o ráfagas son cerradas y acumulan contaminantes de forma constante. Si este efecto se realiza en zonas urbanas con edificios de gran altura y poco o reducido espacio entre paramentos de los edificios, estos obstáculos actuarán negativamente en la dispersión de contaminantes. Por lo anterior, el transporte convectivo vertical se convierte en factor determinante para la dispersión hacia la atmósfera de esos contaminantes atrapados, ocasionando incremento en la temperatura superficial del asfalto y suelos duros debido a la radiación solar directa, afectando el confort del entorno, pero al elevarse estas corrientes, reducen su temperatura en proporción de 1°C por cada 100 metros de elevación, lo que se llama Gradiente Adiabático, el cual es resultado de la interpolación de temperaturas superficiales en función de altura para zonas urbanas.

Si la temperatura geotérmica aumenta conforme se incrementa la altura, se produce una inversión térmica, ocasionando una dispersión de contaminantes que enfriará, tanto las superficies asfaltadas y cementadas, como las áreas verdes y suelos desnudos por la irradiación de calor en la noche.

Metodología

La aplicación de sensores inalámbricos ha sido utilizada tanto en la agricultura para la reducción y limitación de agua y pesticidas, como para alertar el inicio de heladas en altas y bajas temperaturas de un cultivo, capturando los datos de análisis y estudio en microclimas de cultivo controlados. También se utilizan redes de sensores en teledetección donde los sensores de las estaciones meteorológicas urbanas registran datos de UHI, pero que deben ser contrastadas con los datos de las zonas rurales que indiquen la medida de la radiación solar a partir del brillo de la temperatura, correlacionando las variables de isla de calor que rodea el entorno urbano.

También se analiza el grado de contaminación mediante redes sensoriales que registran las temperaturas mínima y máxima en zonas urbanas, representando la concentración de material y partículas contaminantes en partes por millón (ppm) registrando las peores condiciones durante el día, cuando existe mayor emisión de gases y partículas producto del movimiento del parque vehicular y emisiones industriales, la vivencia de animales y el calentamiento de las superficies terrestres, información que permite representar las características de la morfología urbana, correlacionándola con la actividad meteorológica de la zona, el tipo de superficie, la cobertura de los suelos, los índices de vegetación y las temperaturas de las microrregiones en diversas localizaciones espaciales y temporales que indican y detectan la formación de UHI.

Las imágenes satelitales proporcionan información comparativa de formación de UHI con diferentes características en zonas rurales, existiendo un contraste térmico en la relación campo-ciudad, aportada principalmente por los satélites NOAA y LANDSAT, la cual es comparada con los datos de registro de las estaciones meteorológicas locales, que con frecuencia registran temperaturas menores al interior de la ciudad que en el entorno rural, anomalía que obedece a diferentes ritmos de calentamiento-enfriamiento de las distintas superficies, asfaltos o suelos vegetales, manifestándose el efecto de isla de calor urbano preferentemente durante la noche.

Los sistemas de información geográfica que contienen datos como el tamaño, uso, perímetros e intensidad del suelo, actividades económicas de los habitantes de la zona, la densidad poblacional de una AGEB (Área Geoestadística Básica), los rangos de sexo, edad y actividad, y otra serie de datos característicos de determinado lugar, son proporcionados por imágenes satelitales en secuencias temporales de fotos aéreas que son analizadas para entender y definir la caracterización del clima, los cultivos, el crecimiento urbano, la variación en las construcciones, la evaluación ecológica de los paisajes, el estudio del terreno en expansión urbana así como la densidad residencial y su caracterización.

El análisis mediante la minería de datos son las técnicas y tecnologías que permiten trabajar con grandes volúmenes de información, la cual mediante la exploración y análisis, permite identificar patrones repetitivos, tendencias, reglas de asociación,

clasificación y predicción que nos otorguen el conocimiento que la estadística no puede inferir en un determinado contexto, donde es básico un banco de datos que proporciona información que a simple vista no es importante, pero que es respaldada por algoritmos, inteligencia artificial, sistemas adaptativos y evolutivos entre los que se encuentran los análisis de datos satelitales, el modelamiento de islas de calor mediante ANN (redes neuronales), los modelos de prevención de cambio climático y los sistemas de predicción.

La metodología aplicada en técnicas de clasificación de imágenes para detectar islas de calor, análisis de microclimas y caracterización de imágenes, se realizan basadas en métodos de clasificación espectral de píxeles y subpíxeles usados con enfoques probabilísticos de aprendizaje y redes neuronales, utilizados en estas actividades:

- Detección de islas de calor
- Características de uso del suelo y la superficie espacial en islas de calor urbano
- Ambientes urbanos
- Detección de contaminantes en fuentes de agua
- Trayectos móviles y técnicas de teledetección en islas de calor
- Estudios de biomasa
- Análisis de turbulencia
- Clasificación de cultivos agrícolas
- Simulación de sistemas urbanos complejos mediante autómatas celulares y redes neuronales
- Estrategias de modelado para la mitigación del efecto isla de calor urbano
- Investigaciones oceanográficas y marinas
- Modelos estocásticos con autómatas celulares para análisis de la dinámica del uso de suelo urbano

Se han utilizado las imágenes espaciales de los satélites SPOT, LANDSAT y NOAA con la finalidad de medir densidades de espacio superficial mediante el análisis de imágenes espectrales de reconocimiento de patrones para realizar una superposición espacial de los canales espectrales digitalizados apoyados en puntos de las imágenes de referencia y métodos matemáticos de ajuste.

Los trabajos a futuro tendrán un modelo híbrido, esto es, una combinación de técnicas y tecnologías como los autómatas celulares (modelos matemáticos con pocas reglas) que, en combinación con otras disciplinas como la minería de datos, el procesamiento de imágenes satelitales, la inteligencia artificial, la computación evolutiva y otras más, visualizan un campo halagador en la predicción y perfeccionamiento para la identificación e identificación de islas de calor urbano UHI.

Como conclusión, la Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos, entre otras tantas políticas de regulación de las construcciones en su programa de Desarrollo Inteligente de islas de calor urbano UHI, propone:

- Reducción de estacionamientos descubiertos de una sola planta
- Utilización de pavimentos con materiales porosos
- Ampliación de zonas verdes y arboladas
- Alternativas de transporte
- Bioenergía

3.5.4. Caso 4. Desarrollo inteligente de Islas de Calor Urbano UHI

Desarrollo inteligente de islas de calor urbano. Agencia de Protección al Medio Ambiente E.U.

Introducción

Una Isla de Calor Urbano UHI es una capa de aire sobre una ciudad o área construida que es más caliente que el aire alrededor, lo cual es preocupante por el incremento de las temperaturas urbanas, debiéndose crear esquemas de desarrollo urbano visualizados hace más de 50 años por los impactos positivos y negativos de la urbanización, que son típicamente más intensos en zonas densamente pobladas, pero que en zonas donde existen parques, áreas verdes y zonas boscosas dentro de un área céntrica, ayudan a mitigar los efectos de UHI.

La salud pública corre gran riesgo al aumentarla temperatura, sobre todo en verano cuando se demanda el uso de aire acondicionado y clima artificial, acrecentando la temperatura ambiental y los índices de ozono a nivel del suelo, subiendo los niveles de

contaminación de aire, smog y gases de efecto invernadero, siendo las personas mayores, los niños y las personas con enfermedades respiratorias las de mayor riesgo, aumentando la incidencia de enfermedades y muertes relacionadas con el calor, muriendo más de 1,100 personas en E U por esta causa.

Desarrollo

El Desarrollo Inteligente es aquél que mejora la economía de la comunidad y el medio ambiente a través de estrategias que ayuden a los ciudadanos a decidir cómo y hacia dónde desean que la ciudad crezca, además de que por medio de la planificación urbana proporciona un marco para alcanzar estas metas, cuyas estrategias son A: Reducir los lotes de estacionamiento con suelo duro, promover el estacionamiento en las calles, planear mejor los espacios de circulación peatonal, promover opciones de transporte y reducir y/o condicionar los lotes de estacionamiento, B: Sembrar, preservar y mantener árboles y vegetación ya que enfrían las áreas aledañas por evapotranspiración de las hojas, proporcionan sombra, enfrían las construcciones, capturan carbono y reducen la demanda de aire acondicionado y clima artificial, C: Promover y condicionar el uso de lotes baldíos y una mayor densidad de desarrollo urbano para utilizarlos en desarrollo habitacionales compactos y conservar mayor superficie sin urbanizar, contaminando menos que los desarrollos dispersos y de baja densidad, D: Aumentar la educación y actividades de alcance público en la comunidad, orientando y fomentando acerca de las políticas y estrategias de construcción con fines de mitigación de efectos ambientales.

Conclusiones del caso

El efecto isla de calor urbano es un problema al que todos contribuimos, por lo tanto, está en todos reducirlo, para lo que se requiere orientación, información, organización, voluntad y concientización ecológica, tanto de la sociedad y grupos ecologistas, gobierno en todos sus sectores, la academia y los medios científicos y las dependencias no gubernamentales, con el fin de iniciar y concluir las acciones destinadas a mejorar nuestro hogar común, la tierra.

Este caso coincide en gran medida con la Revisión de Literatura de Estrategias de Mitigación de Isla de Calor Urbano editado en julio de 2009 por el Instituto Nacional de

Salud Pública de Québec, en cuanto a estrategias como la naturalización con plantas y árboles endémicos, la naturalización de predios de estacionamiento, techos y muros verdes y colores claros en construcciones y otros que veremos en la revisión de estrategias, con base en este documento.

3.6. Método particular definido para el estudio-diagnóstico

Una vez revisados los casos de estudio, tanto los seis casos iniciales como los cuatro recientemente señalados y analizada su metodología, se ha definido la metodología propia para el levantamiento de datos, considerando los alcances, recursos, equipo y softwares disponibles. El registro de datos de campo se hará por medio de trayectos móviles, tanto en bicicleta como caminando ocasionalmente, pues en el punto de interés del estudio (estación Terminal-Pino Suárez), el flujo vehicular es muy intenso, por lo que cuando se requiera, será caminando, así mismo será en la estación Centro-Lerdo en todos sus nodos, pues los vehículos de transporte estacionados sobre Lerdo y sobre Santos Degollado, no permiten el recorrido en bicicleta.

- Las variables definidas a medir son:
 - + Temperatura superficial
 - + Temperatura ambiental
 - + Humedad relativa
 - + Viento, dirección y velocidad

Para su medición fue necesario utilizar sensores de medición, los cuales fueron proporcionados por el tutor académico de este trabajo doctoral, Doctor Silverio Hernández Moreno, y dicho equipo se conforma de:

- Para medir la temperatura superficial se utilizó un termómetro infrarrojo *Infra Red Thermometer* CEM, en rango de medición de -50 a 1000°C (Ver figura 3.24).
- Para la temperatura ambiental y humedad relativa se utilizó un termómetro *Recorder* TR-73U marca *Tandd* con rango de temperatura de -40 a 110°C y de humedad de 10 a 95% (figura 3.25).

- Para el viento se utilizó un anemómetro de cazoletas marca Lutron modelo ABH-4224 con rango de medición de 0.9 a 35 m/segundo o 2.5 a 126 Km/hora (figura 3.26).
- En la ubicación satelital de las coordenadas UTM de los nodos de cada estación, se utilizó un GPS marca GARMIN® modelo 76CSx con mapas de recorrido, brújula, altímetro y mapas de navegación (figura 3.27).



Figura 3.24. Termómetro de rayos infrarrojo Infra-Red.
Fuente: Foto del autor.



Figura 3.25. Termómetro Recorder TR-73U.
Fuente: Foto del autor.



Figura 3.26. Anemómetro de cazoletas marca Lutron.
Fuente: Foto del autor.



Figura 3.27. GPS marca GARMIN®.
Fuente: Foto del autor.

CAPÍTULO 4. DATOS Y RESULTADOS

4.1. Descripción del sitio de estudio

El trayecto del tren interurbano Toluca-México y viceversa cuenta con seis estaciones, dos estaciones terminales que son Zinacantepec y Observatorio (Buenavista), y cuatro estaciones intermedias, siguiendo el mismo trayecto, Terminal (Pino Suárez), Tecnológico (con interconexión a estación Aeropuerto), Lerma y Santa Fe. Si bien todas y cada una de las estaciones son importantes, sobre todo por su estratégica ubicación, la estación Terminal (Pino Suárez) es considerada por el autor de este trabajo como la más importante y fundamental en el sistema, se explica porque: La estación Zinacantepec, llamada así por decisión gubernamental, no debiera llamarse como tal, toda vez que no está en el municipio de Zinacantepec sino en el municipio de Toluca, no llega a la cabecera municipal de Zinacantepec, ni los terrenos expropiados para el desarrollo de esta terminal y sus hangares pertenecen a Zinacantepec, sino que son terrenos del Ejido de San Antonio Buenavista, localidad perteneciente al municipio de Toluca, de ahí el nombre que para este trabajo doctoral, se le determinó a esta estación.

La estación Terminal, llamada Pino Suárez por el autor, según su ubicación, Avenida Pino Suárez sur esquina con Av. Solidaridad o Las Torres, es considerada la principal estación de abordaje en el sistema de transporte, debido a tres razones muy significativas: La primera por su ubicación estratégica, ya que es punto de acceso de la ciudad a la carretera para el sur del estado y municipios como Tianguistenco, Tenango, Tenancingo, Ixtapan y obviamente a los estados de Morelos y Guerrero, también es punto neurálgico para la salida de vehículos de pasajeros y particulares a la ciudad de México, siendo un lugar de abordaje y descenso de pasajeros muy importante. La segunda razón es que se ubica a muy poca distancia de la única central camionera de esta ciudad, a donde

convergen pasajeros de todas partes del estado, siendo muy práctica la forma de traslado entre ellos, de estos dos diferentes sistemas de transporte.

La tercera razón es que por ser la primera estación intermedia de abordaje y descenso urbana dentro de la ciudad, (Buenavista se considera semi rural), aquí es donde se concentrará una gran cantidad de pasajeros de llegada y salida para abordar los trenes, situación que impactará a la zona en cuanto a sistemas y rutas de transporte para llegar a esta estación, paraderos de estos para ascenso y descenso de pasaje, zonas de estacionamiento para las personas que aparcarán sus vehículos y se transportarán en tren a la zona capital, todo el comercio y ambulante que propiciará tan descomunal movimiento de personas (se estima trasladar 270,000 pasajeros diarios, debiendo de ser a razón de 45,000 pasajeros por estación, situación falsa, toda vez que no existe la misma densidad poblacional en cada estación), por tanto, esta estación urbana es considerada la principal y de mayor afluencia del sistema de transporte.

El motivo del presente trabajo de tesis se basa en determinar el impacto ambiental inicial de la principal estación del sistema, (Terminal y/o Pino Suárez), tanto en su proceso de construcción como en la puesta en marcha del sistema, detectar la isla de calor, si la hubiese y contrastarla con el comportamiento de otros dos puntos de referencia, uno en Buenavista y otro punto de comparación ubicado en el centro de la ciudad, en la esquina donde convergen la Av. Sebastián Lerdo de Tejada y Av. Benito Juárez García, citado sobre el arroyo afuera del acceso y salida del estacionamiento en sótano de la plaza Garibay, hoy en día en construcción de un proyecto nuevo y ecológico.

Dependiendo de la ubicación de la ciudad donde se registre el estudio, puede ser hemisferio norte o sur, de la altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) de la ciudad, el clima de la misma puede ser cálido, húmedo, templado, semihúmedo o alguna combinación de las anteriores, y que aunado a las condiciones climáticas urbanas, termo físicas, geométricas según la traza urbana, índice de vegetación, cuerpos de agua, precipitación, contaminación y fuentes de calor en el ámbito urbano, existe una marcada diferencia de clima entre la zona céntrica urbana de la ciudad, la periferia suburbana y la zona rural, llegando a ser esta variabilidad de hasta 2°C, sobre todos en ciudades de latitud media y alta donde las temperaturas del aire urbano son mayores a su contraparte en la zona

rural (Taha, 1999). Clima urbano e islas de calor, Albedo, evapotranspiración y calor antropogénico. *Elsevier, Energy and Building*. E.E.U.U.).

Una vez definidos los tres lugares de estudio para este trabajo, uno como punto urbano principal (Estación Terminal y/o Pino Suárez) y dos puntos comparativos (La estación Buenavista/Zinacantepec como punto semi rural y el centro de la ciudad (Centro Lerdo), describiremos detalladamente cada uno de estos sitios, procurando apegarnos en la medida de lo posible a descripción de las características del entorno de cada uno de ellos, así como a dividirlos en nodos estratégicos para su toma de datos climáticos, toda vez que, en mayor o menor cantidad, todos tienen características similares en varios aspectos como pueden ser superficies asfaltadas, superficies encementadas, suelo desnudo, áreas verdes y boscosas, circulación vehicular, densidad en la construcción, caracterización de edificios, índice de cielo abierto, anchura de cañon urbano e índice de sombra, entre otros, así se describe la ubicación en coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) de cada uno de los nodos seleccionados en las tres estaciones (figura 4.1).

Las estaciones están divididas en nodos, cada uno con sus coordenadas, la distancia y orientación aproximadamente al vértice y las características de cada uno descritas de acuerdo a las referencias físicas del entorno, que se describirán en seguida de cada cuadro datos de en cada estación, descritas en el orden por fechas en que fueron tomados los datos de campo, y en ese orden serán primero Buenavista, seguido de Pino Suárez para concluir con Centro Lerdo, especificando que los datos de las estaciones climáticas fijas, también fueron proporcionadas en ese orden, y son:

Localización de estaciones									
		Buenavista		Pino Suárez			Centro Lerdo		
No.	Nodo	X	Y	Nodo	X	Y	Nodo	X	Y
1	N2	2'132170.37	426,708.49	N2	2'130913.48	432,583.94	E2	2'133415.06	431,386.33
2	N1	2'132109.86	426,703.53	N1	2'130882.56	432,616.70	E1	2'133414.09	431,310.77
3	NW	2'132098.09	426,650.42	Vértice	2'130848.41	432,654.24	Vértice	2'133412.94	431,238.64
4	Vértice	2'132052.57	426,695.21	S1	2'130806.24	432,699.96	W1	2'133414.34	431,160.86
5	S1	2'132000.92	426,677.79	SE	2'130827.59	432,764.73	W2	2'133413.93	431,105.13
6	S2	2'131949.89	426,659.70	S2	2'130771.87	432,737.50	NW	2'133434.99	431,187.83
7	SE	2'132039.8	426,715.68	SW	2'130757.45	432,640.97	N2	2'133469.61	431,241.49
8	W1	2'132088.95	426,598.90	W1	2'130818.40	432,532.72	N1	2'133444.22	431,240.73
9	W2	2'132069.03	426,649.76	W2	2'130794.07	432,445.90	Vértice	2'133412.94	431,238.64
10	Vértice	2'132052.57	426,695.21	Vértice	2'130848.41	432,654.24	S1	2'133341.83	431,236.00
11	E1	2'132034.36	426,743.88	E1	2'130878.00	432,775.21	S2	2'133287.53	431,237.11
12	E2	2'132020.63	426,788.02	E2	2'130901.01	432,866.63			

Figura 4.1. Tabla de datos de localización de nodos y sus coordenadas UTM.

Estación Buenavista

Se ubica en la esquina que forma el cruce de Av. Solidaridad Las Torres y Calle Eduardo Monroy Cárdenas que conduce al Centro Cultural Mexiquense, a escasos 350 metros donde se ingresa al hangar de encierro y mantenimiento de los trenes, antes de la curva de acceso y salida inicial de los convoyes, teniendo en su entorno un cielo abierto de 80 metros de norte a sur e ilimitado de oriente a poniente, colindando al norte, después de esos 80 metros con la colonia Parques Nacionales, al sur con dos colindancias ecológicas importantes, como son, de lado sureste el parque Centro Cultural Mexiquense y parque Alameda 2000 y al suroeste la Escuela Superior de Educación Física.

Los nodos que lo componen son doce:

N2. Norte dos, ubicado en la esquina de Av. Las Torres Solidaridad lado norte y calle Parque de los Remedios, a 118.50 metros al norte del vértice.

N1. Norte uno, ubicado en el trayecto del Vértice a N1, a 55.50 metros al norte del vértice, a orilla de la banquetta.

NW. Noroeste, ubicado al noreste del vértice, sobre el terreno donde se ubica la columna que sostiene el tren, a 1,50 metros de dicha columna y a 56.00 metros del vértice.

Vértice, ubicado en la esquina de lado suroeste del cruce, sobre el arroyo inmediato a la banqueta de concreto, frente al poste de electrificación contenido con un tambo de 200 litros colado con concreto y pintado de amarillo tráfico.

S1. Sur uno, situado a 55.00 metros al sur del vértice, a orilla del asfalto e inmediatamente después de la guarnición, frente a la Escuela de Educación Física.

S2. Sur dos, ubicado a 107.80 metros al sur del vértice, a orilla del asfalto e inmediatamente después de la guarnición, a 23 80 metros antes del primer acceso vehicular a la Escuela de Educación Física.

SE. Sureste, ubicado a 20.80 metros frente al vértice, hacia el lado norte, cruzando la calle Eduardo Monroy Cárdenas, pero sobre la banqueta de cemento junto a un registro de electrificación en el piso.

W1. Oeste uno, situado a 133.80 metros al oeste del vértice, sobre el asfalto a orilla de la banqueta de la Vialidad Las Torres Solidaridad, es el punto más cercano a los hangares de encierro de los trenes, a escasos 650 metros de los patios de maniobras.

W2. Oeste dos, situado a 49.50 metros del vértice, al oeste en dirección a los hangares, sobre el asfalto a orillas de la banqueta.

E1. Este uno, una distancia de 67.50 metros sobre la Vialidad Las Torres Solidaridad en dirección este, sobre el asfalto, donde empieza el acotamiento vehicular.

E2. Este dos, distante 129.00 metros del vértice, sobre la Av. Las Torres Solidaridad, en dirección este, sobre el asfalto a orilla de la guarnición, donde termina el acotamiento vehicular (figura 4.2).



Figura 4.2. Ubicación de nodos en estación Zinacantepec-Buenavista.
Fuente: Imagen Q-gis.

Estación Pino Suárez (Terminal)

Ubicada en el cruce que conforman las vialidades Pino Suárez sur con la Avenida Solidaridad Las Torres, en la cual converge e inicia la Avenida Isidro Fabela sur que da acceso vehicular al transporte público foráneo que llega a nuestra ciudad, por lo que esta estación es, el punto principal de estudio del tema doctoral, por su relativa cercanía con la Central Camionera (Terminal) de autobuses foráneos, iniciando la ubicación de los doce nodos de la siguiente manera:

N2. Norte dos, situado en la orilla de asfalto pegado a guarnición sobre Av. Solidaridad de lado norte, frente al inicio de la Avenida Isidro Fabela.

N1. Norte uno, situado a 44 metros aproximadamente al sureste del N1, a orillas de guarnición sobre el asfalto de la Vialidad Pino Suárez, las medidas de variables en este punto, sobre todo la temperatura superficial, es relativamente diferente a la registrada en los demás nodos, por motivo de que permanentemente está sombreado por la construcción del puente que conduce la línea de trenes, pocas veces le llega irradiación directa.

Vértice. Ubicada exactamente en la esquina sureste de la Vialidad Pino Suárez y la Vialidad Solidaridad Las Torres, sobre el asfalto a orilla de banqueta donde se estacionan los autobuses foráneos con destino a la ciudad de México y lugares de esas zonas, situado frente a la llantera que existe en esa esquina (Ver figura 50).

S1. Sur uno, ubicado en la esquina sureste de la calle Plan de Guadalupe, a 62 metros aproximadamente del Vértice, sobre el asfalto a orillas de la guarnición de la Av. Pino Suárez, frente al paradero de taxis locales de esa esquina.

SE. Sureste situado a 66.80 metros al oriente del nodo anterior, sobre la calle Plan de Guadalupe frente a una iglesia cristiana, sobre el arroyo de asfalto.

S2. Sur dos, sobre la Avenida Pino Suárez y calle Plan de Texca, esquina de lado norte sobre el asfalto a orillas de guarnición.

SW. Suroeste, en la esquina noroeste del cruce de las calles Brígida García y Sostenes Rocha, de la colonia Benito Juárez, en el asfalto a orillas de guarnición.

W1. Oeste uno, ubicado sobre Avenida Solidaridad Las Torres esquina con calle Ignacio Mariscal, afuera del acceso de la tienda Oxxo, en el asfalto a orilla de guarnición.

W2. Oeste dos, a 92 metros al poniente del nodo anterior, sobre el asfalto a orillas de guarnición, frente a un cedro y banca metálica.

E1. Este uno, a 125.30 metros al este del vértice, en el asfalto a orillas de la guarnición, frente de un pino pequeño.

E2. Este dos, a 97.50 metros al este del nodo anterior, esquina con calle Plan de Agua Prieta, en el asfalto a orillas de guarnición (figura 4.3).

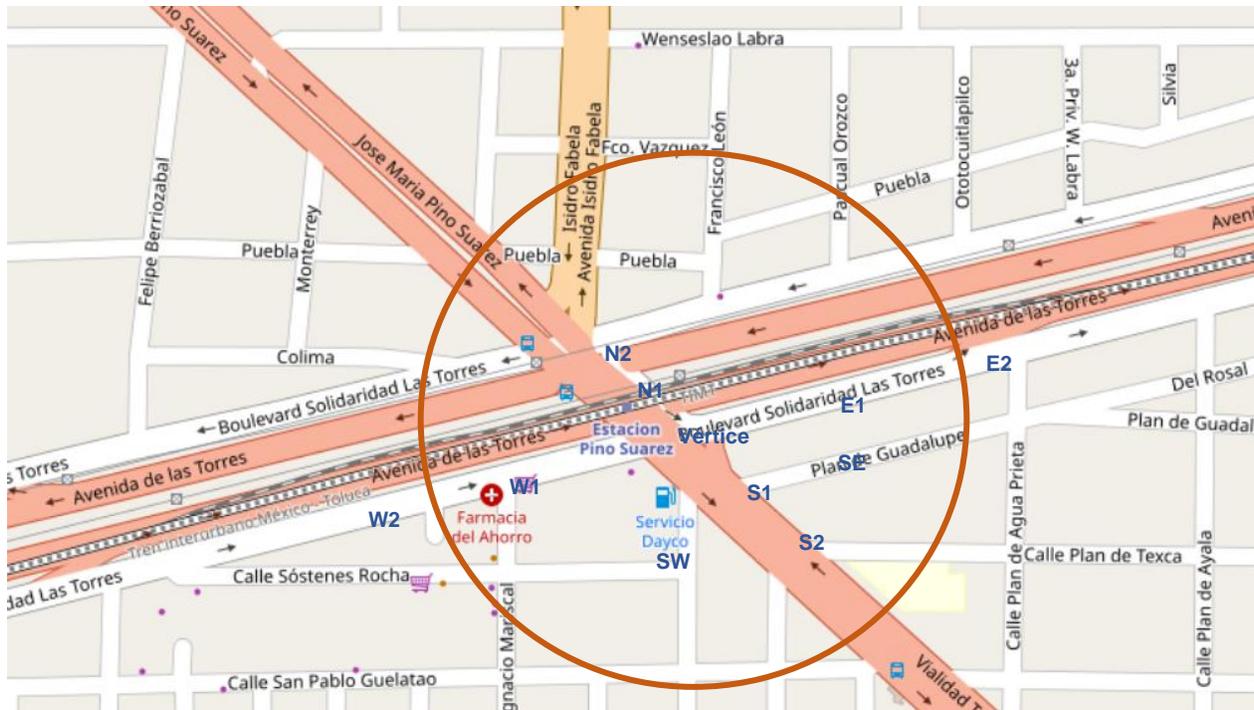


Figura 4.3. Ubicación de nodos en estación Terminal-Pino Suárez.
Fuente: Imagen Q-gis.

Estación Centro Lerdo.

No es una estación propiamente dicha, toda vez que no existe en este lugar ningún paradero de trenes, se denomina estación por ser un punto importante en el sistema de toma de variables climáticas en el estudio de UHI, pues este lugar nos reflejará los datos del sitio urbano en su parte central, lo cual se reflejará en las gráficas más adelante. Es muy interesante este sitio por la razón de que se ubica en el corazón de la ciudad, donde prácticamente toda la superficie está cubierta de asfalto y cemento, aquí se estacionan la mayor parte de camiones del transporte público que pasan por el centro de la ciudad y que transitan rumbo al poniente de la misma, por lo mismo casi no cuenta con áreas verdes ni arboladas, amén de que es una zona densamente construida por edificios administrativos y comercios de dos y tres niveles, factores que se reflejarán en los resultados. Se compone de once nodos que son:

E2. Este dos, ubicado en la esquina que forman las calles Lerdo y Rayón, en la esquina sureste del Cosmovital, en el asfalto inmediatamente después de la guarnición.

E1. Este uno, localizado a 75.80 metros al oeste del punto anterior, a media cuadra en la parte central longitudinal del Cosmovitral, frente al pasaje Kuri, en el asfalto a orilla de banquetta.

Vértice. Ubicado exactamente sobre el asfalto de la calle Lerdo donde nace la calle Juárez, en la salida del estacionamiento a desnivel ubicado en el sótano de la explanada.

W1. Oeste uno, a 74 metros al oeste del Vértice, sobre el asfalto a orilla de guarnición, frente al edificio administrativo de Plaza Toluca.

W2. Oeste dos, a 59.70 metros al oeste del nodo anterior, bocacalle de Riva-palacio, sobre el asfalto junto a la guarnición, frente a la franja de cruce peatonal.

NW. Noroeste, ubicada sobre la explanada de concreto frente al edificio administrativo de Plaza Toluca.

N2. Norte dos, ubicado sobre la calle Santos Degollado, frente al edificio de Profeco y Organización Editorial Mexicana, sobre el arroyo de asfalto.

N1. Norte uno, situado sobre la escalinata de cemento exactamente frente al acceso principal del Cosmovitral.

S1. Sur uno, a 78.50 metros al sur del Vértice, sobre la calle Juárez, afuera de la tienda Foto recuerdo de Toluca.

S2. Sur dos, sobre la calle Benito Juárez casi esquina con Independencia, junto al puesto de periódicos, en el asfalto orilla de la guarnición (figura 4.4).

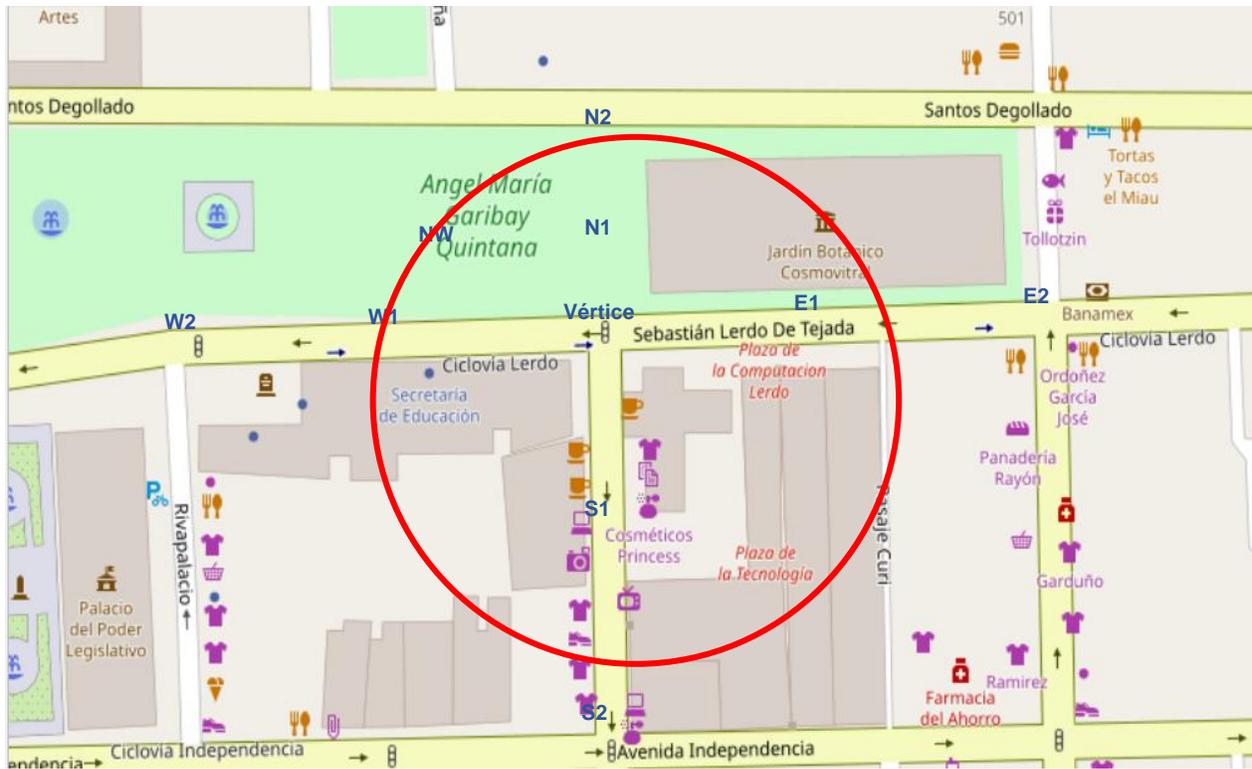


Figura 4.4. Ubicación de nodos en estación Centro-Lerdo.

Fuente: Imagen Q-gis.

Los tres puntos de estudio están localizados en la figura 4.5 de la ciudad.

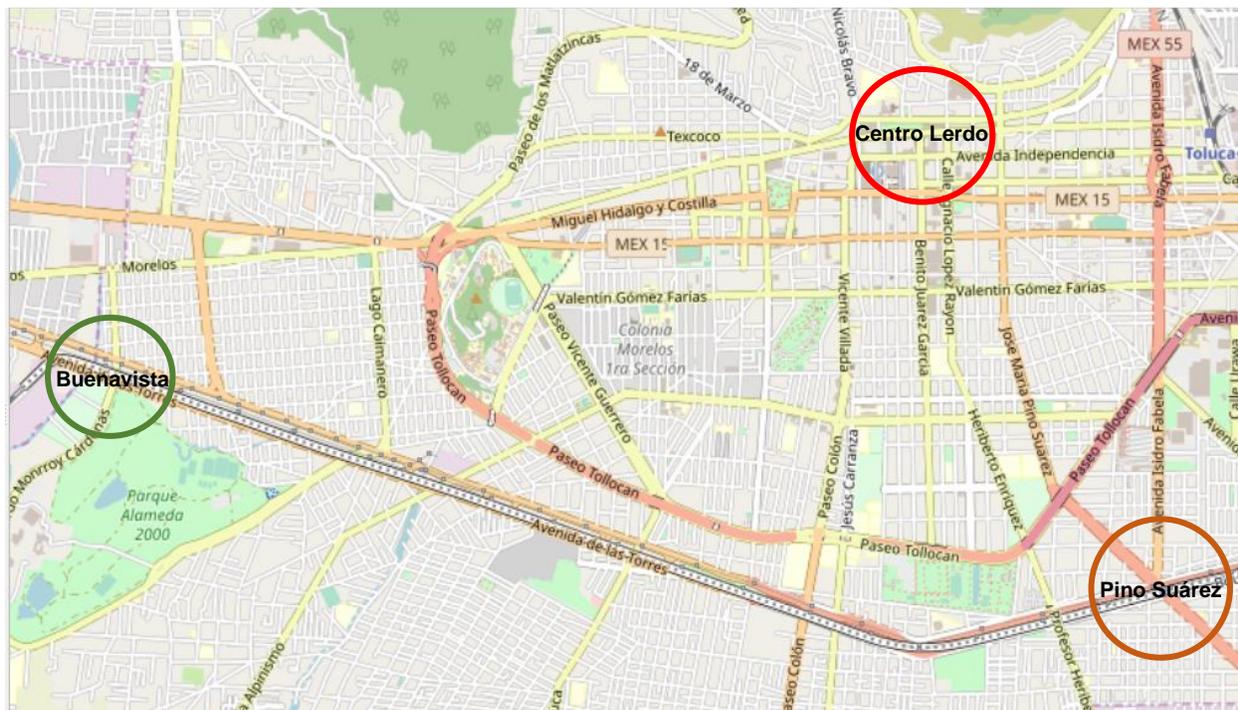


Figura 4.5. Ubicación en la ciudad de los tres sitios de estudio.

Fuente: Q-gis.

4.2. Recopilación de datos de campo

Una vez definida la metodología de obtención y procesamiento de datos, se realizó una calendarización de travesías para la recolección, en las tres estaciones y en diferentes temporalidades, para una vez obtenidos, contrastarlos entre sí y estar en posibilidad de compararlos, obteniendo las gráficas que correspondan para su interpretación, estos fueron de la siguiente manera:

Para las travesías:

Estaciones

+ Buenavista (Zinacantepec)

+ Pino Suárez (Terminal)

+ Centro-Lerdo

Temporalidades

+ Octubre-Noviembre 2018

+ Abril-mayo 2019

+ Octubre-noviembre 2019

Para las estaciones fijas:

RAMA

+ Octubre-noviembre 2018

+ Junio, julio y agosto 2019

+ Octubre-noviembre 2019

Observatorio Mariano Bárcena UAEM

+ Junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre 2019

Los datos de campo fueron levantados en horarios de las 11:00 horas a las 16:00 horas por ser la mayor intensidad de radiación solar y surtir efectos en las superficies

construidas a nivel del suelo, lo que afecta la temperatura tanto superficial como ambiental así como a la humedad relativa, pero como se realizaron desde tres hasta siete travesías en cada nodo de todas las estaciones, la cantidad de datos recabados es del rango de más de 8,000 datos, por lo tanto se trabaja con los promedios obtenidos de las travesías, haciendo hincapié en las gráficas resultantes que correspondan, al horario de levantamiento de datos en su caso, y en los demás, los datos que se correlacionen entre ellos, sin dejar de considerar los inconvenientes que implicaron algunas travesías como lluvia, nubosidad o algún otro inconveniente.

Analizaremos primero el comportamiento de cada estación en todos sus nodos y en las diferentes temporalidades, siguiendo con el comportamiento entre las tres estaciones en las mismas temporalidades, continuaremos con el comportamiento entre los datos de las travesías y los proporcionados por la RAMA para finalizar con la comparación de datos de la RAMA y el observatorio Mariano Bárcena, de la UAEM. Estas estaciones climáticas fijas funcionan y se rigen bajo la Norma Mexicana de Estaciones Meteorológicas, Climáticas e Hidrológicas NMX-AA-166/1-SCFI2013 autorizada por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía publicada en el Diario Oficial de la Federación.

4.3. Procesamiento de datos

4.3.1. Travesías octubre- noviembre 2018

+ Buenavista-Zinacantepec

- Temperatura superficial. Esta va desde 27.11°C en el nodo NW (3) hasta 41.2°C en el nodo N1 (2), esto debido a que NW se ubica sobre el terreno natural justamente debajo de la proyección de la estructura de la viga de concreto por donde corre el tren, contrariamente a NW que está ubicada sobre el asfalto justamente después de cruzar el puente de circulación del tren, cuya diferencia de temperatura superficial es de 14.09°C indicándonos de manera objetiva hasta que rango de temperatura se observa según las diferentes texturas del suelo, la hora en que fue tomada la lectura, la intensidad del tráfico, el tiempo de aparcamiento y si es con motor prendido o apagado, entre otros factores (figura 4.6).

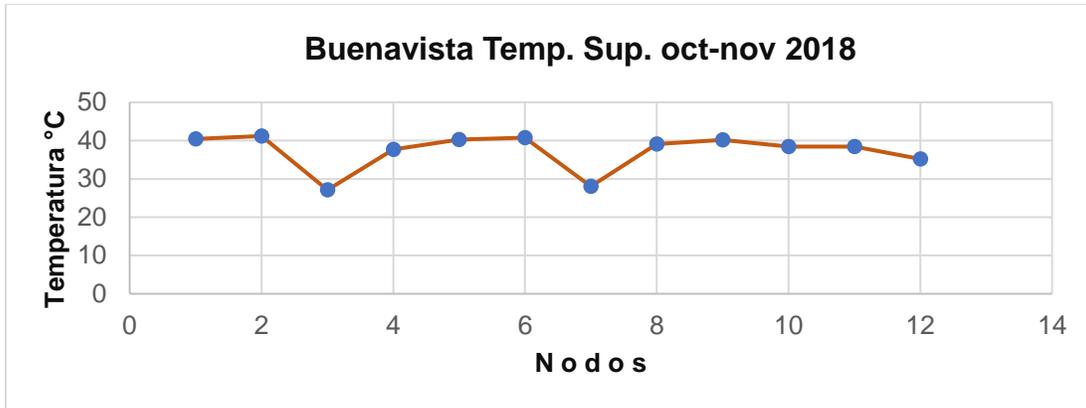


Figura 4.6. Gráfica de temperatura superficial Buenavista oct-nov 2018.
Fuente: Del autor.

- Temperatura Aire. Como podemos observar en la figura 4.7, la mayor temperatura de 22.75°C se registró en Vértice (10) en segunda travesía y la menor 20.64°C, nuevamente en NW (3), mostrándonos que también en la temperatura del aire influye el acabado o material que compone el suelo donde se registre el dato, la primera medida es sobre el asfalto afuera de la guarnición de la Escuela de Educación física y la segunda es en terreno natural debajo de la viga que transporta al tren, donde aparte de no tener acabado, existe una capa de concreto pobre y grava producto del desecho de las ollas de concreto que colaron la columna estructural.

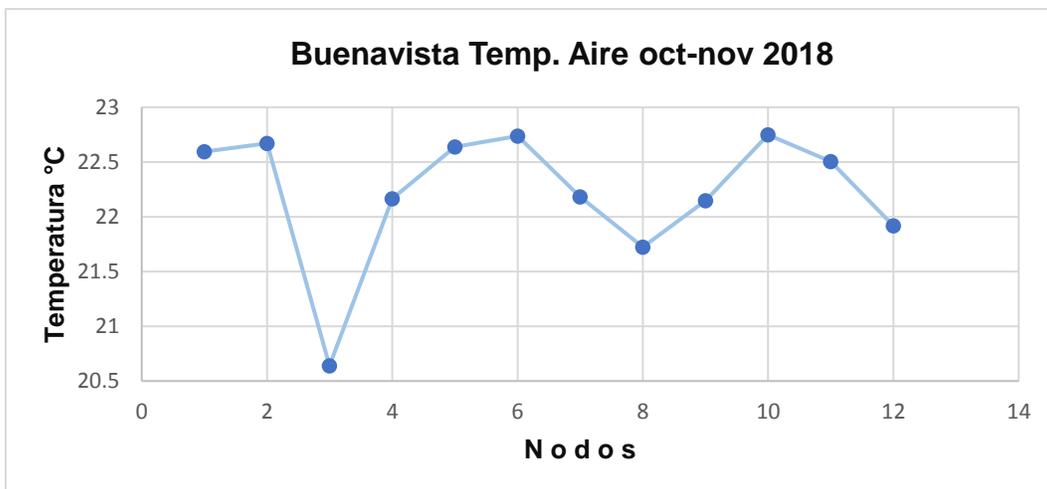


Figura 4.7. Gráfica de temperatura aire Buenavista oct-nov 2018.
Fuente: Del autor.

- **Humedad Relativa.** Apoyando la explicación de las variables anteriores, el mayor registro de humedad del 49.3% fue el del nodo NW (3) porque aún es suelo desnudo y guarda humedad, comparado con el Vértice (10) en el segundo recorrido que registró 44.6% debido a que se ubica en la esquina de Vialidad Las Torres Solidaridad y Calle Eduardo Monroy Cárdenas, sobre el asfalto afuera de la guarnición, frente al tambo de concreto de color naranja que contiene el poste de electrificación (figura 4.8).

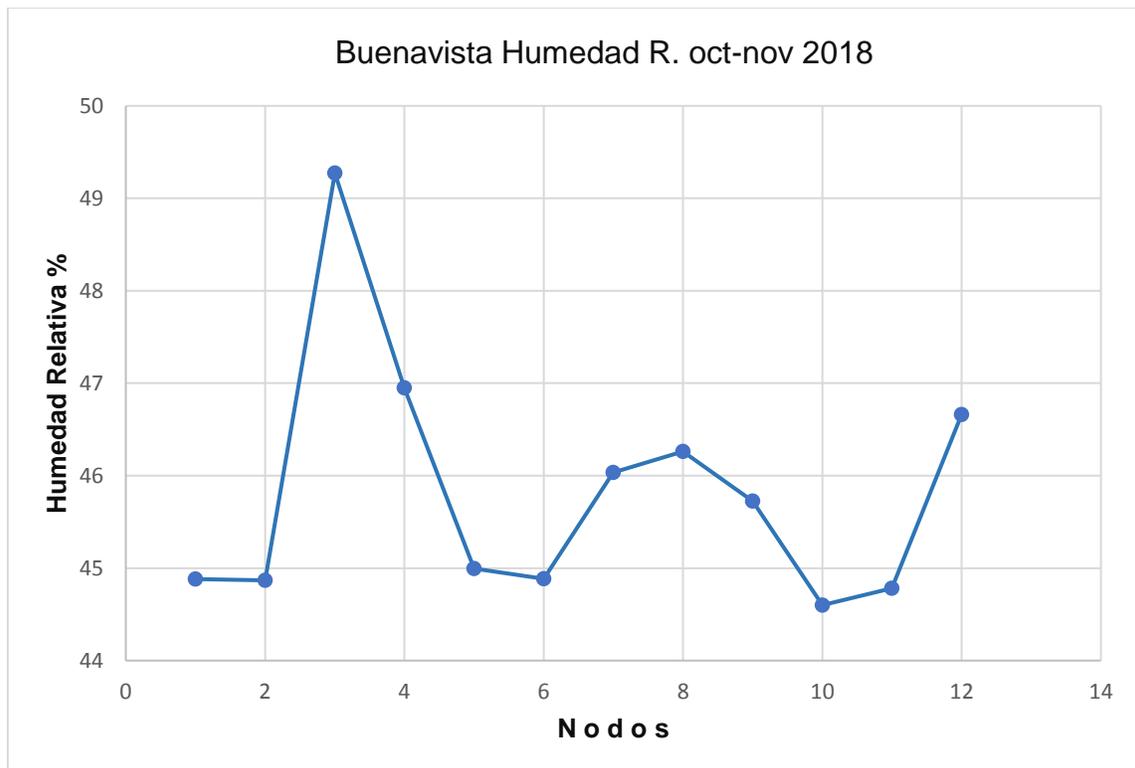


Figura 4.8. Gráfica de humedad relativa Buenavista oct-nov 2018.

Fuente: Del autor.

- **Viento.** La menor velocidad de 0.871 m/segundo se registró en el nodo S2 (6) ubicado en la parte más al sur de la estación, y la mayor de 2.176 m/segundo en el nodo NW (3) ubicado más debajo de la viga del tren, explicando que para el primero, la cortina de árboles que conforman el Parque Alameda 2000 influyó en los registros ya que la ubicación del segundo está en plena Vialidad Las Torres en dirección a Toluca y es corredor abierto, donde no existe ninguna barrera física (figura 4.9).

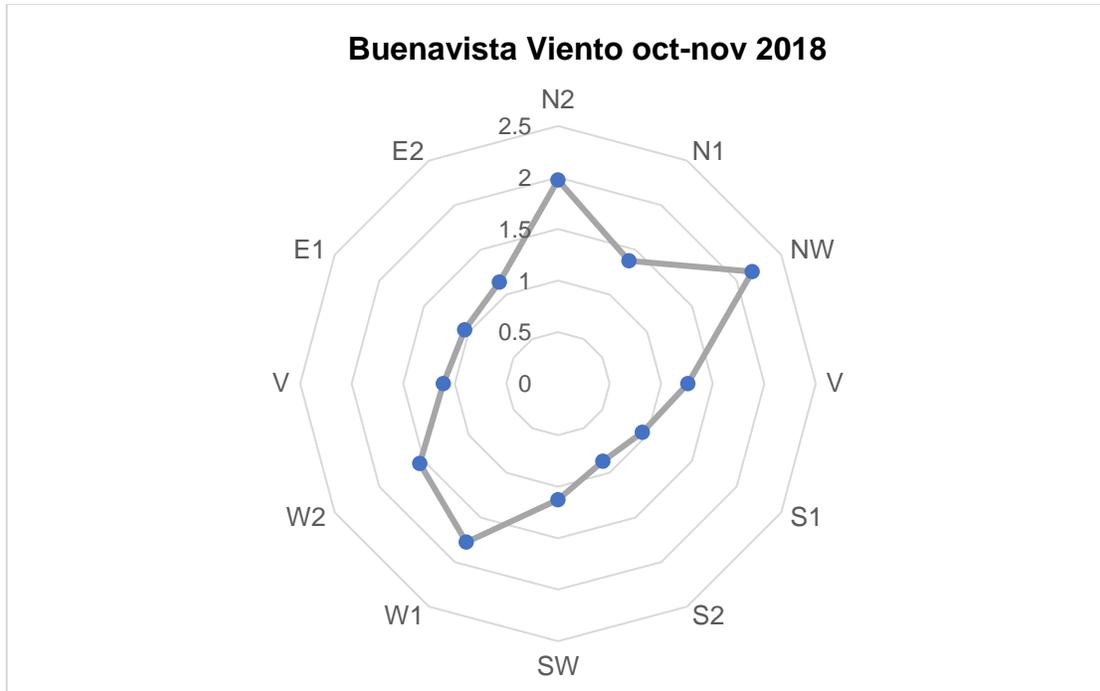


Figura 4.9. Grafica de viento Buenavista oct-nov 2018.

Fuente: Del autor.

+ Pino Suárez-Terminal

- Temperatura superficial. En esta estación se ubica el punto de estudio motivo de la tesis doctoral, siendo muy importante la interpretación de los datos resultantes de las variables, que serán contrastados con los de las otras dos estaciones. La temperatura superficial menor de 22.44 °C se registró en el nodo N1 (2) ubicado sobre Av. Pino Suárez inmediatamente pasando el puente donde atraviesa el tren, y la temperatura mayor de 40.59 °C se registró precisamente en el nodo N2 (1), apenas unos 44 metros del anterior, y se explica la diferencia de 18.15°C porque en el primer nodo se proyecta permanentemente la sombra de la estación y del puente, por lo que casi nunca recibe radiación solar, contrariamente al segundo nodo, que está permanentemente radiado amén de que es un punto estratégico de circulación vehicular en dirección al poniente de la ciudad (figura 4.10).

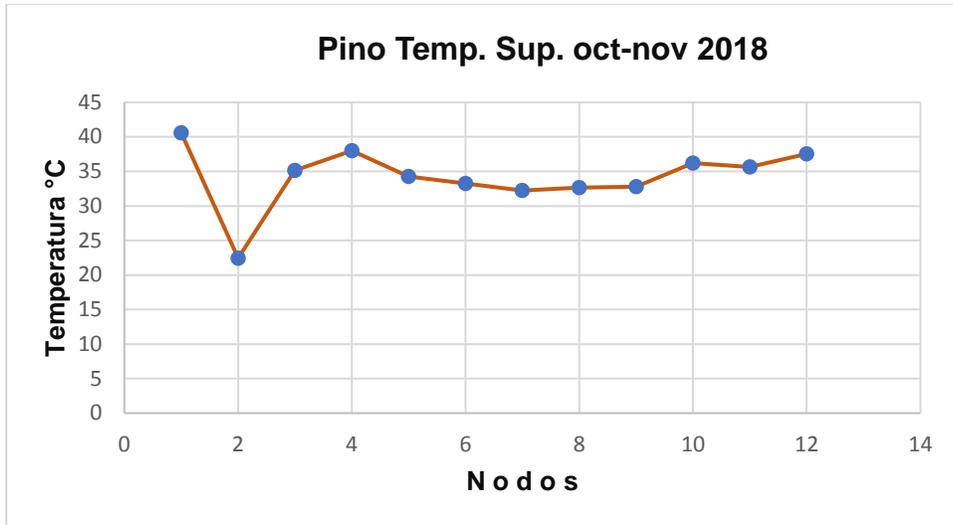


Figura 4.10. Gráfica de temperatura superficial Pino Suárez oct-nov 2018.
Fuente: Del autor.

- Temperatura del aire. Se aprecia claramente en la gráfica que, por estar constantemente bajo la sombra, en nodo N1 (2) es donde se registra la menor temperatura ambiental 21.04°C contrastando inmediatamente con la mayor temperatura medida en el nodo siguiente, vértice 24.05°C, donde se concentra la mayor parte de vehículos automotores estacionados con motor en marcha, ocasionando una concentración de partículas suspendidas, sobre todo Bióxido de Carbono CO₂ (figura 4.11).

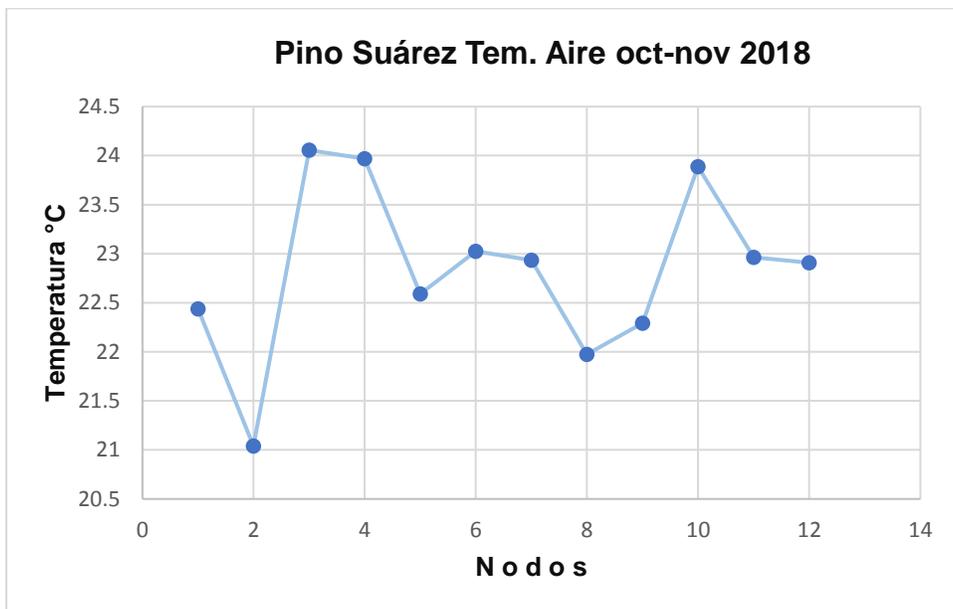


Figura 4.11. Gráfica de temperatura del aire en Pino Suárez oct-nov 2018.
Fuente: Del autor.

- Humedad relativa. El mayor registro de humedad se encuentra, por obvias razones de sombra, en el N1 (2) con 43.39% mientras que la menor cantidad se registró en el vértice (10) en segundo recorrido, con 38.38°C, siendo muy significativos los 5.01°C de diferencia en tan poca distancia, indicando cómo influye una superficie sombreada (figura 4.12).

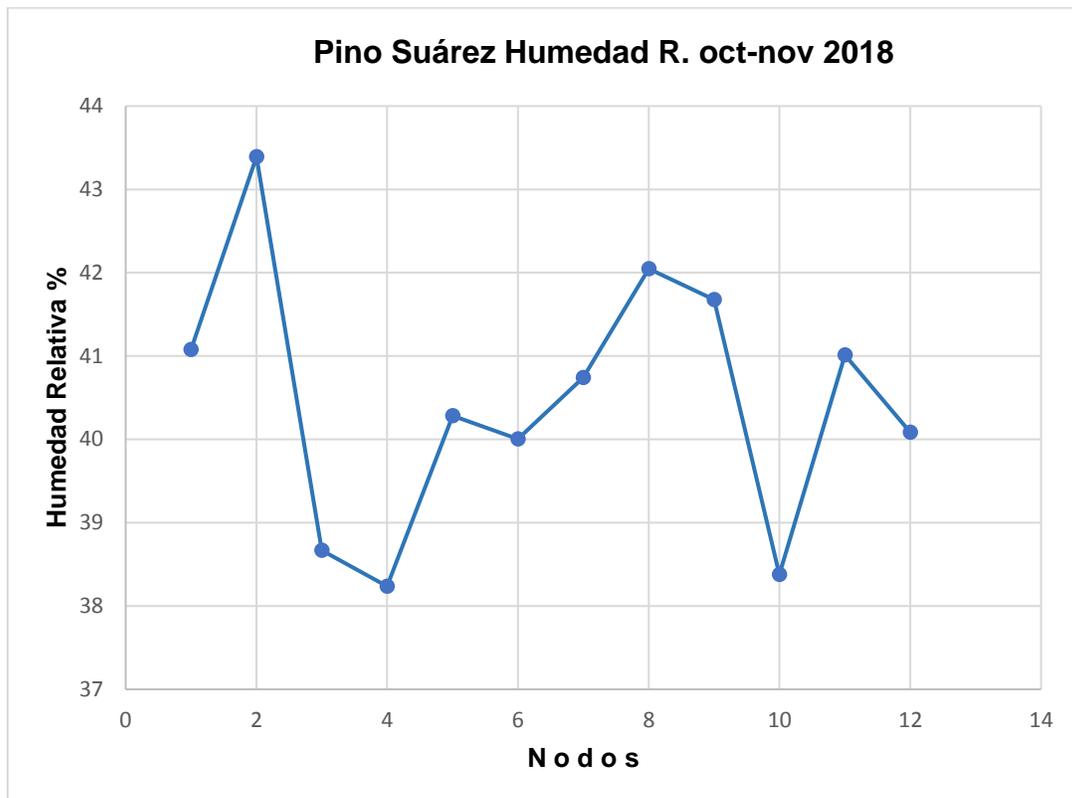


Figura 4.12. Gráfica de humedad relativa en Pino Suarez oct-nov. 2018.
Fuente: Del autor.

- Viento. Aunque ningún registro rebasa los 2 m/segundo, la velocidad menor fue en el nodo S2 (6) con 0.922 m/segundo mientras en el nodo N1 (2) justo abajo del puente sobre Pino Suárez fue de casi 1.57 m/segundo, correspondiendo a la dirección de los vientos dominantes NW en esta estación, paralelos a la vialidad Pino Suárez y con dirección al cerro de La Teresona (figura 4.13).



Figura 4.13. Gráfica de viento en Pino Suárez oct-nov 2018.
Fuente: Del autor.

+ Centro Lerdo

- Temperatura superficial. Todas las lecturas fueron tomadas sobre el asfalto inmediatamente después de la guaración, excepto NW (6) que se tomó encima de la explanada del Cosmovital en losa de concreto y N1 (8) en la explanada precisamente en la escalinata frente al Cosmovital, siendo significativa la diferencia de temperatura superficial menor, que fue 31.77°C en S1 (10) y de 39.3°C en N2 (7) la más alta, existiendo 7.53°C de diferencia entre ambas, debido a que en la segunda lectura fue sobre el asfalto de Santos Degollado con tráfico intenso, y en S1 ya se proyectaba la sombra del edificio administrativo de Plaza Toluca, enfriando considerablemente en nodo (figura 4.14).

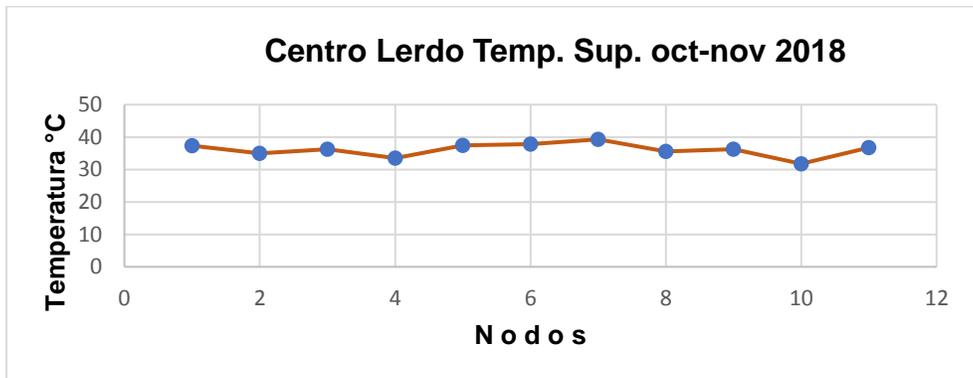


Figura 4.14. Gráfica de temperatura superficial Centro-Lerdo oct-nov 2018.
Fuente: Del autor.

- Temperatura del aire. Por ser el centro de la ciudad un espacio densamente construido y de varios niveles de edificación, al estacionarse la gran mayoría de vehículos de transporte público sobre Lerdo frente al Cosmovitral y aunado a esto la escasa vegetación al exterior, existen diferencias entre las temperaturas ambientales, como la mínima de 26.06°C que se midió en NW (6) y la máxima de 28.37°C levantada en el Vértice (9) en el segundo trayecto, esto porque en la primera a partir de las 14:30 horas aproximadamente se proyecta la sombra de las construcciones altas sobre la calle Juárez en su paramento poniente (4.15).

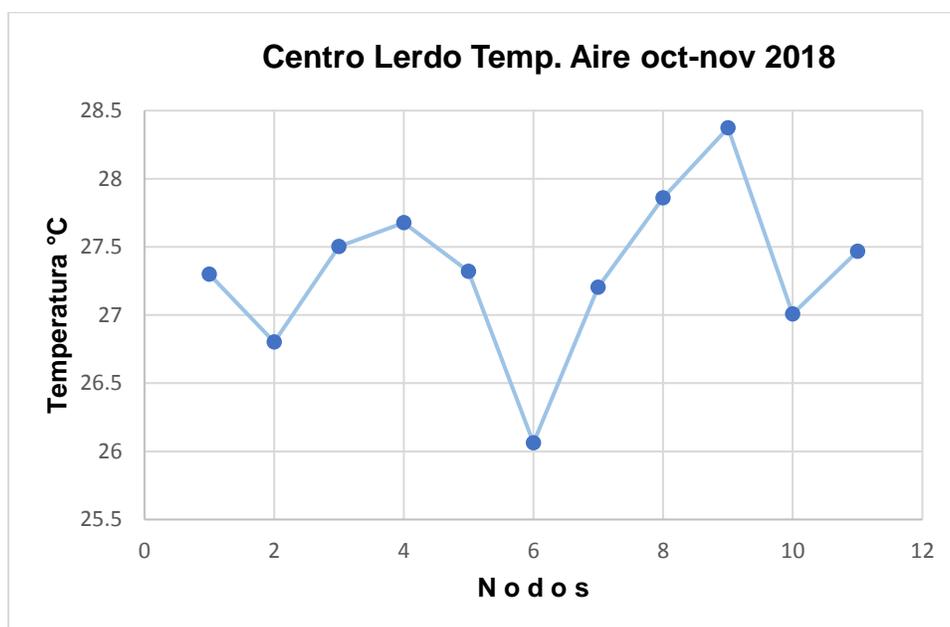


Figura 4.15. Gráfica de temperatura del aire Centro-Lerdo oct-nov 2018.

Fuente: Del autor.

- Humedad relativa. Dada la escasa vegetación del lugar, este solo se refresca a base de las sombras de los edificios del paramento sur de calle Lerdo sobre esta avenida y ocasionalmente por las ráfagas de viento que intercambian tanto el aire caliente estacionado sobre la calle como las partículas de contaminantes suspendidas. La humedad mínima 24.84% se registró en Vértice (9) en segunda travesía y la máxima 28.41% en E2 (1) que es la esquina de Lerdo y Rayón, esquina del Cosmovitral (figura 4.16).

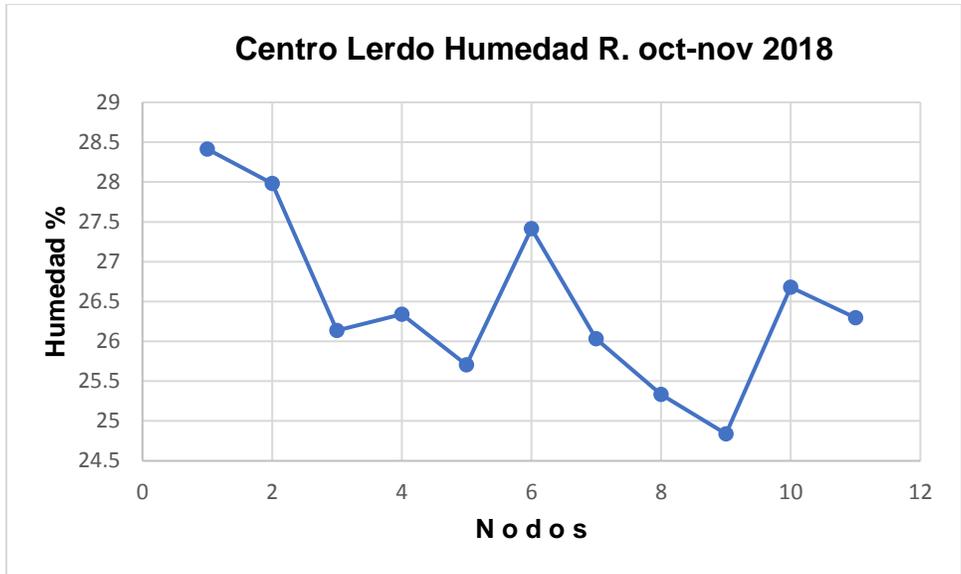


Figura 4.16. Gráfica de humedad relativa Centro-Lerdo oct-nov 2018.

Fuente: Del autor.

- Viento. La estación de estudio Lerdo Centro se caracteriza porque, debido a lo alto de los edificios tanto de Lerdo como de Juárez, se forma el cañon urbano, y cuando no existe corriente de aire, se concentra el calor antropogénico y contaminantes, que se diseminan al existir alguna corriente, generalmente de oriente a poniente sobre Lerdo (figura 4.17).

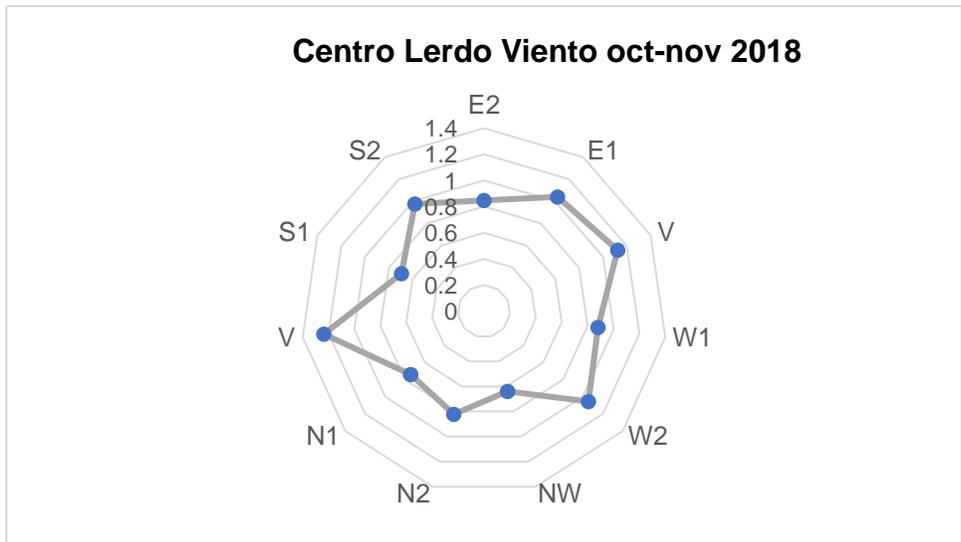


Figura 4.17. Gráfica de viento Centro-Lerdo oct-nov 2018.

Fuente: Del autor.

4.3.2. Travesías abril-mayo 2019

+ Buenavista Zinacantepec

- Temperatura superficial

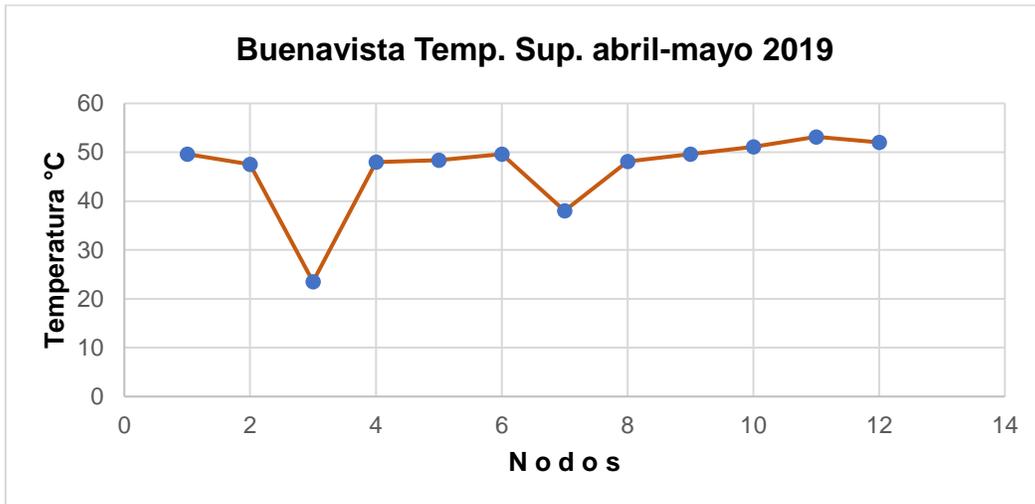


Figura 4.18. Gráfica de temperatura superficial Buenavista abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

- Temperatura del aire

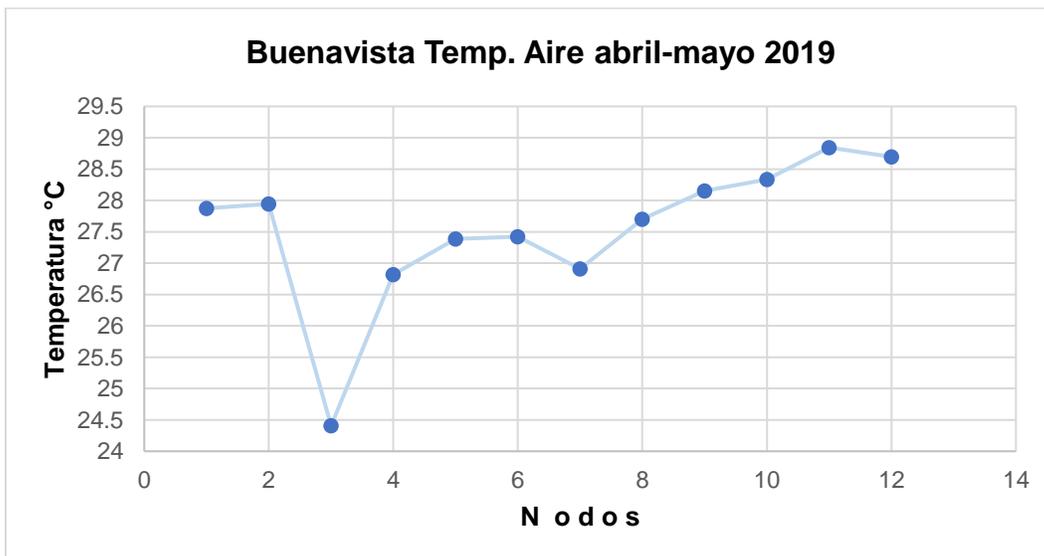


Figura 4.19 Gráfica de temperatura del aire Buenavista abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

- Humedad relativa

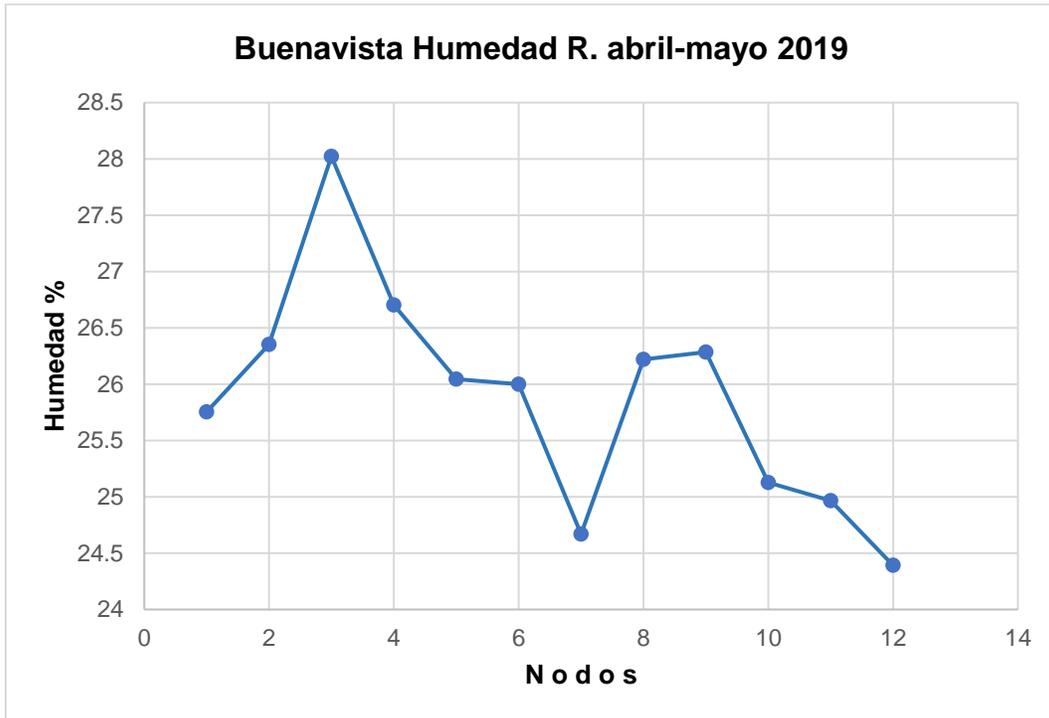


Figura 4.20. Gráfica de Humedad en Buenavista abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

- Viento

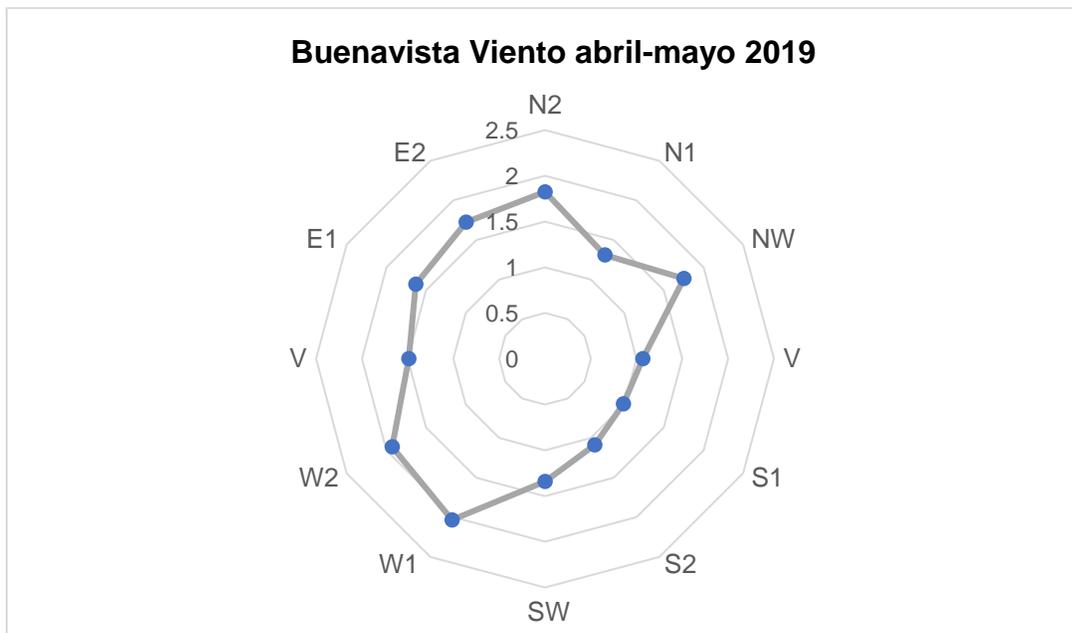


Figura 4.21. Gráfica de viento en Buenavista abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

+ Pino Suárez Terminal

- Temperatura superficial

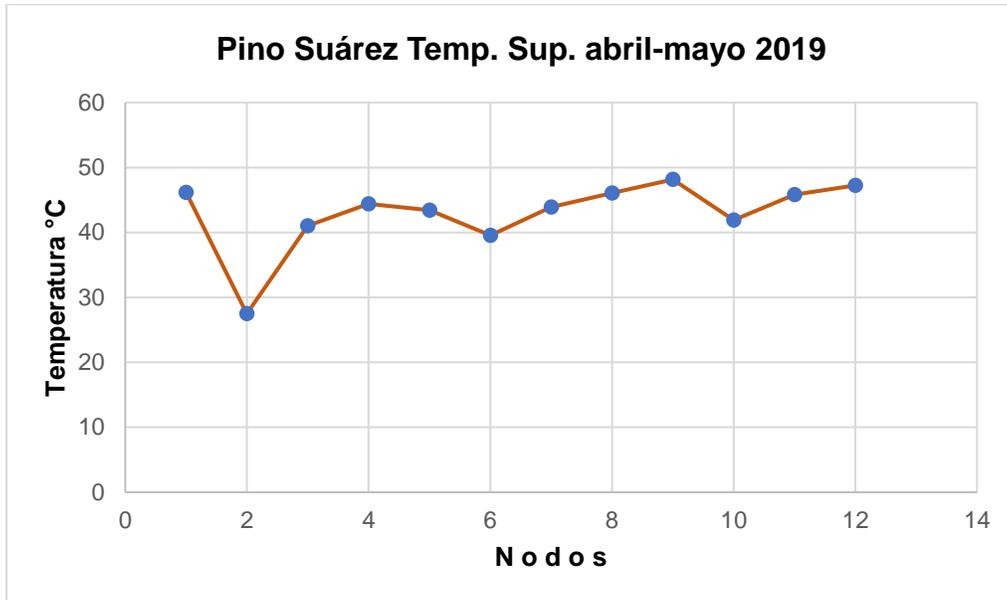


Figura 4.22 Gráfica de temperatura superficial en Pino Suárez abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

- Temperatura del aire

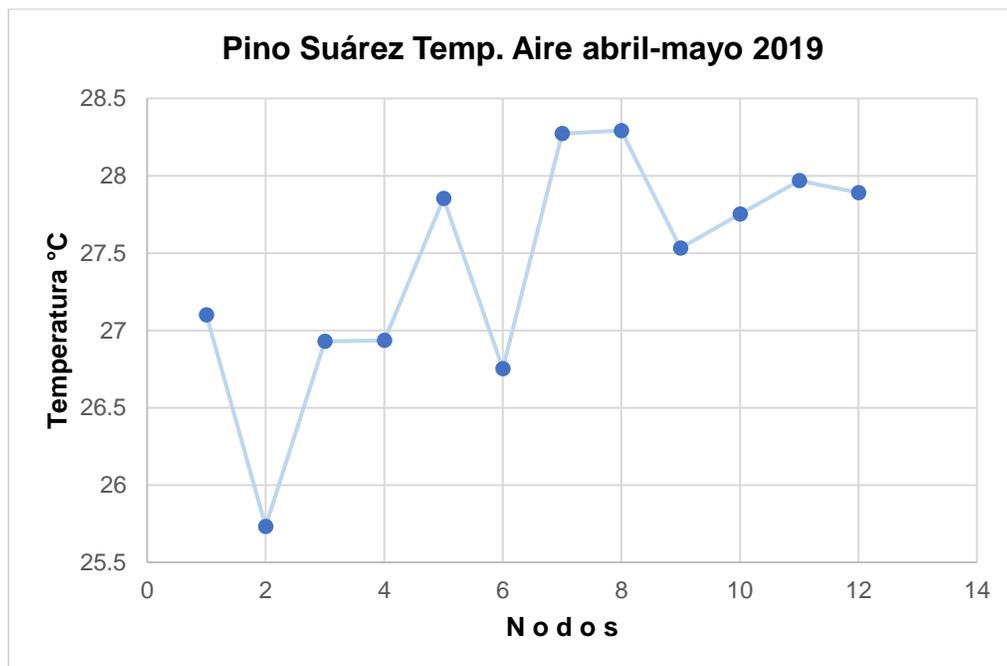


Figura 4.23. Gráfica de temperatura del aire en Pino Suárez abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

- Humedad relativa

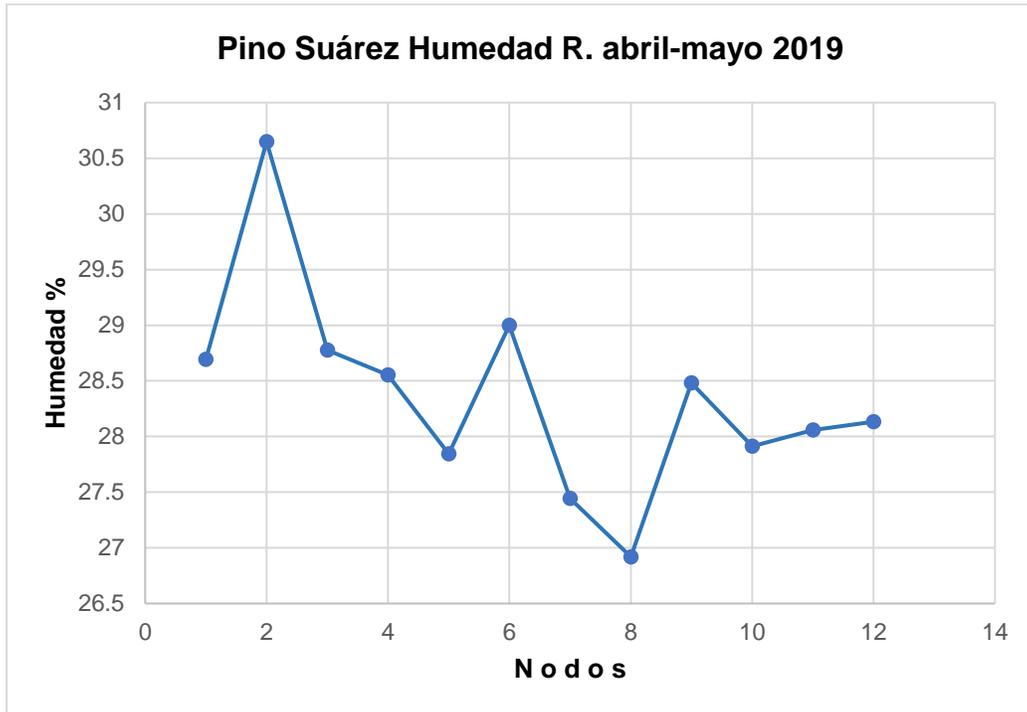


Figura 4.24. Gráfica de humedad relativa en Pino Suárez abril-mayo 2019.

Fuente: Del autor.

- Viento



Figura 4.25. Gráfica de viento en Pino Suárez abril-mayo 2019.

Fuente: Del autor.

+ Centro Lerdo

- Temperatura superficial

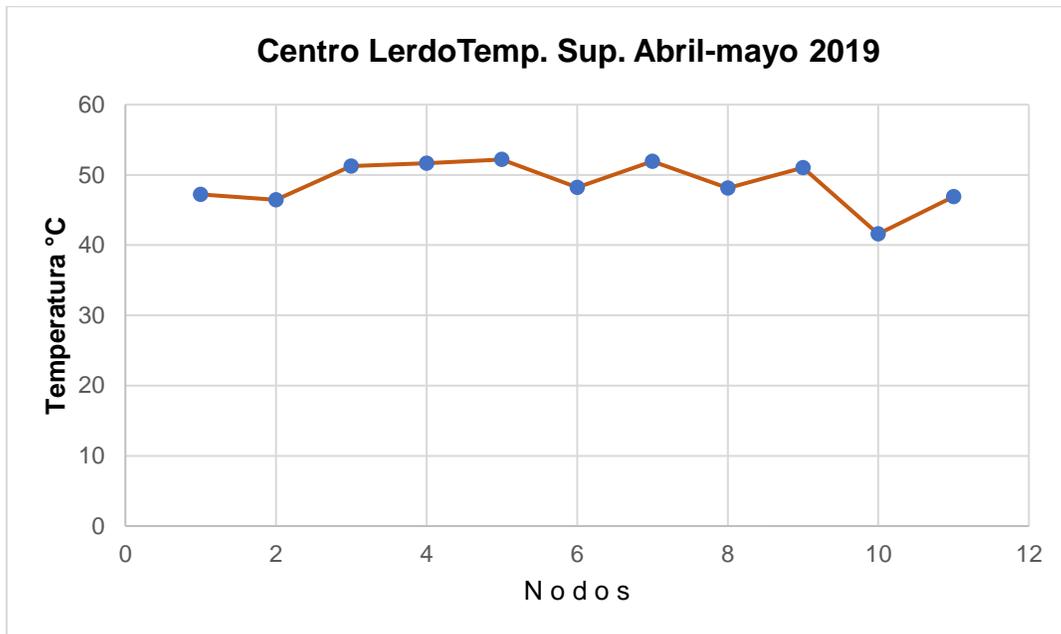


Figura 4.26. Gráfica de temperatura superficial en Centro Lerdo abril-mayo 2019.

Fuente: Del autor.

- Temperatura del aire

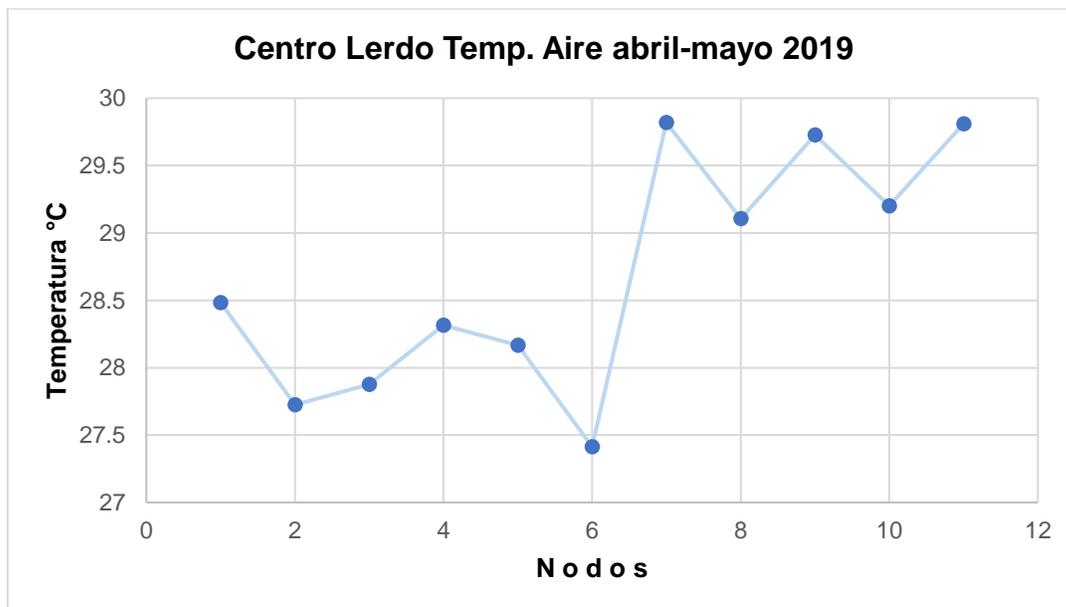


Figura 4.27. Gráfica de temperatura del aire en Centro Lerdo abril-mayo 2019.

Fuente: Del autor.

- Humedad relativa

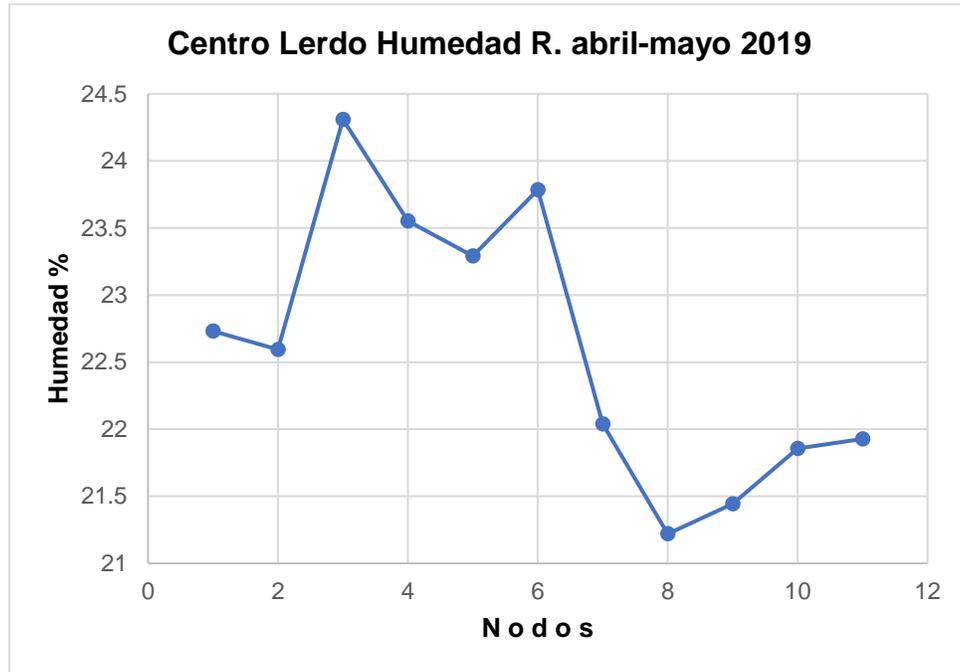


Figura 4.28. Gráfica de humedad relativa en Centro Lerdo abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

- Viento

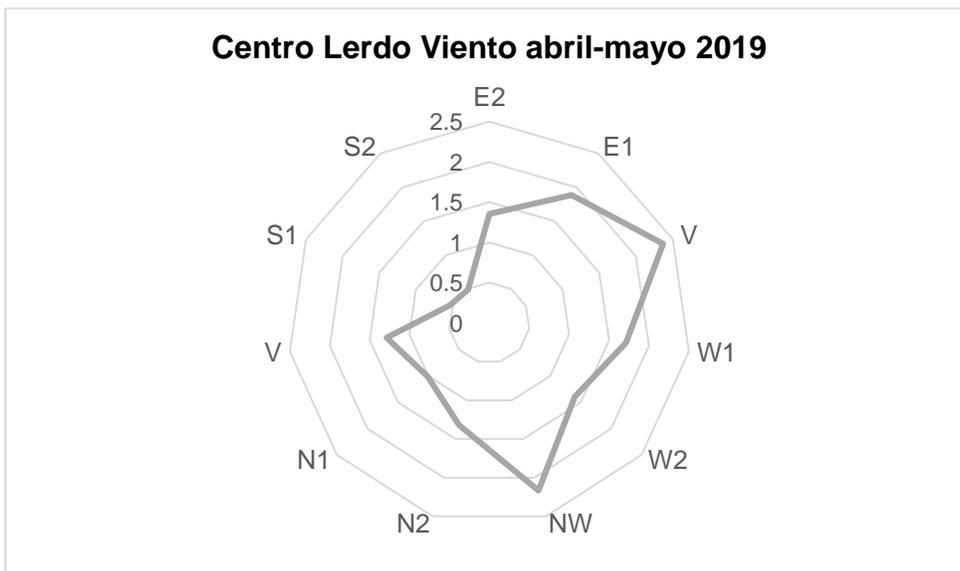


Figura 4.29. Gráfica de viento en Centro Lerdo abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

4.3.3. Travesías octubre-noviembre 2019

+ Buenavista Zinacantepec

- Temperatura superficial

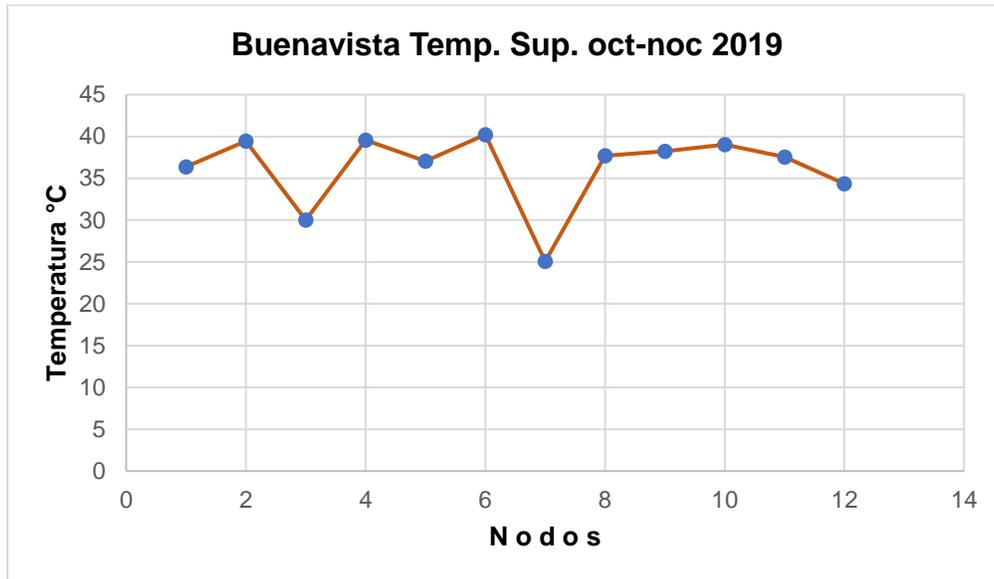


Figura 4.30. Gráfica de temperatura superficial Buenavista 2019.
Fuente: Del autor.

- Temperatura del aire

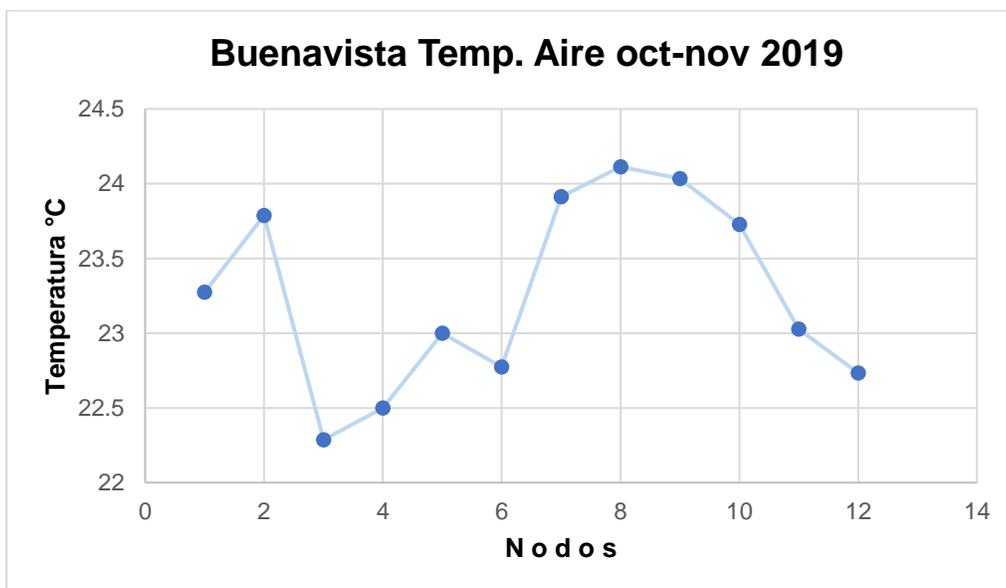


Figura 4.31. Gráfica de temperatura del aire en Buenavista oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

- Humedad relativa

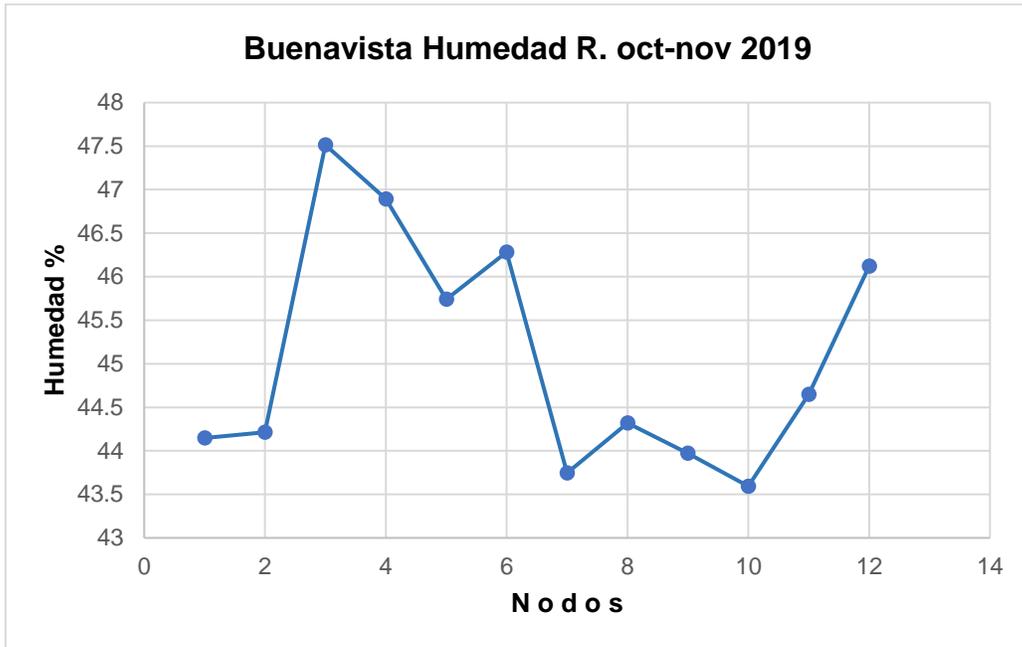


Figura 4.32. Gráfica de Humedad Relativa oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

- Viento

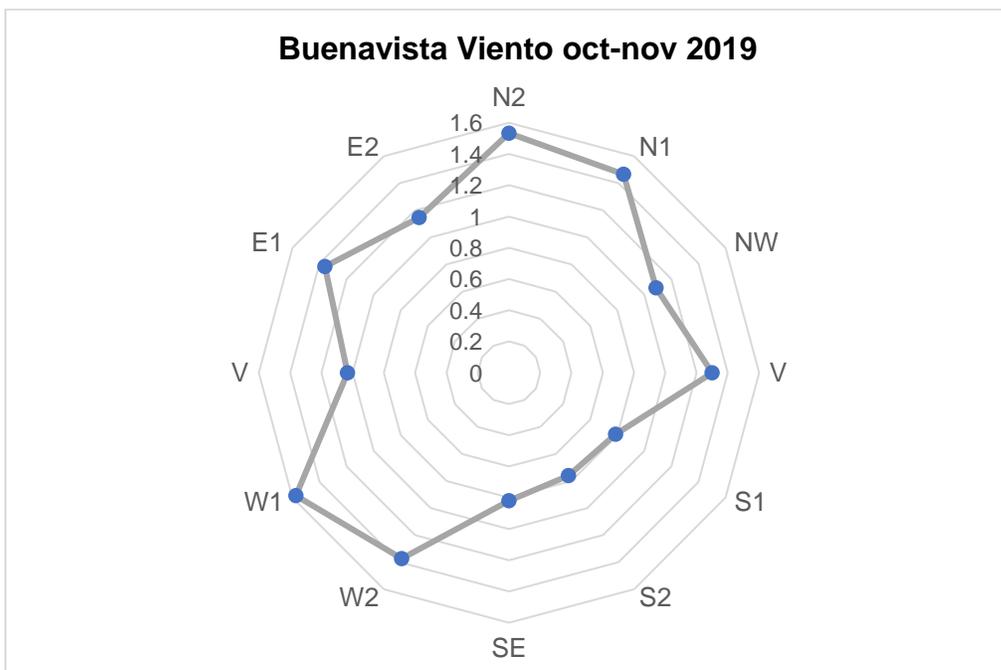


Figura 4.33. Gráfica de viento en Buenavista oct-nov2019.
Fuente: Del autor.

+ Pino Suárez

- Temperatura superficial

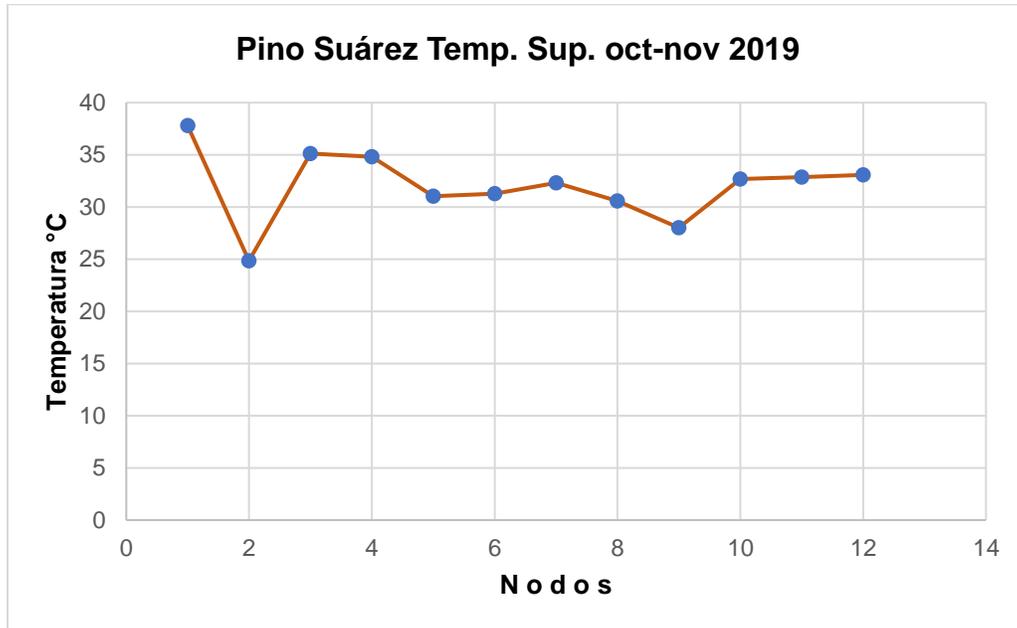


Figura 4.34. Gráfica de temperatura superficial en Pino Suárez 2019.

Fuente: Del autor.

- Temperatura del aire

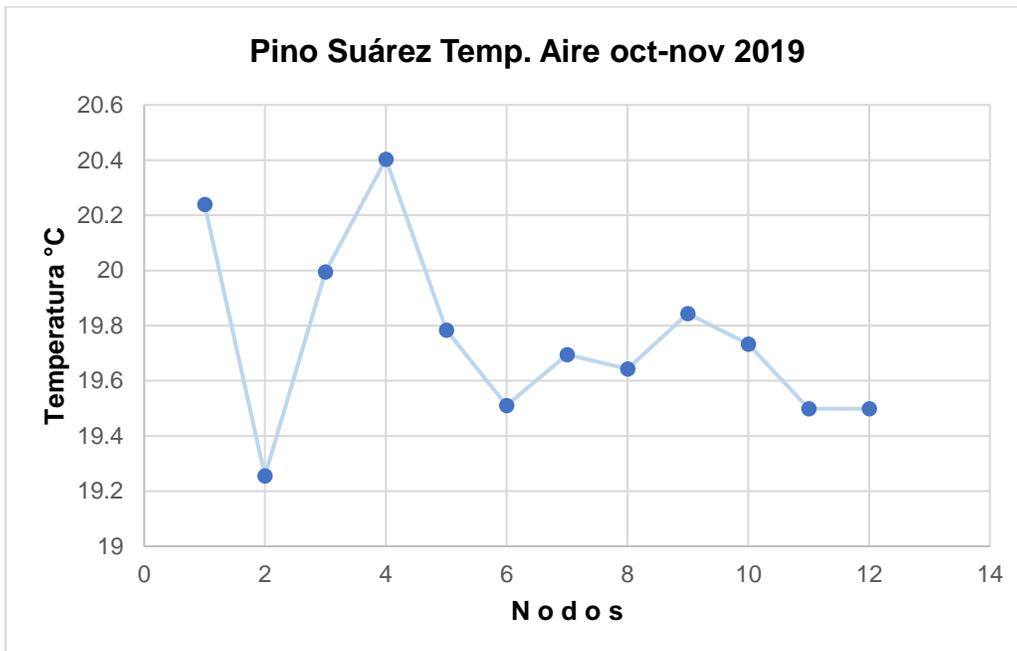


Figura 4.35. Gráfica de temperatura del aire en Pino Suárez oct-nov 2019.

Fuente: Del autor.

- Humedad relativa

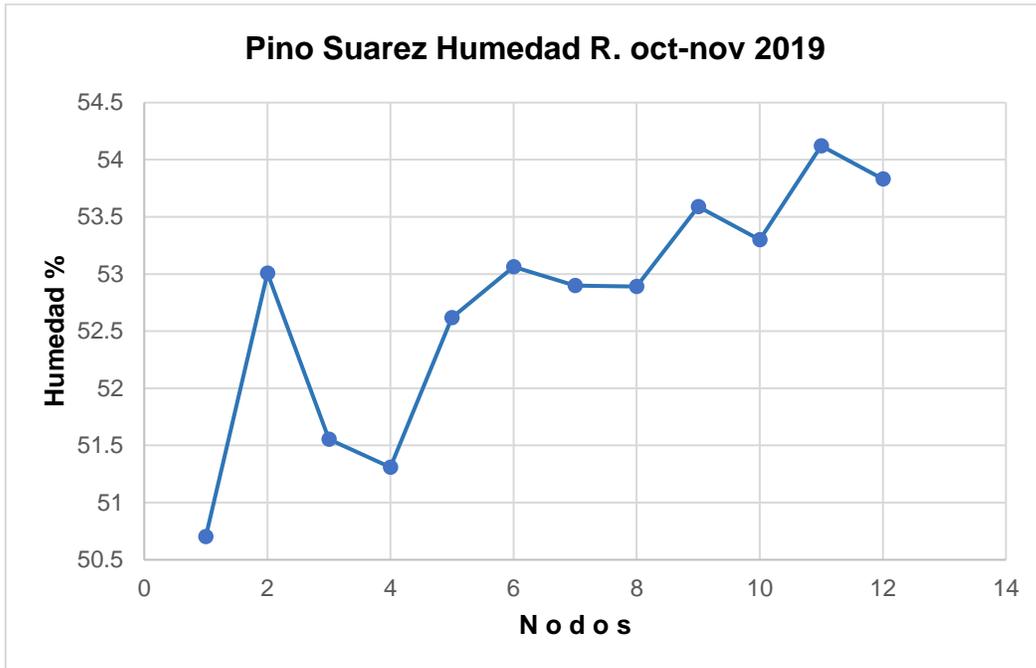


Figura 4.36. Gráfica de Humedad Relativa oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

- Viento

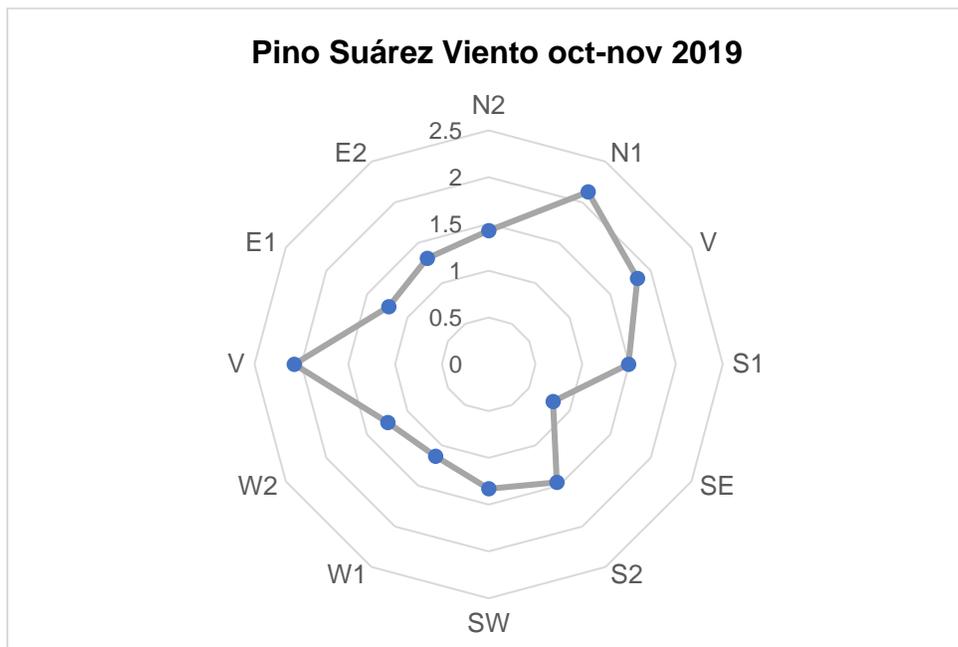


Figura 4.37. Gráfica de Viento en Pino Suárez oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

+ Centro Lerdo

- Temperatura superficial

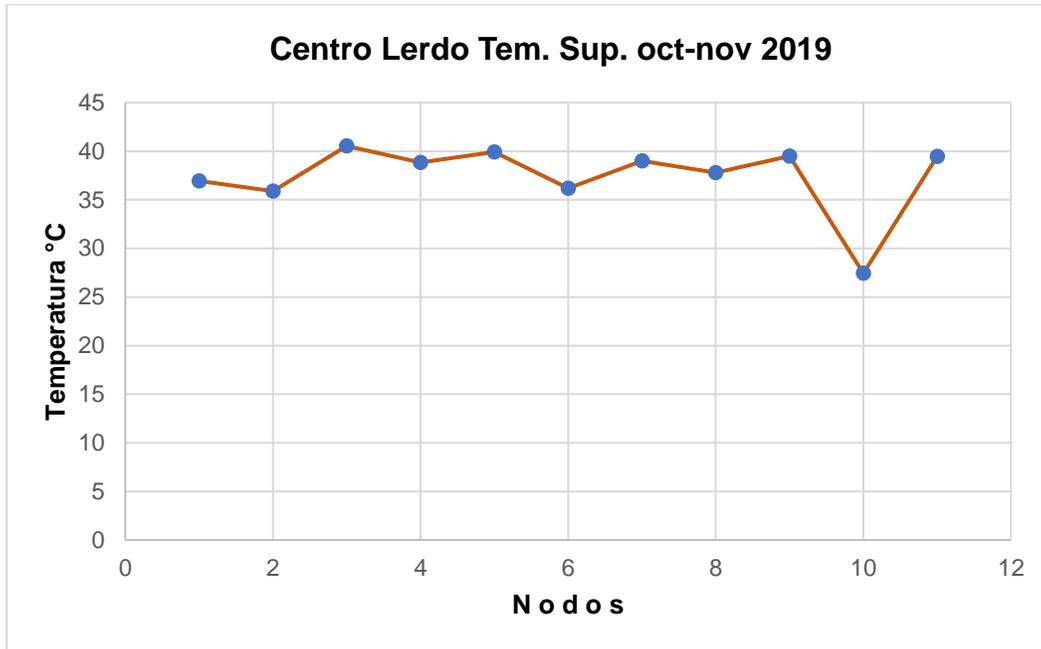


Figura 4.38. Gráfica de temperatura superficial en Centro Lerdo oct-nov. 2019.
Fuente: Del autor.

- Temperatura del aire

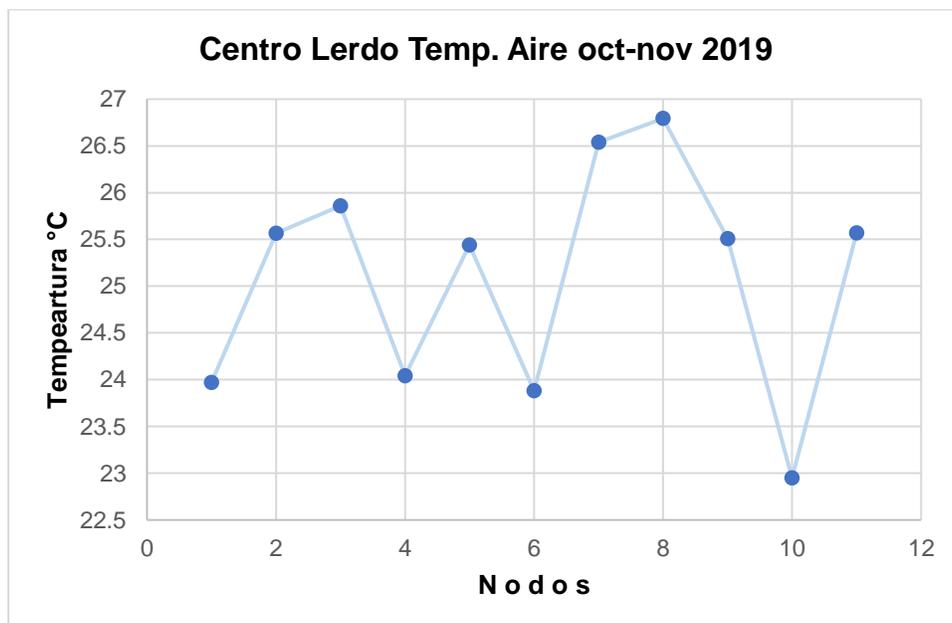


Figura 4.39. Gráfica de temperatura del aire en Centro Lerdo oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

- Humedad relativa

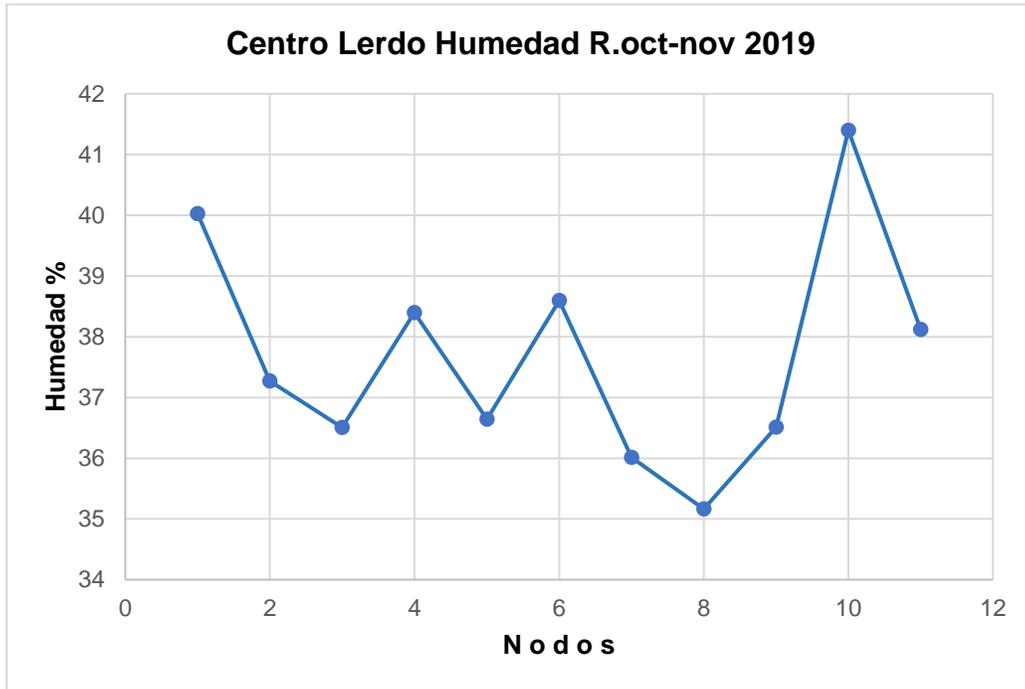


Figura 4.40. Gráfica de Humedad Relativa en Centro Lerdo oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

- Viento

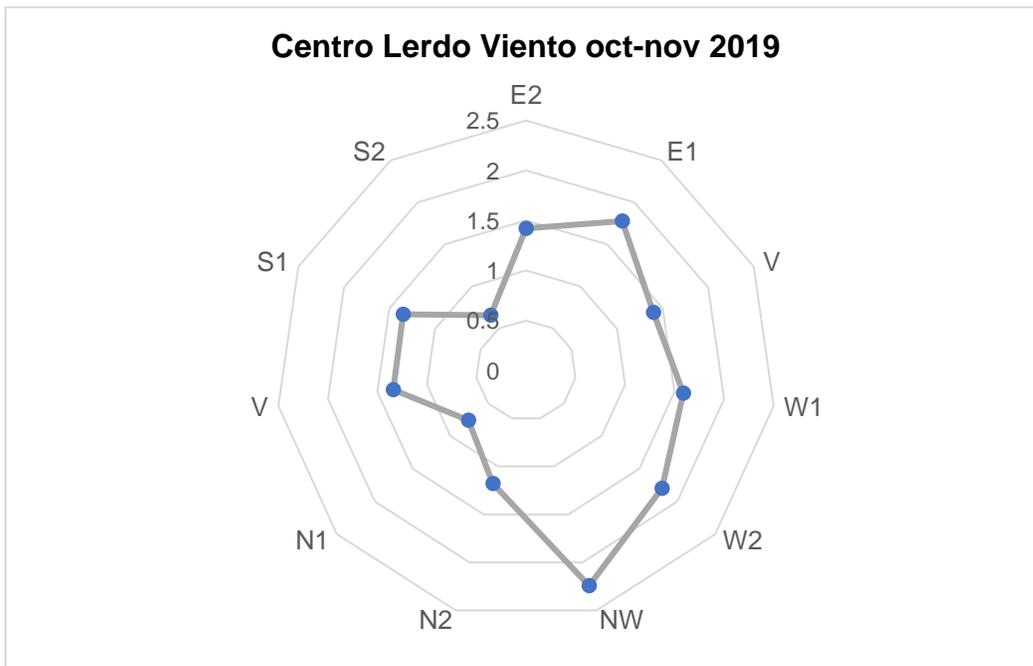


Figura 4.41. Gráfica de viento en Centro Lerdo oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

4.3.4. Interpretación de datos de travesías

Una vez graficados los datos recabados en las travesías de todos los nodos de las tres estaciones en sus diferentes sus temporalidades, se hace un cruce de datos de campo para su interpretación, de lo cual resultan doce graficas de concentración, una por cada variable donde se concentran los resultados de cada temporalidad y de cada estación, resultando: (figuras de la 4.42 a la 4.53)

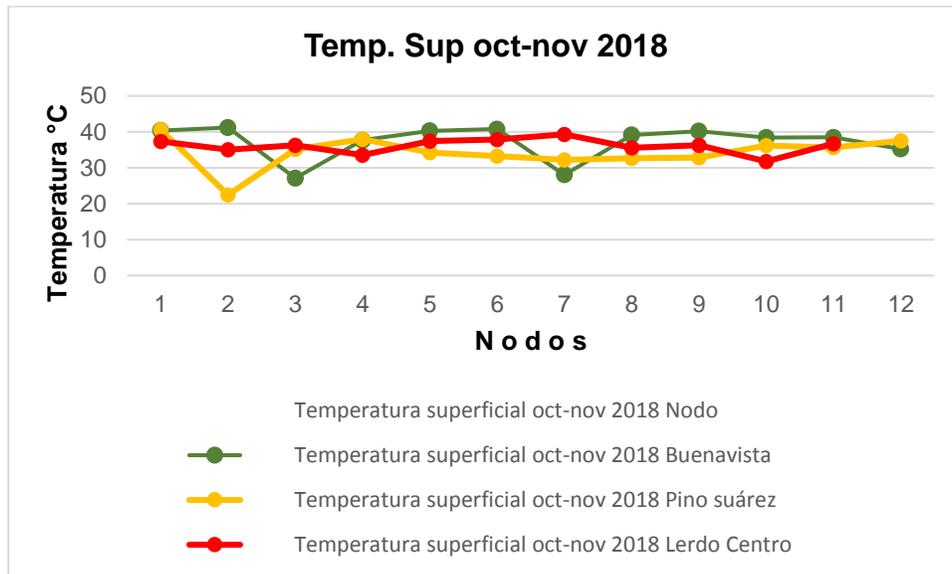


Figura 4.42 Gráfica de concentración de temperatura superficial oct-nov 2018.
Fuente: Del autor.

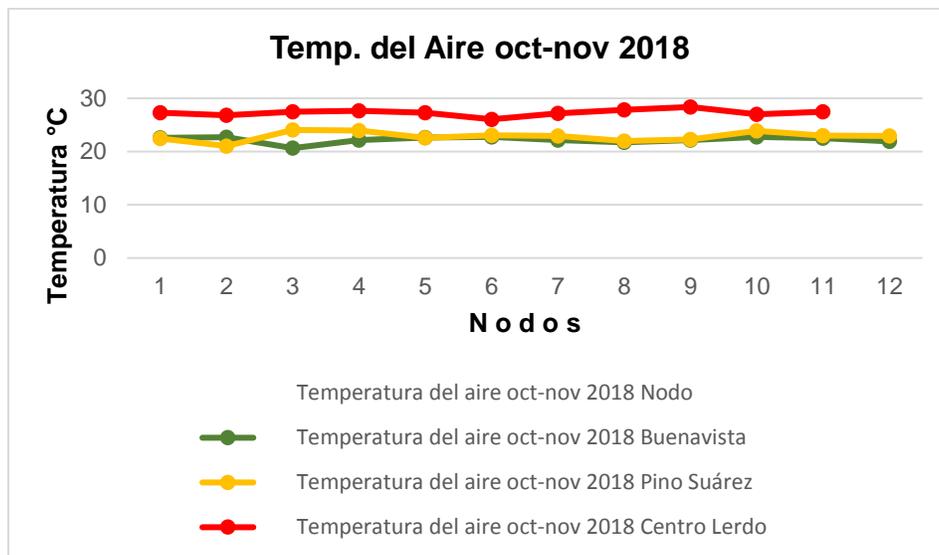


Figura 4.43. Gráfica de concentración Temperatura del aire oct-nov 2018.
Fuente: Del autor.

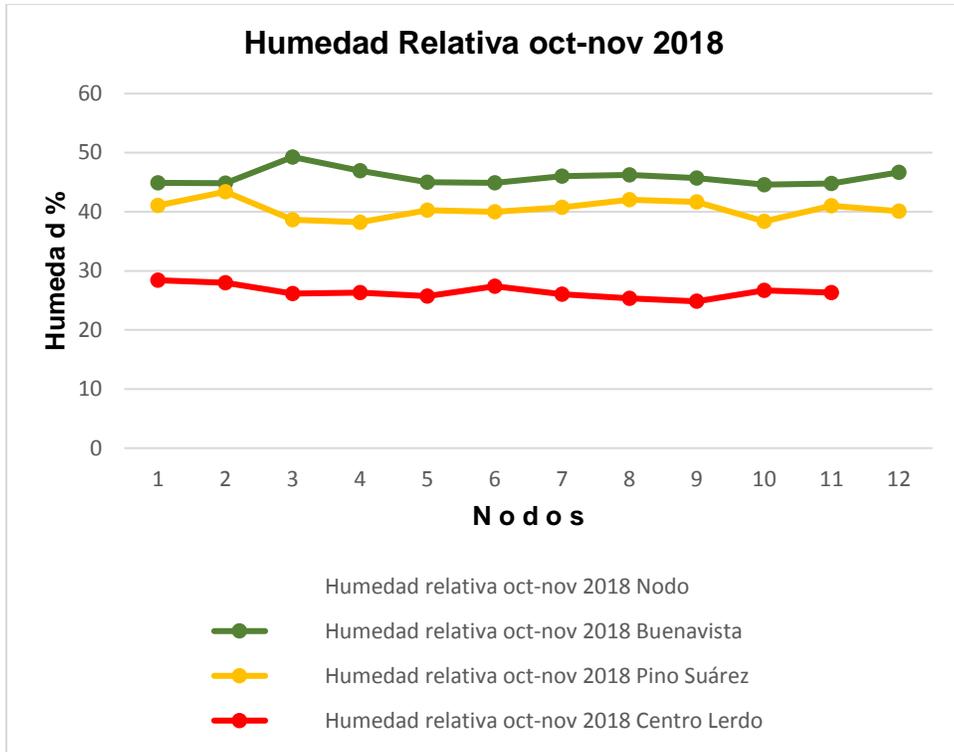


Figura 4.44. Gráfica de concentración de humedad relativa oct-nov 2018.
Fuente: Del autor.

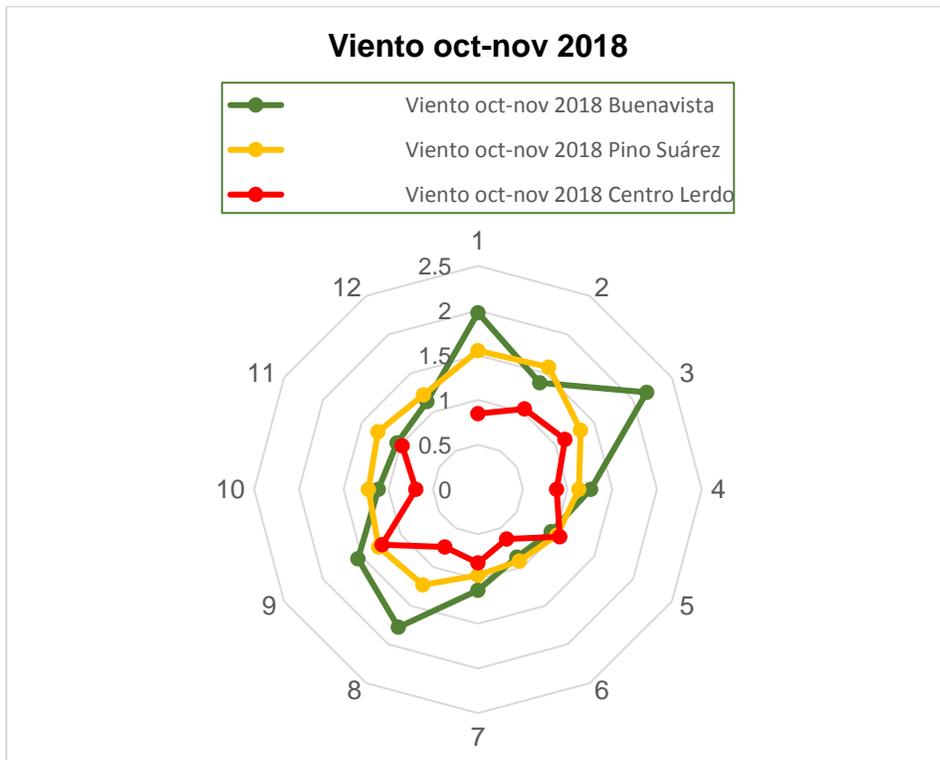


Figura 4.45. Gráfica de concentración de viento oct-nov 2018.
Fuente: Del autor.

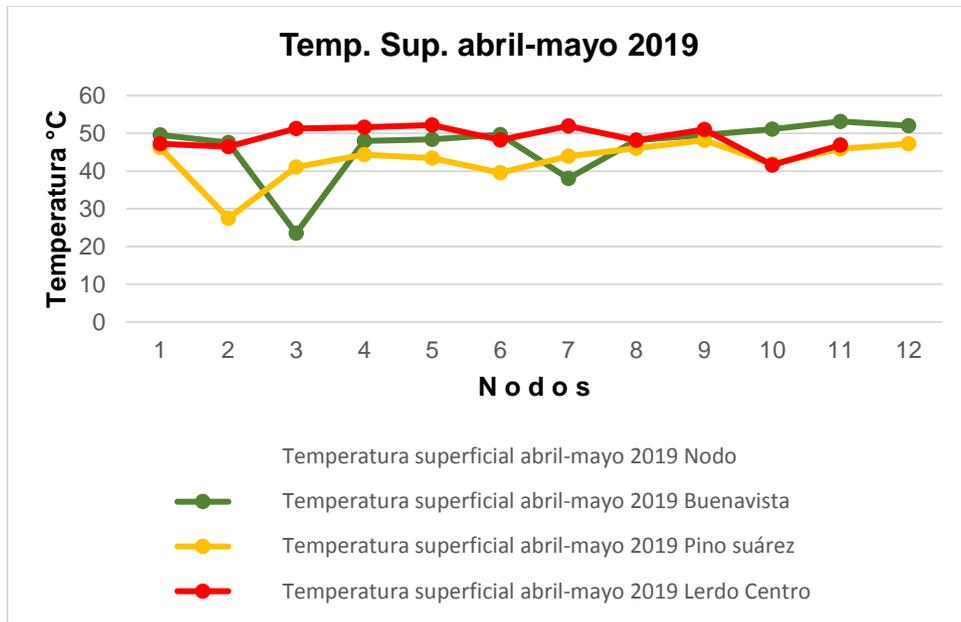


Figura 4.46. Gráfica de concentración de Temperatura superficial abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

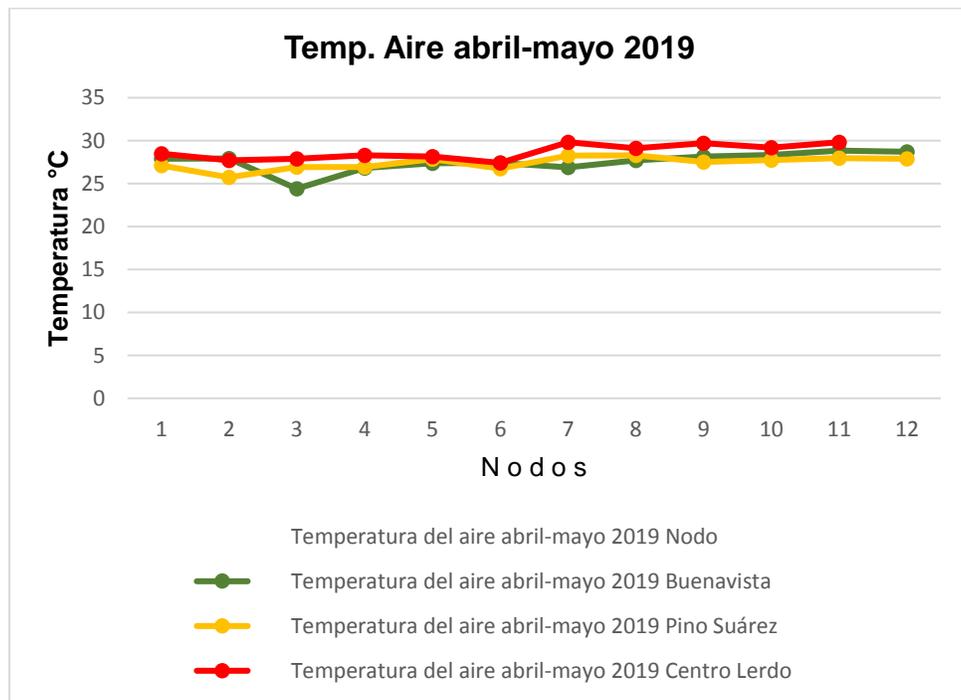


Figura 4.47. Gráfica de concentración temperatura del aire abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

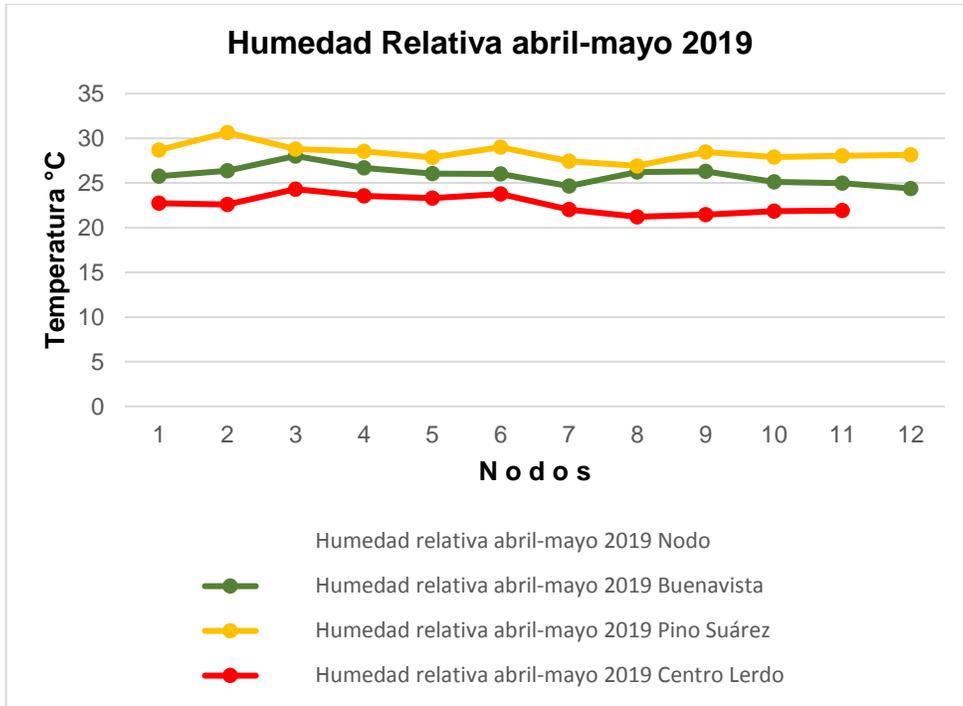


Figura 4.48 Gráfica de concentración de humedad relativa abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

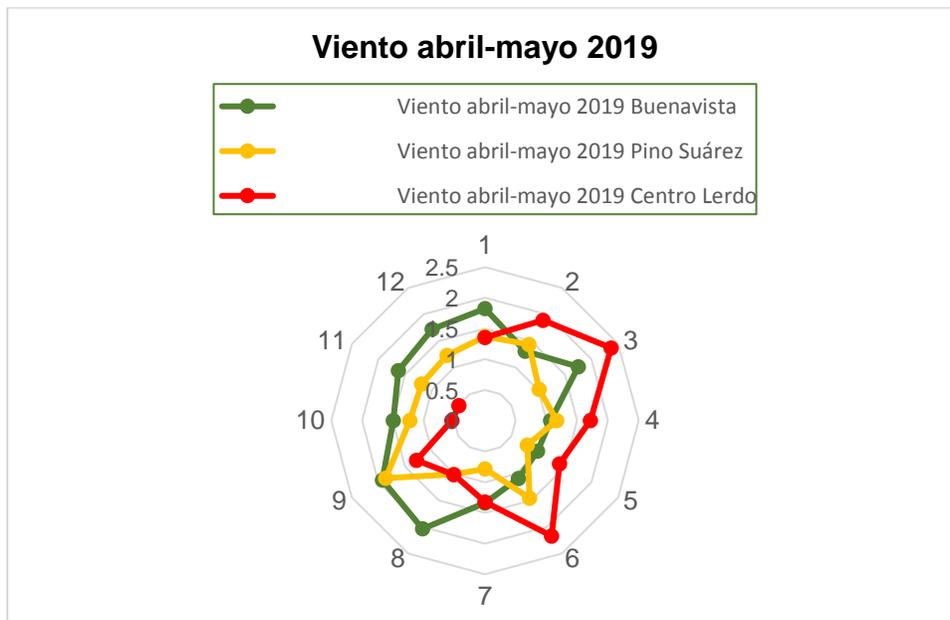


Figura 4.49. Gráfica de concentración viento abril-mayo 2019.
Fuente: Del autor.

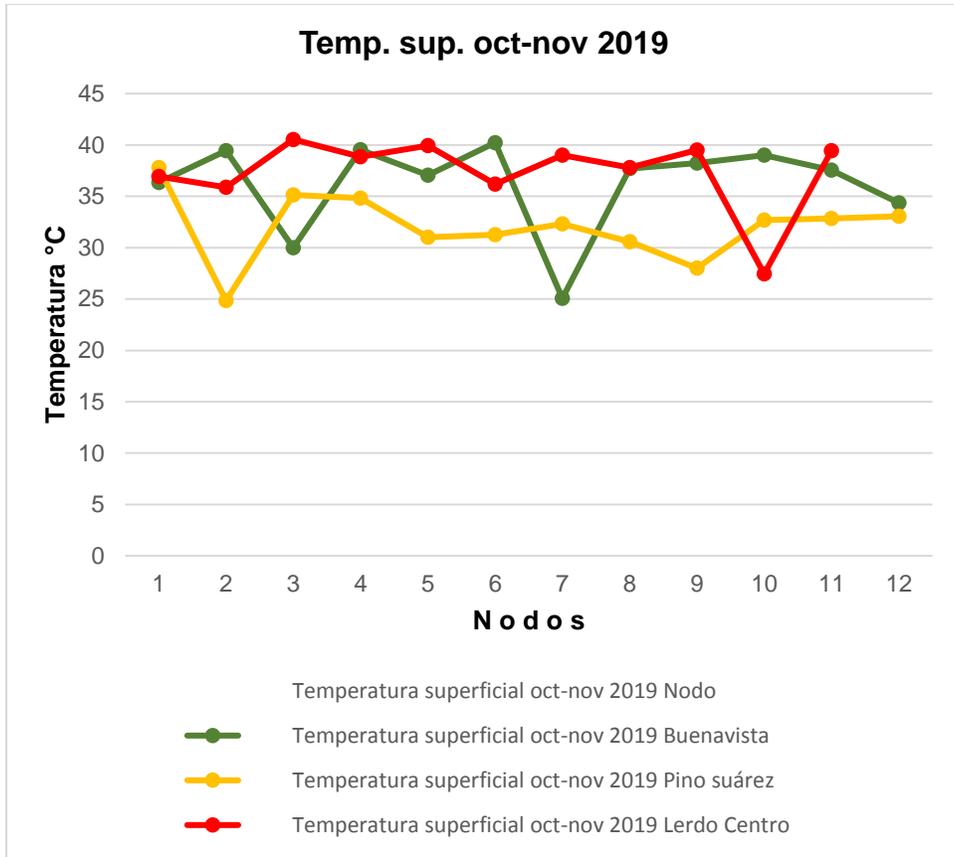


Figura 4.50. Gráfica de concentración de temperatura superficial oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

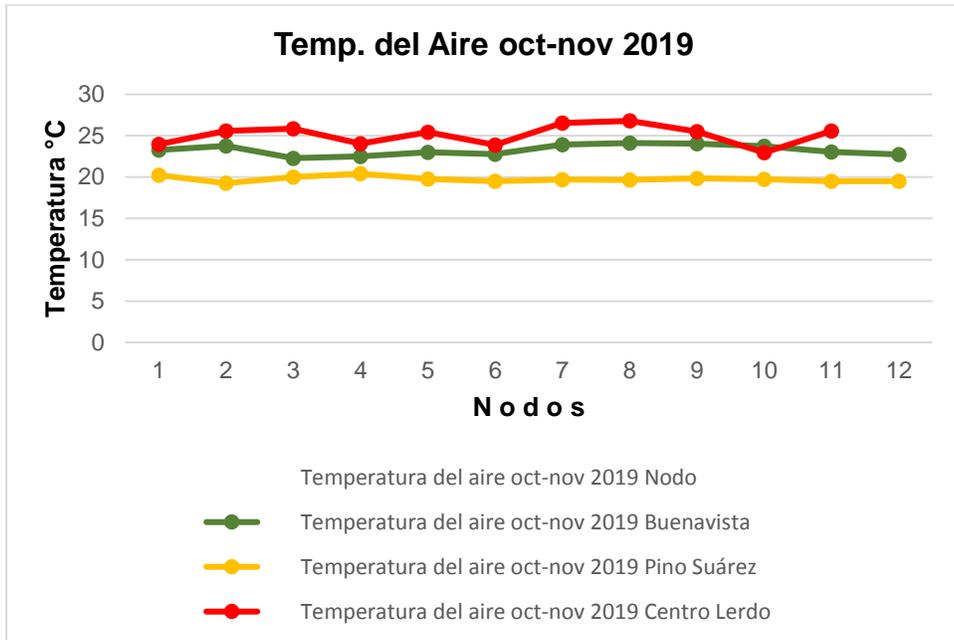


Figura 4.51. Gráfica de concentración de temperatura del aire oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

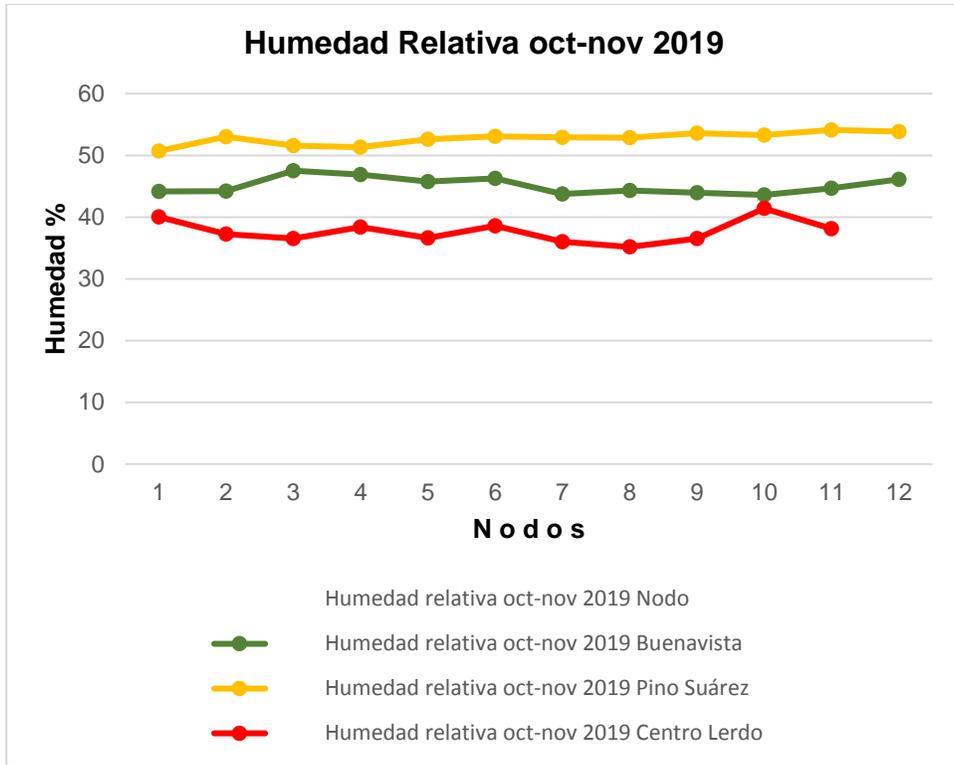


Figura 4.52. Gráfica de concentración de Humedad relativa oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

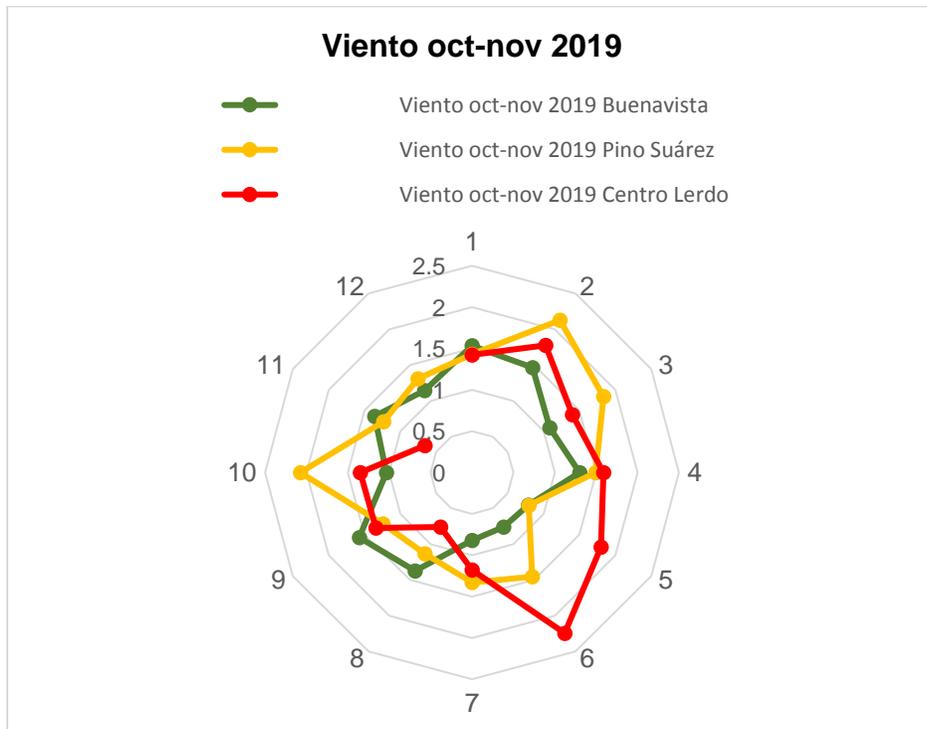


Figura 4.53. Gráfica de concentración de viento oct-nov 2019.
Fuente: Del autor.

Cuadros de análisis

- Temperatura superficial. Para octubre noviembre de 2018 en Buenavista la temperatura mínima registrada fue de 27.11°C en el nodo NW (3) mientras que la máxima 40.78 °C fue en el nodo S2 (6) con una diferencia de 13.67 °C, para Pino Suárez la mínima fue de 22.44 °C mientras que la máxima fue de 40.59 °C con una diferencia de 18.15 °C y para Centro Lerdo la mínima fue de 31.77 °C en el nodo S1 (10) y la máxima 39.30 °C fue en el nodo N2 (7) con una diferencia de 7.53 °C. Para abril-mayo de 2019 en Buenavista la mínima 37.99°C en el nodo SE (7) y la máxima 53.15°C fue en el nodo E1 (11) con una diferencia de 15.16 °C, para Pino Suárez la mínima 27.49 °C en N1 (2) y la máxima 48.16 °C en el nodo W2 (9) con una diferencia de 20.67°C, mientras que para Centro Lerdo la mínima 41.58 en nodo S1 (10) y la máxima 52.18 °C en el nodo W2 (5) con una diferencia de 10.6 °C. Para octubre-noviembre de 2019 en Buenavista la mínima 25.06 °C en el nodo SW (7) y la máxima 40.22 en el nodo S2 (6) con una diferencia de 15.16 °C, para Pino Suárez la mínima 24.85 °C en N1 (2) y la máxima 37.78 °C en N2 (1) con una diferencia de 12.93°C y para Centro Lerdo la mínima 27.44 °C en el nodo S1 (10) y la máxima en el nodo 40.53 °C en Vértice (3) con una diferencia de 13.09 °C. (figuras 4.54, 4.55 y 4.56).

Temperatura superficial octubre-noviembre 2018								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
27.11	40.78	13.67	22.44	40.59	18.15	31.77	39.33	7.53

Figura 4.54. Cuadro de diferencias de temperatura superficial oct-nov 2018.

Fuente: Del autor.

Temperatura superficial abril-mayo 2019 2018								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
37.99	53.15	15.16	27.49	48.16	20.67	41.58	52.18	10.6

Figura 4.55. Cuadro de diferencia de temperatura superficial abril-mayo 2019.

Fuente: Del autor.

Temperatura superficial octubre-noviembre 2019								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
25.06	40.22	15.16	24.85	37.78	12.93	27.44	40.53	13.09

Figura 4.56. Cuadro de diferencias de temperatura superficial oct-nov 2019.

Fuente: Del autor.

Conclusión de temperatura superficial en las travesías

Como se puede apreciar en los tres cuadros de diferencias arriba señalados, existe diferencia entre los promedios de temperatura superficial en las tres estaciones y en las tres temporalidades, siendo la diferencia más significativa la de 20.67 °C registrada en abril-mayo de 2019 en Pino Suárez y la menos significativa de 7.53 °C medida en Centro Lerdo en octubre-noviembre de 2018, por cierto, coincidente en cantidad aunque de diferentes registros, los 15.16°C registrados en Buenavista en abril-mayo de 2019 y de octubre-noviembre del mismo año, pura casualidad.

- Temperatura del aire. Ilustrado en las siguientes tres tablas, la temperatura del aire en octubre-noviembre de 2018, para Buenavista la mínima 20.64 °C en el nodo NW (3) y la máxima 22.74 °C en el nodo E1 (10) con una diferencia de 2.10 °C, para Pino Suárez la mínima de 21.04 °C en N1 (2) y la máxima 24.05 °C en vértice (3) con diferencia de 3.01 °C, para Centro Lerdo la mínima 26.06 en nodo NW (6) y la máxima 28.37 °C en nodo vértice (9) con una diferencia de 2.31 °C. Para abril-mayo 2019 en Buenavista la mínima fue de 24.40 °C en nodo NW (3) y la máxima 28.84 °C en S1 (11) con una diferencia de 4.44 °C, para Pino Suárez la mínima 25.73 °C en nodo N1 (2) y la máxima 28.29 °C en nodo W2 (8) con una diferencia de 3.56 °C y para Centro-Lerdo la mínima 27.41 en nodo NW (6) y la máxima 29.82 °C en nodo S1 (11) con una diferencia de 2.41 °C. Para octubre-noviembre 2019 en Buenavista la mínima 22.5 °C en vértice (4) y la máxima 24.11 °C en nodo W2 (8) con una diferencia de 1.83 °C, para Pino Suárez la mínima 19.24 °C en N1 (2) y la máxima 20.40 °C en S1 (4) con una diferencia de 1.15 °C, y para Centro Lerdo la mínima 22.95 °C en S1 (10) y la máxima 26.79 °C en N1 (8) con diferencia de 3.84.

Conclusión de temperatura del aire en travesías

Aquí es donde aplica la fórmula mencionada en el artículo 3.5.2 del caso 2 mencionado en la página 79 de este documento donde, para definir la intensidad de UHI, se utiliza la fórmula $\Delta t = Tu - Tr$ donde:

Δt es la intensidad la UHI

$Tu =$ Temperatura urbana y $Tr =$ Temperatura rural, suprimiendo tenemos:

En octubre-noviembre de 2018: $2.31 - 2.1 = 0.21$ intensidad de UHI

En abril-mayo de 2019: $2.41 - 4.44 = 2.03$ mayor intensidad de UHI rural

En octubre-noviembre de 2019: $3.84 - 1.83 = 2.01$ intensidad de UHI (figuras 4.57, 4.58 y 4.59).

Temperatura del aire octubre-noviembre 2018								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
20.64	22.74	2.1	21.04	24.05	3.01	26.06	28.37	2.31

Figura 4.57. Cuadro de diferencia de temperatura del aire octubre-noviembre 2018.

Fuente: Del autor.

Temperatura del aire abril-mayo 2019 2018								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
24.4	28.84	4.44	25.73	28.29	3.56	27.41	29.82	2.41

Figura 4.58. Cuadro de diferencia de temperatura del aire abril-mayo de 2019.

Fuente: Del autor.

Temperatura del aire octubre-noviembre 2019								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
22.28	24.11	1.83	19.25	20.4	1.15	22.95	26.79	3.84

Figura 4.59. Cuadro de diferencia de temperatura del aire oct-nov 2019.

Fuente: Del autor.

- Humedad relativa. Respecto a las diferencias de humedad relativa en todos los nodos de los tres puntos de estudio en todas las temporalidades, tenemos que,

según las figuras 4.60, 4.61 y 4.62, la humedad en Buenavista en abril-mayo de 2019 se elevó con respecto de octubre-noviembre de 2018, pero volvió a decrementarse en octubre-noviembre de 2019, con una diferencia de 0.75% entre ambos años en la misma temporada. Para Pino Suárez fue diferente el comportamiento, pues en octubre-noviembre de 2018 fue un porcentaje alto que disminuyó en abril-mayo de 2019 y casi de igual forma se comportó para fin de año. En Centro Lerdo, el comportamiento fue inverso a Pino Suárez, en octubre-noviembre de 2018 fue porcentaje bajo, así como en abril-mayo de 2019, pero se disparó en octubre-noviembre de 2019.

Conclusiones de humedad relativa en travesías

Si bien el comportamiento de los tres puntos de estudio es diferente, las mayores diferencias de porcentaje se dan en Buenavista, por tenerla calidad de “punto semiurbano” y estar ubicado en el sitio con mayor cantidad de vegetación y suelo desnudo de los tres, así como la menor densidad de construcción, a excepción de octubre-noviembre de 2019 en Centro Lerdo, donde definitivamente se incrementó el porcentaje (figuras 4.60, 4.61 y 4.62).

Humedad Relativa octubre-noviembre 2018								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
44.6	49.27	4.67	38.23	43.39	5.16	24.83	28.41	3.58

Figura 4.60. Cuadro de diferencia de humedad oct-nov 2018.

Fuente: Del autor.

Humedad Relativa abril-mayo 2019 2018								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
24.39	30.64	6.25	26.91	30.64	3.73	21.21	24.31	3.1

Figura 4.61. Cuadro de diferencias de humedad abril-mayo 2019.

Fuente: Del autor.

Humedad Relativa octubre-noviembre 2019								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
43.59	47.51	3.92	50.7	54.12	3.42	35.16	41.4	5.24

Figura 4.62. Cuadro de diferencias de humedad oct-nov 2019.

Fuente: Del autor.

- Viento. Las diferencias del viento se resumen en las figuras 4.63, 4.64 y 4.65. Si bien es cierto que los tres son espacios abiertos, en ninguno registró velocidades superiores 5 m/segundo, solo ocasionalmente durante los registros llegó a superar alguna medición ese rango, también es cierto que los tres lugares están a cielo abierto, pero tienen elementos determinantes en la lectura, por ejemplo: En Buenavista existe el parque Alameda 2000 al sureste del punto de estudio, el cual está plagado de plantas, árboles, suelo desnudo y cuerpos de agua, lo que le proporciona frescura y circulación constate de corrientes de aire. Suárez tiene ciertas ventajas respecto a las otras dos estaciones, una es que los paramentos de Vialidad Solidaridad Las Torres están distantes de 70 a 90 metros entre sí, lo que da una perspectiva de amplio corredor o túnel por donde corre el viento, otra es que se ubica precisamente donde llegan los vientos dominantes de la ciudad de Toluca provenientes del SE paralelos a la Vialidad Pino Suárez y una última es que no existe gran densidad de construcción ni edificios altos. En Centro Lerdo es un tanto problemático, pues aparte de tener alta densidad de construcción y edificios altos, las avenidas forman angostos cañones de aire.

Conclusiones de Viento en travesías

Aún a pesar de lo último señalado, Centro Lerdo tiene una buena diferencia de velocidad en sus vientos, solo que dependen de ráfagas espontáneas en la misma dirección vehicular, este-oeste que disipen el calor acumulado por los vehículos estacionados así como las partículas suspendidas, se espera mejorar de manera sustancial con el nuevo proyecto de naturalización del centro de la ciudad por el Gobierno Estatal, así como una vez inaugurado el sistema del Tren Interurbano, observar el comportamiento de las variables consideradas para este estudio, tanto en la primera estación de abordaje Pino

Suarez que será la más saturada así como en la de llegada y encierro, Buenavista. (figuras 4.63, 4.64 y 4.65).

Viento octubre-noviembre 2018								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
0.871	2.176	1.305	0.922	1.578	0.656	0.638	1.237	0.599

Figura 4.63. Cuadro de diferencias de viento oct-nov 2018.

Fuente: Del autor.

Viento abril-mayo 2019								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
0.988	2.03	1.042	0.787	1.865	1.078	0.491	2.37	1.879

Figura 4.64. Cuadro de diferencias de viento abril-mayo de 2019.

Fuente: Del autor.

Viento octubre-noviembre 2019								
Buenavista			Pino Suárez			Centro Lerdo		
Min.	Max.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia	Min.	Máx.	Diferencia
0.76	1.573	0.813	0.793	2.126	1.333	0.655	2.243	1.588

Figura 4.65. Cuadro de diferencias de viento oct-nov 2019.

Fuente: Del autor.

4.4. Datos de RAMA (Red Automática de monitoreo Atmosférico)

La RAMA , dependencia de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México, tuvo a bien apoyarnos para este trabajo doctoral con datos de sus tres de siete estaciones climáticas, cercanas a los puntos de estudio de esta tesis, estando ubicados en:

- Oxtotitlán. Sobre calle Lago Caimanero, al interior de la Escuela Primaria Carmen Serdán, cercana a Buenavista.
- Ceboruco. Sobre la calle Ceboruco esquina con Heriberto Enríquez, al interior de la Escuela preparatoria José María Garibay Kintana, cercana a Pino Suárez.
- Centro. Sobre la calle Mariano Matamoros, al exterior del Gimnasio Adolfo López Mateos, cercana a Centro Lerdo.

Las temporalidades de los datos obtenidos son:

- Octubre-noviembre 2018
- Junio-julio-agosto 2019
- Octubre 2019

En cada archivo de Word recabado en esta dependencia, se proporcionaron los datos de las 24 horas del día, registrados cada hora, para efectos de nuestro estudio se tomaron los datos de las 11:00 a las 16:00 horas para su concordancia con el horario y fecha de toma de datos de campo, para su correlación temporal y horaria.

Es de hacer notar que la RAMA no registra datos de temperatura superficial, ya que los registrados son, como ya se especificó en la descripción de los sitios, tomados por sensores instalados fijamente en las estaciones y alimentan automáticamente el *software* de oficina central, ubicada en calle *Urawa*, atrás del Centro de servicios Administrativos, por lo que se obtuvo solo datos de tres de las cuatro variables de estudio de este trabajo doctoral, que son temperatura del aire, humedad relativa y dirección y velocidad del viento. Para cruzar la información de todos los datos registrados por la RAMA, se requieren cerca de 972 gráficas extras (12 travesías de octubre y noviembre X 3 variables X 3 estaciones X 3 temporalidades), por lo que concentraremos el espacio de este subcapítulo en comparar los datos de octubre de 2018 y 2019 en el punto de estudio principal de este trabajo, Ceboruco (Pino Suarez) y ver su comportamiento en las figuras de la 4.66 a la 4.68.

- Temperatura del aire promedio 2018

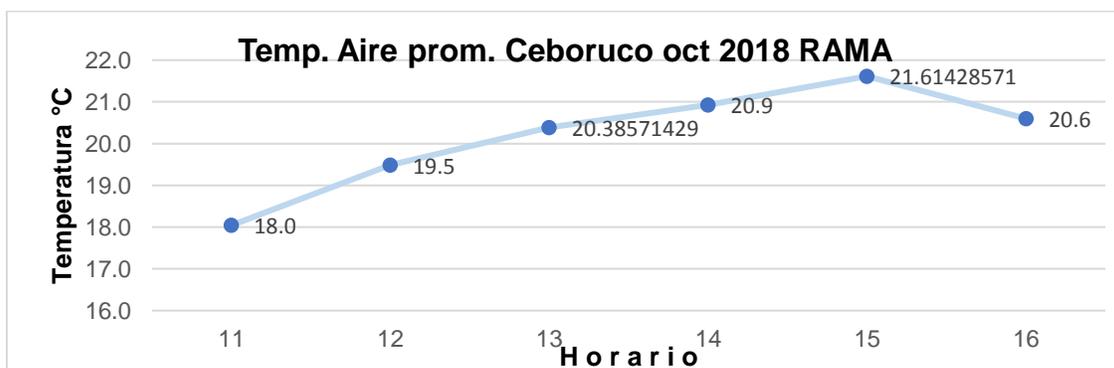


Figura 4.66. Gráfica de temperatura del aire promedio 2018.

Fuente: Del autor.

- Temperatura del aire promedio 2019

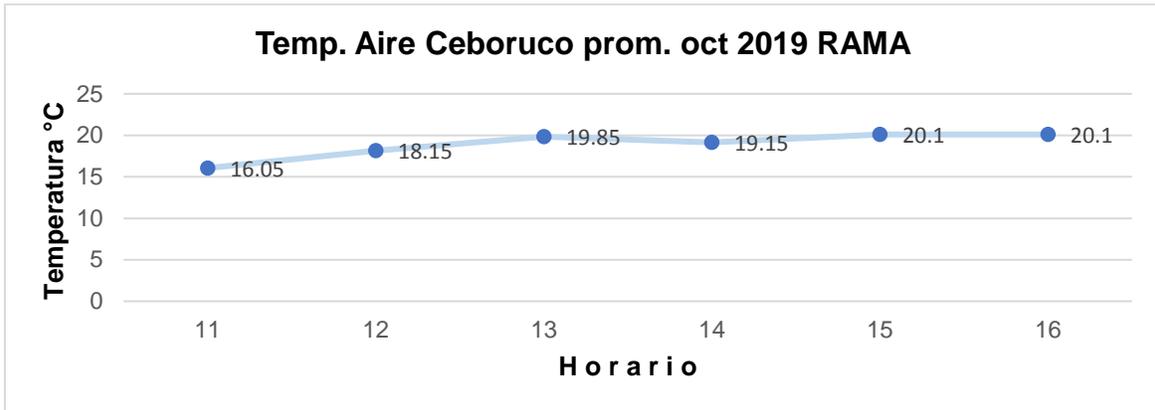


Figura 4.67. Gráfica de temperatura del aire promedio 2019.

Fuente: Del autor.

- Temperatura del aire comparativa 2018-2019

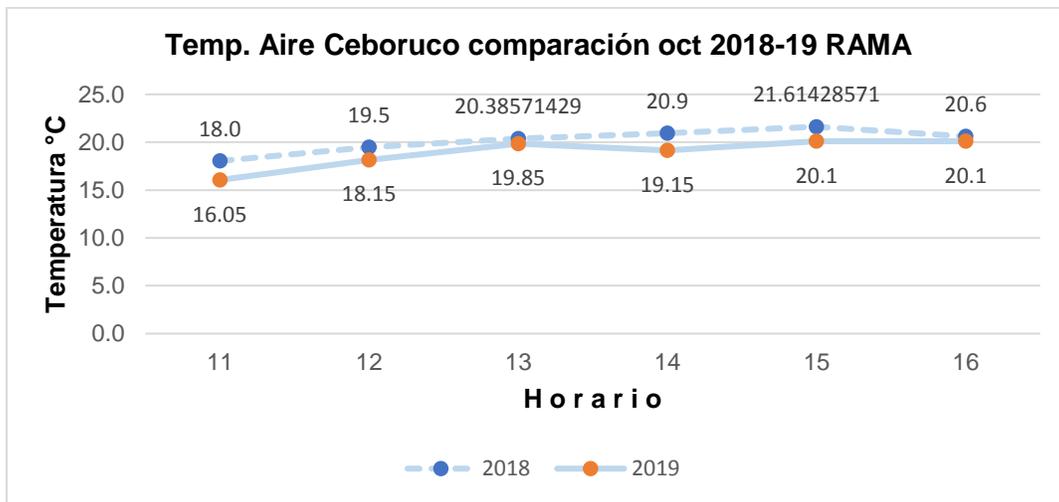


Figura 4.68. Gráfica de temperatura del aire comparativa 2018-2019.

Fuente: Del autor.

Conclusiones de temperatura superficial en datos RAMA.

Como se observa en las figuras 4.66, 4.67 y 4.68, la temperatura del aire tuvo una reducción en el lapso de un año, de octubre de 2018 a octubre de 2019, tanto en su temperatura mínima como en la máxima, pues mientras que en la primera registró 18.0 °C como mínima y 20.6 °C como máxima en 2018, con una diferencia de 2.6 °C, para la segunda registró 16.5 °C como mínima y 20.1 °C como máxima, con diferencia de 3.6 °C. Esto puede obedecer a varios factores atípicos, entre ellos que la temperatura mínima

registrada en la estación siempre fue tomada en el nodo N1 (2) el cual siempre estuvo bajo la sombra de la proyección del puente que transporta al tren interurbano, otra causa puede ser que la obra ha estado detenida desde el cambio de gobierno por lo cual no se ha generado actividad en el lugar, solo esporádicamente y en mínima parte y una tercera causa puede ser que la cantidad de precipitación caída en 2018 comparada con la de 2019 es mayor, según datos de Conagua indican una precipitación total anual para 2018 de 1,098.7 mm y de 837.6 mm para 2019 en la entidad.

Conclusiones de humedad relativa en datos RAMA

Contrariamente a los resultados de la temperatura del aire, situación un tanto lógica, la humedad relativa se incrementó de 2018 para 2019, siendo la menor del 40.4% en 2018 contra la mayor de 2019 de 53.0% con una diferencia de 12.6%, bastante significativa para ser la mínima, pero en la humedad máxima en 2018 registró 50.1% la menor en 2018 y de 67.5°% como mayor, mayor con una diferencia de 17.4% mucho más significativa que la mínima, lo que nos reafirma el decremento de la temperatura del aire registrado entre 2018 y 2019 (figuras 4.69, 4.70 y 4.71).

- Humedad relativa promedio 2018

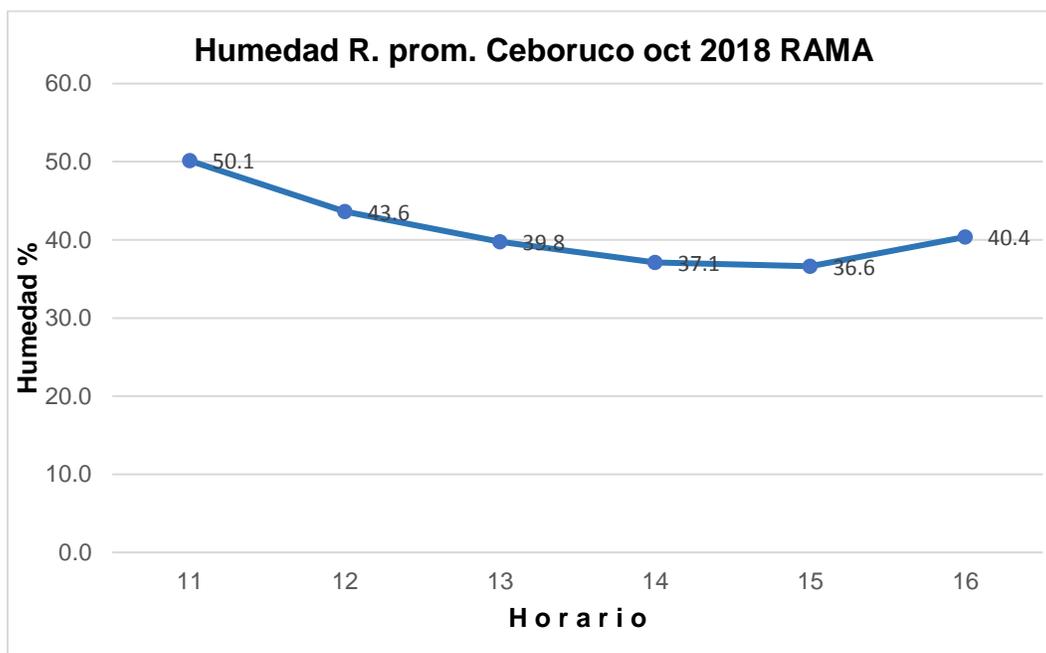


Figura 4.69. Gráfica de humedad relativa promedio 2018.

Fuente: Del autor.

- Humedad relativa promedio 2019

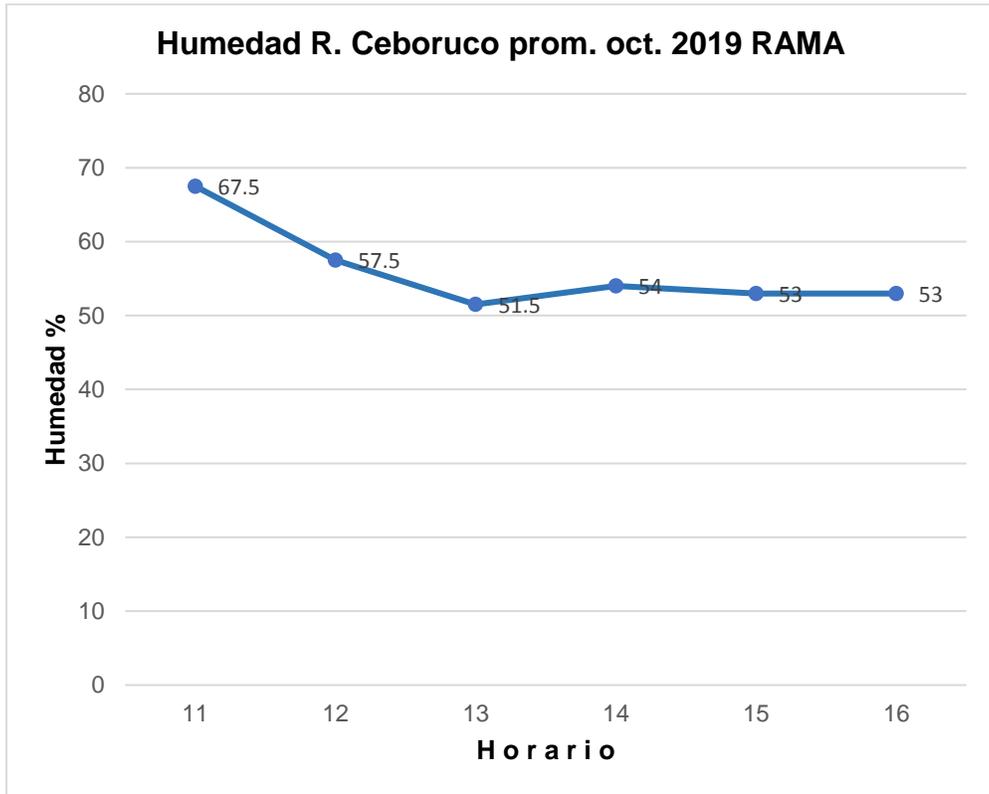


Figura 4.70. Gráfica de humedad relativa promedio 2019.
Fuente: Del autor.

- Humedad relativa comparativa 2018-2019.

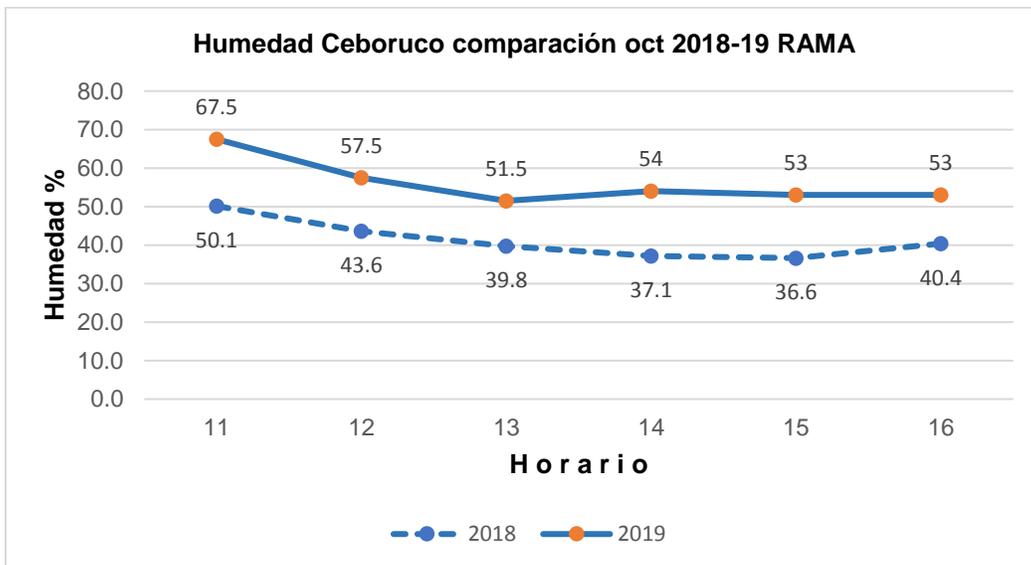


Figura 4.71. Gráfica de humedad relativa comparativa 2018-2019.
Fuente: Del autor.

Conclusiones de viento en datos RAMA

Como se observa en la figura 4.72, el viento se comportó prácticamente igual entre un año y otro, siendo las diferencias más significativas las registradas a las 11:00 y 15:00 respectivamente, midiendo 1.2 m/segundo la velocidad mínima y 1.5 m/segundo con una diferencia de solo 0.3 m/segundo para las 14: horas y de 1.35 m/segundo la velocidad mínima y de 1.6 m/segundo la máxima con una diferencia de solo 0.25 m/segundo, esto a pesar de que la dirección de los vientos dominantes para Toluca vienen del Sureste en dirección Noroeste, paralelos a la Vialidad Pino Suárez en dirección al cerro de la Teresona, sin desestimar que las mediciones fueron levantadas en octubre de ambos años, mes en que estadísticamente, es uno de los meses con menores ráfagas de viento del año, pues ocasionalmente en octubre, tanto de 2018 como de 2019 se registró alguna lectura que rebasara 2.00 o 2.5 m/segundo en los anemómetros de la RAMA (figuras 4.72, 4.73 y 4.74).

- Viento promedio 2018

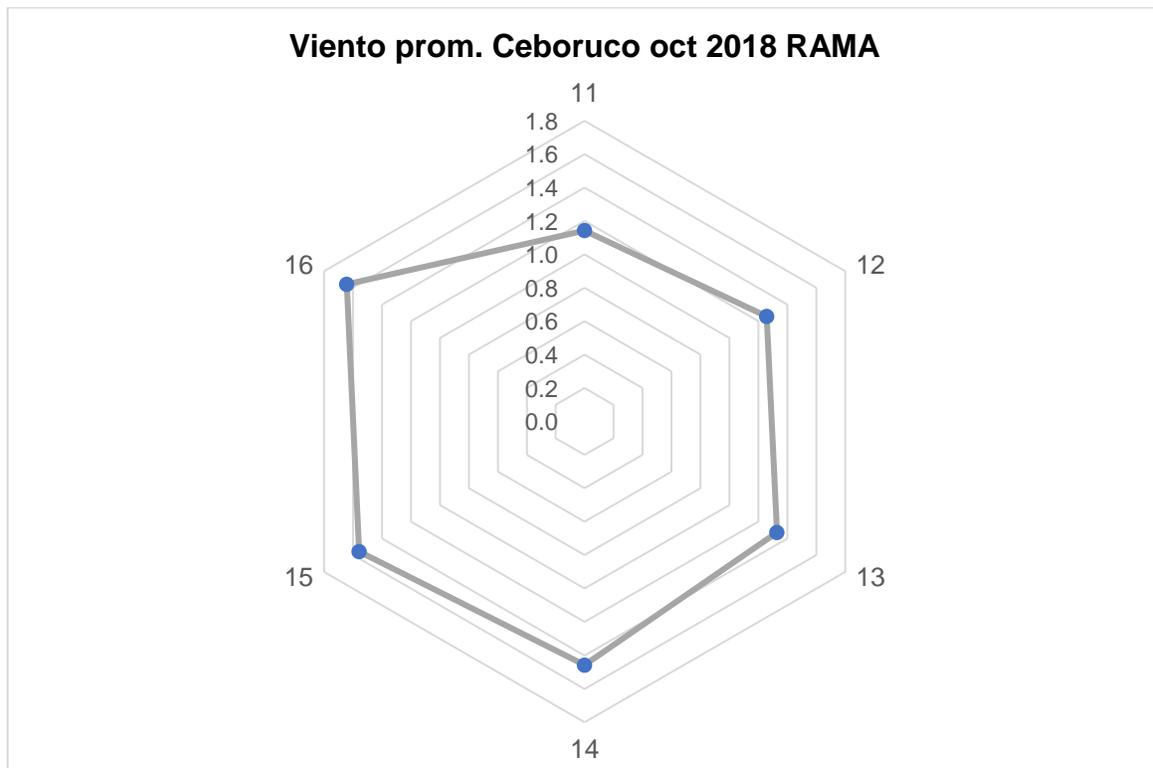


Figura 4.72. Gráfica de viento promedio 2018.

Fuente: Del autor.

- Viento promedio 2019

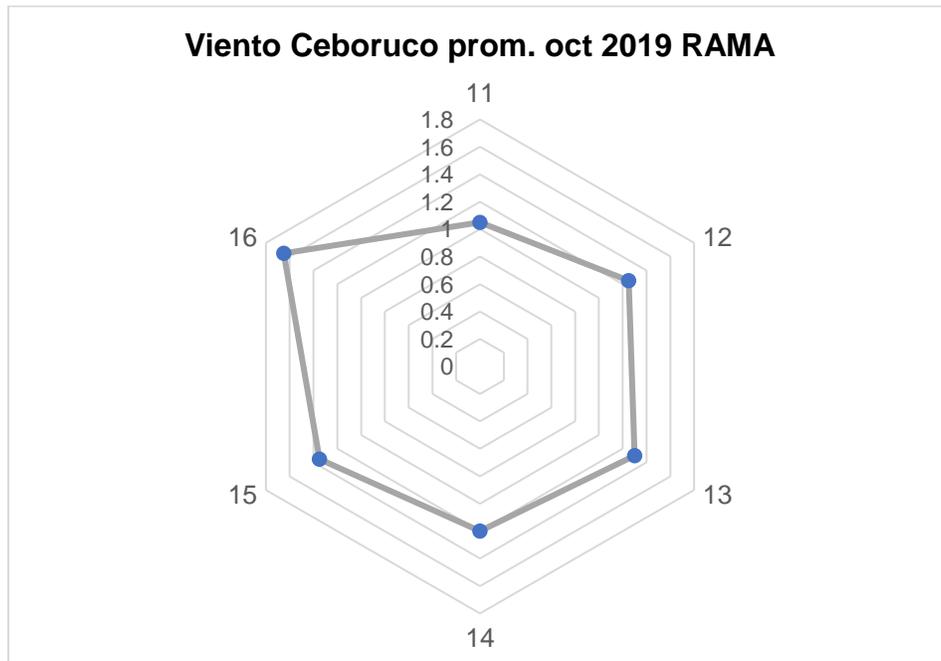


Figura 4.73. Gráfica de viento promedio 2019.
Fuente: Del autor.

- Viento comparativo 2018-2019.

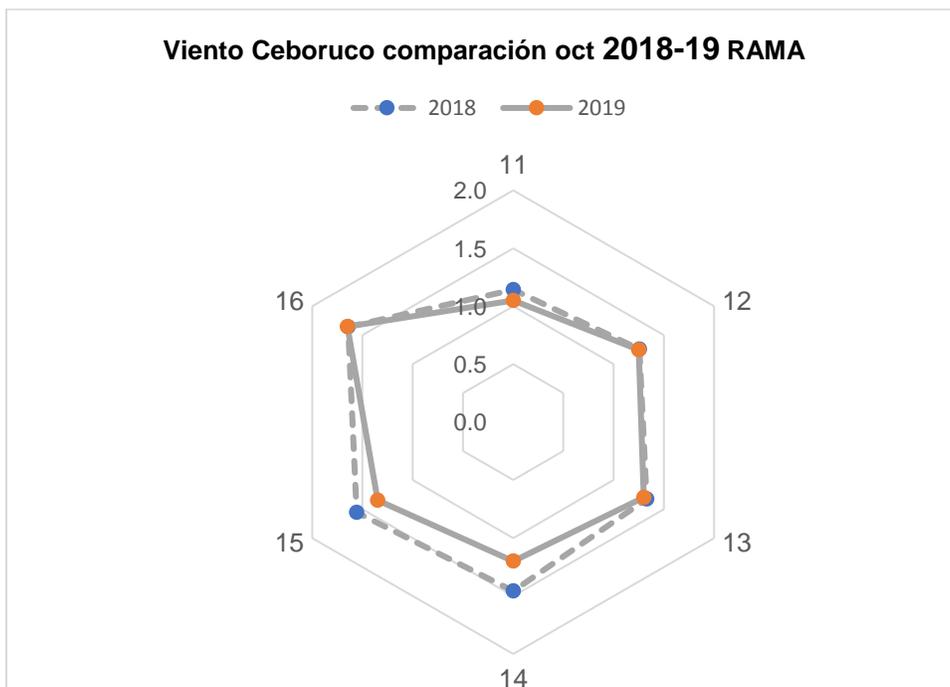


Figura 4.74. Gráfica de viento comparativa 2018-2019.
Fuente: Del autor.

4.5. Datos Observatorio Mariano Bárcena (UAEM)

Para la obtención de los datos del Observatorio Meteorológico Mariano Bárcena dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, se consideró en proceso de avance del trabajo doctoral a partir del cuarto semestre, incorporar los datos de estaciones fijas de esta dependencia para tener una base de datos más para comparar los datos de campo obtenidos, tanto los datos de la RAMA como los datos del Observatorio Mariano Bárcena, una vez analizados los de la primera dependencia, se procede a revisar los datos del Observatorio Mariano Bárcena proporcionados para los meses de junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2019, por lo tanto, al igual que los datos de RAMA, solo analizaremos los de la estación Pino Suárez (Ceboruco) en la temporalidad octubre-noviembre de 2019, para contrastar sus resultados con los de la misma temporalidad de los datos de RAMA.

Se revisan los datos de las variables temperatura del aire, humedad relativa y viento, pero el observatorio también proporcionó los datos de presión atmosférica, precipitación, radiación solar e índice ultravioleta. Las gráficas de los datos están representadas en las figuras 4.75, 4.76 y 4.77.

- Temperatura del aire

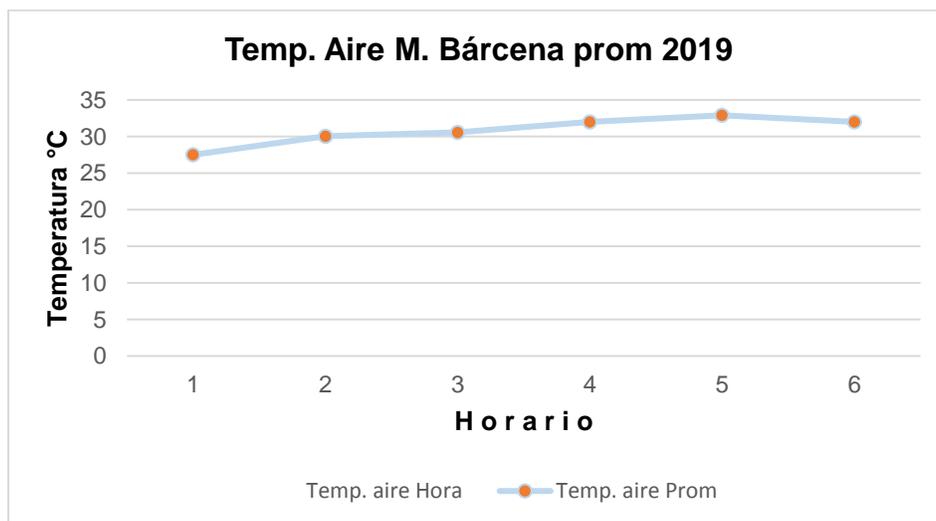


Figura 4.75. Gráfica de Temperatura del Aire M. Bárcena promedio 2019.

Fuente: Del autor.

- Humedad relativa

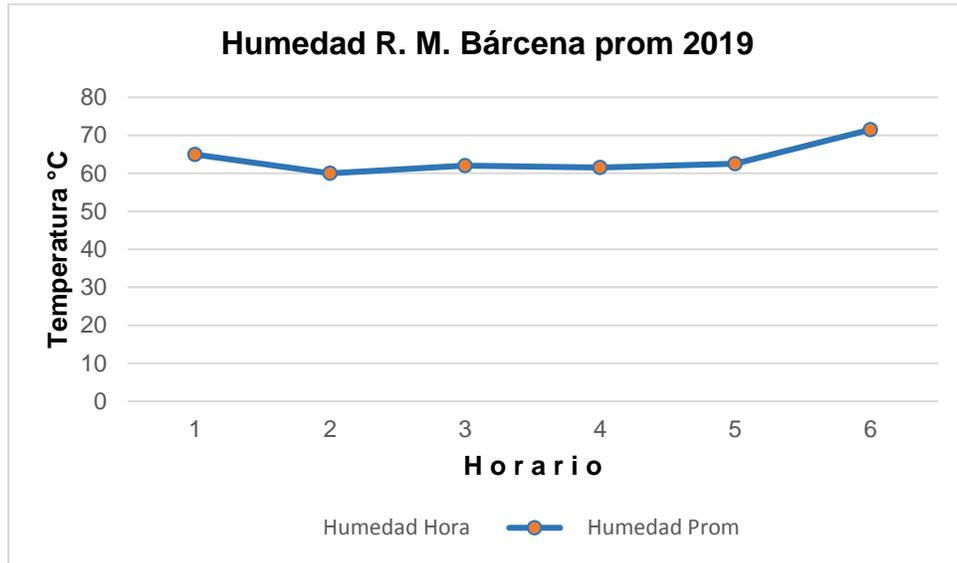


Figura 4.76. Gráfica de Humedad Relativa M. Bárcena promedio 2019.
Fuente: Del autor.

- Viento

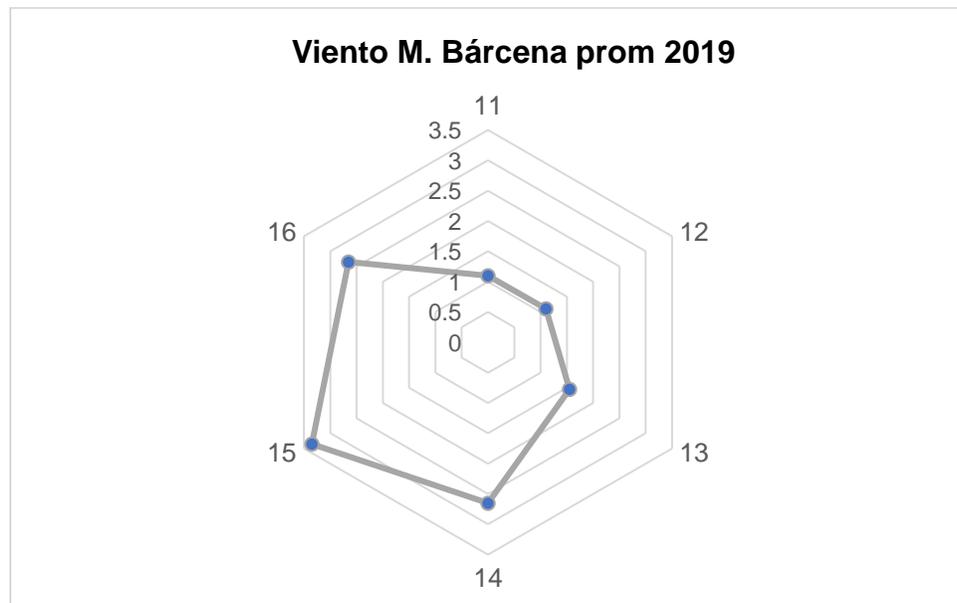


Figura 4.77. Gráfica de Viento M. Bárcena promedio 2019.
Fuente: Del autor.

Ahora bien, las anteriores tres gráficas por sí solas no representan mucho, solo datos aislados de Ceboruco en tres variables y una temporalidad, pero que contrastados con

los datos en los mismos rubros con los de RAMA, se aprecia la diferenciación, según las figuras 4.78, 4.79 y 4.80.

- Temperatura del Aire Ceboruco comparativa RAMA-M. Bárcena 2019

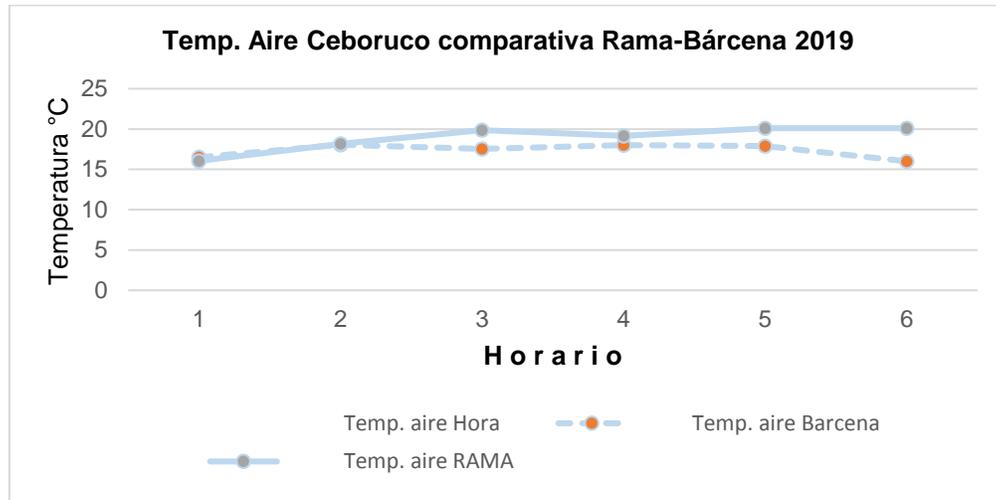


Figura 4.78. Gráfica Temperatura del Aire Ceboruco comparativa RAMA-Bárcena 2019.
Fuente: Del autor.

- Humedad Relativa Ceboruco comparativa RAMA-M. Bárcena 2019

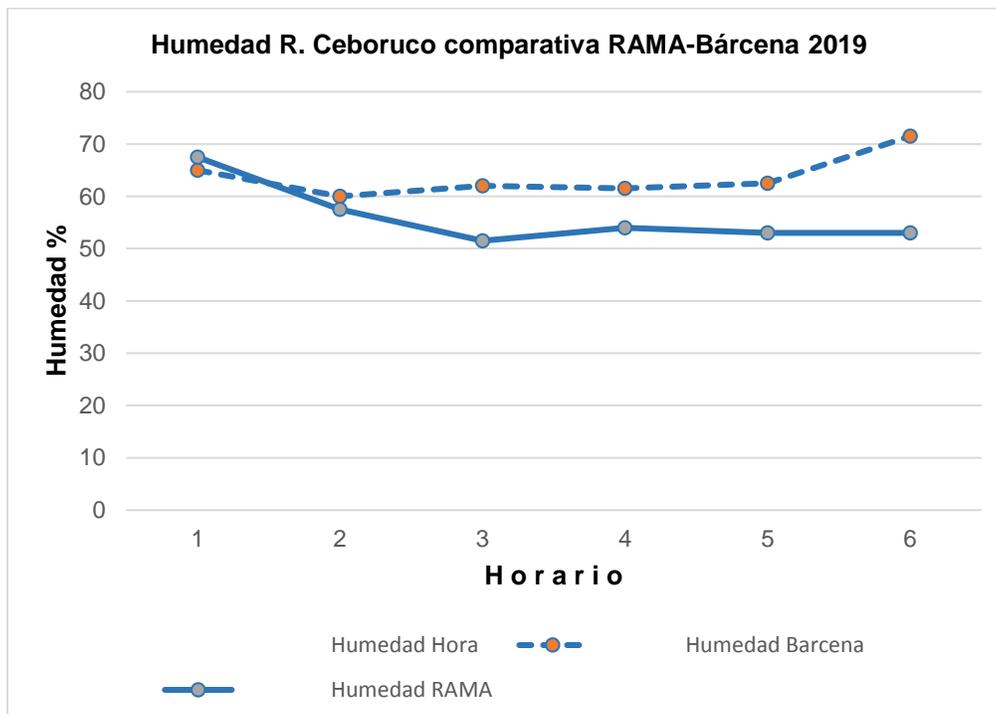


Figura 4.79. Gráfica Humedad relativa Ceboruco comparativa RAMA-Bárcena 2019.
Fuente: Del autor.

- Viento Ceboruco comparativa RAMA-M. Bárcena 2019

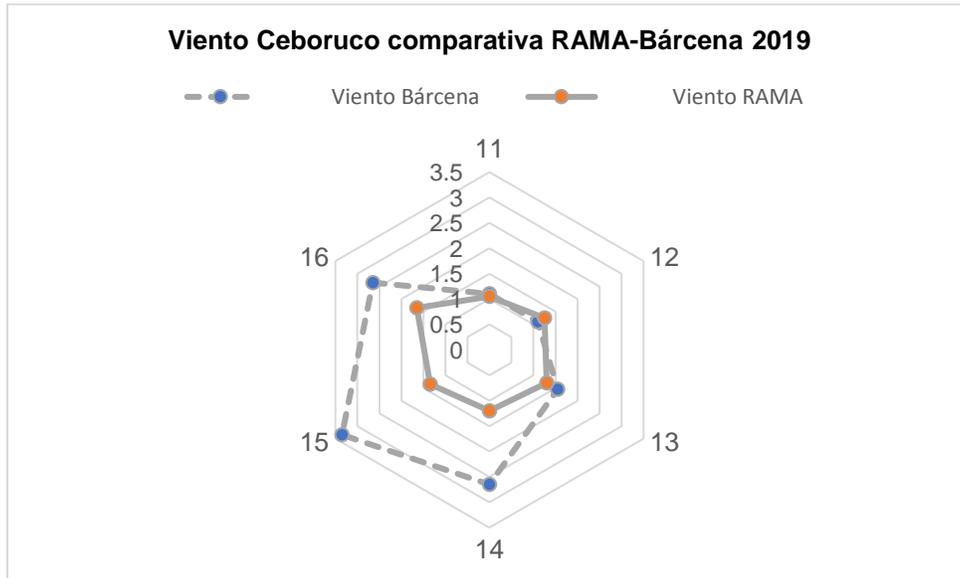


Figura 4.80. Gráfica Viento Ceboruco comparativa RAMA-Bárcena 2019.
Fuente: Del autor.

Conclusiones de comparativa de RAMA y Mariano Bárcena en Ceboruco para 2019

Es de apreciarse en las figuras 4.78, 4.79 y 4.80 las diferencias mínimas de la temperatura del aire y la humedad relativa, siguen siendo mínimas entre una y otra estación fija, para la temperatura la mínima de 16.05°C coincidió para ambas estaciones, la máxima llegó a 20.1°C de la rama por 18.0°C de M. Bárcena con una diferencia de solo 2.1°C, mientras que en humedad la mínima de 65% fue en M. Bárcena por 67.5% en RAMA con solo 2.5% de diferencia mientras que la máxima de 71.5% fue en M. Bárcena por 53% en RAMA, con una considerable diferencia de 18.5% de humedad, en tanto que para el viento si existieron diferencias notables, la velocidad mínima de 1.05 m/segundo se registró en RAMA por 1.55 m/segundo de M. Bárcena mientras que la velocidad máxima de 3.35 m/segundo fue en M. Bárcena por 1.65 m/segundo en RAMA con una diferencia de 1.7 m/segundo, no sin antes olvidar que la ubicación la estación fija de RAMA está a nivel del suelo en calle Matamoros afuera del gimnasio Adolfo López Mateos y el observatorio Mariano Bárcena se ubica en la esquina noreste del edificio de rectoría y está a 12 metros de altura aproximadamente, del nivel del suelo.

4.6. Distribución normal y pruebas de normalidad.

Una distribución normal es una distribución de probabilidades para variables continuas que aparecen con más frecuencia en los fenómenos naturales, esto es, cuando la mayor parte de los datos se acumulan al valor medio y que mientras más alejada se encuentren la puntuación de la media, su frecuencia será menor. Esto se entiende por medio de la campana de Gauss y curva de normalidad, que es la representación gráfica de una distribución normal, también llamada curva de normalidad, siendo característico del gráfico, entre otras cosas que es unimodal, esto es, cuando los datos se concentran en el centro, la media es la línea central que divide la curva en dos partes iguales o asimétricas, por tanto se entiende que es asintótica conforme disminuye la curva normalidad, sin que llegue nunca a tocar la abscisa o línea horizontal del eje X. La media concentra la mayor parte de los datos indicando un porcentaje determinado, cuyo complemento porcentual se indica lateralmente en la curva de normalidad.

Una prueba de distribución es importante porque indica si se rechaza o no se rechaza la hipótesis nula de una población distribuida normalmente. El procedimiento fue primeramente ingresar todos los datos recabados en campo de la Estación Pino Suárez, punto central del estudio de tesis, en sus cuatro variables, temperatura superficial, temperatura del aire, humedad relativa y viento, en su temporalidad octubre-noviembre de 2019, una vez hecho esto, se ordenaron de menor a mayor, se obtuvo la media y la desviación estándar de cada columna de datos y se encontró la fórmula para recabar la distribución normal, tanto falsa como verdadera, siendo la primera $=\text{DISTR.NORM.N}(C4, \$I\$2, \$I\$3, \text{FALSO})$ y la segunda $=\text{DISTR.NORM.N}(C4, \$I\$2, \$I\$3, \text{VERDADERO})$, la primera sirvió para obtener la campana de Gauss en cada variable y la segunda para obtener las líneas de tendencia, las cuales se muestran en las figuras de la 4.81 a la 4.88.

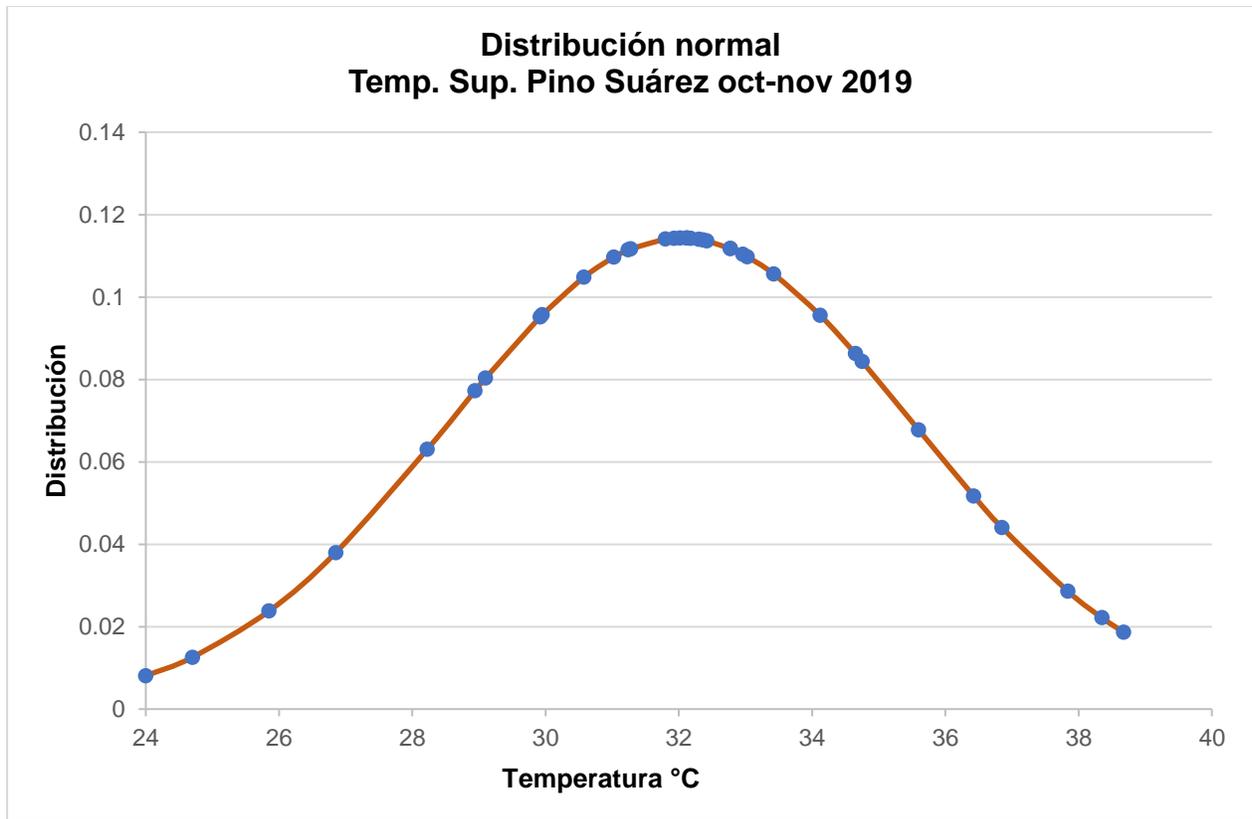


Figura 4.81. Curva de normalidad de temperatura superficial Pino Suárez.
Fuente: Del autor.

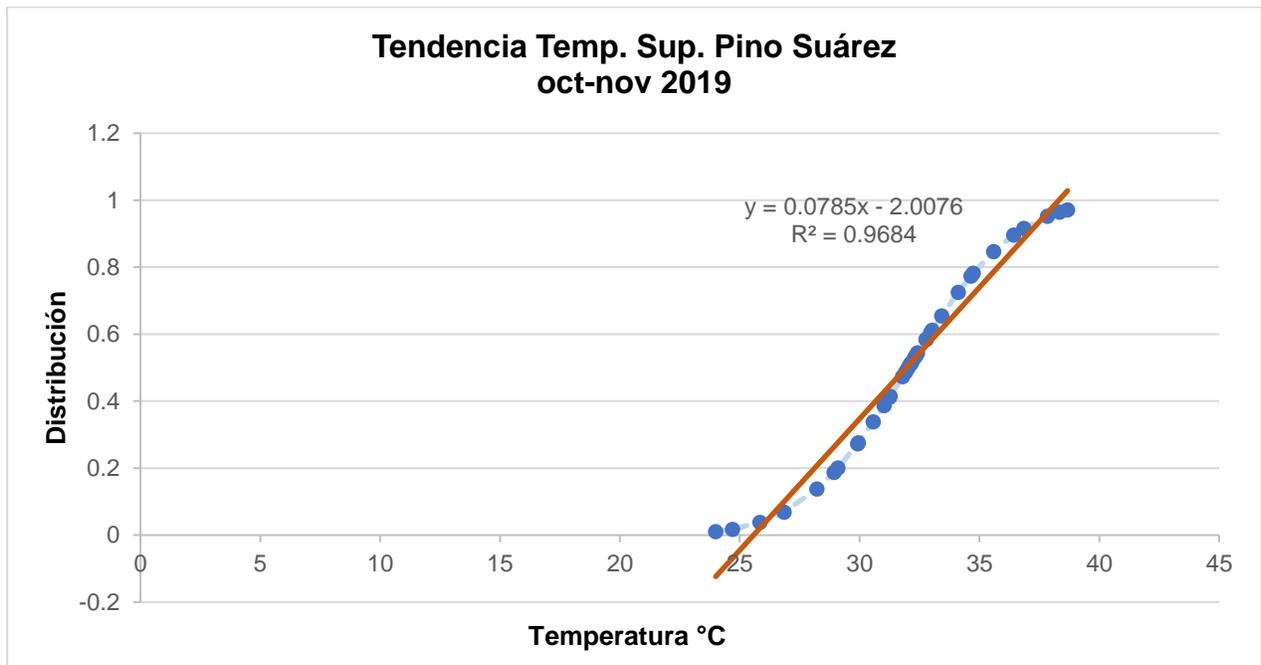


Figura 4.82. Diagrama de tendencia temperatura superficial Pino Suárez.
Fuente: Del autor.

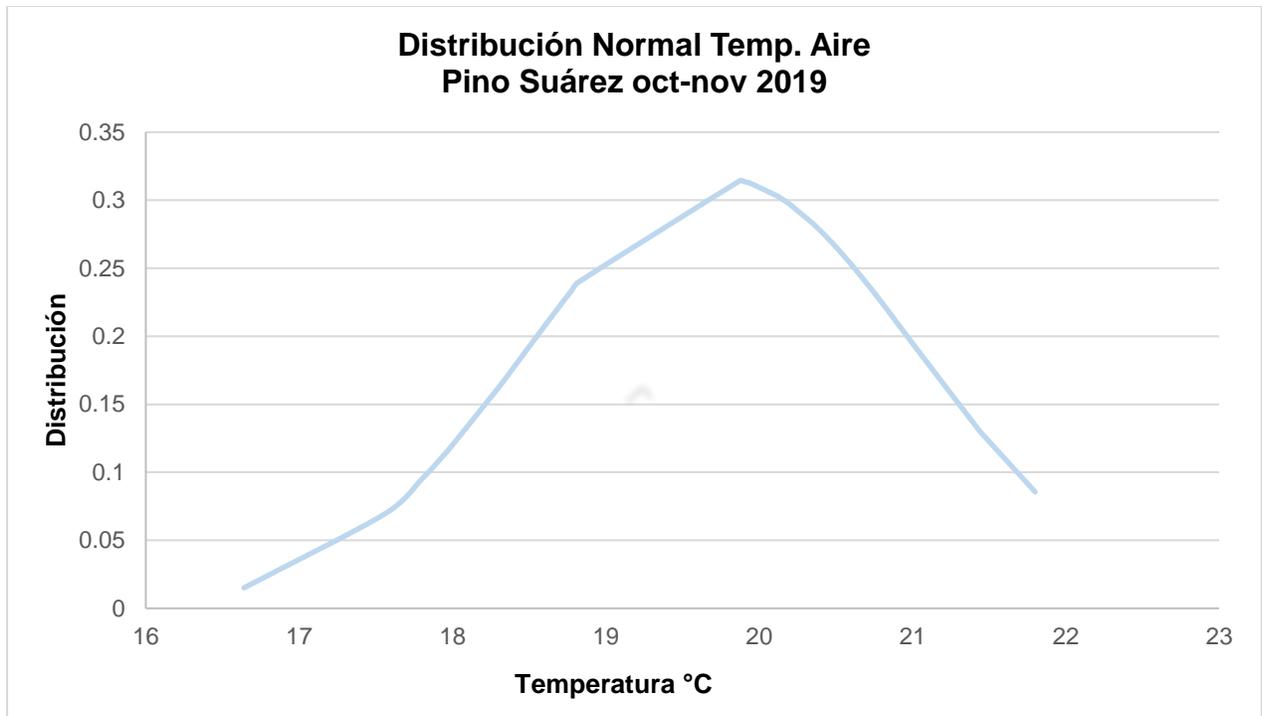


Figura 4.83. Curva de normalidad de temperatura del aire Pino Suarez.
Fuente: Del autor.

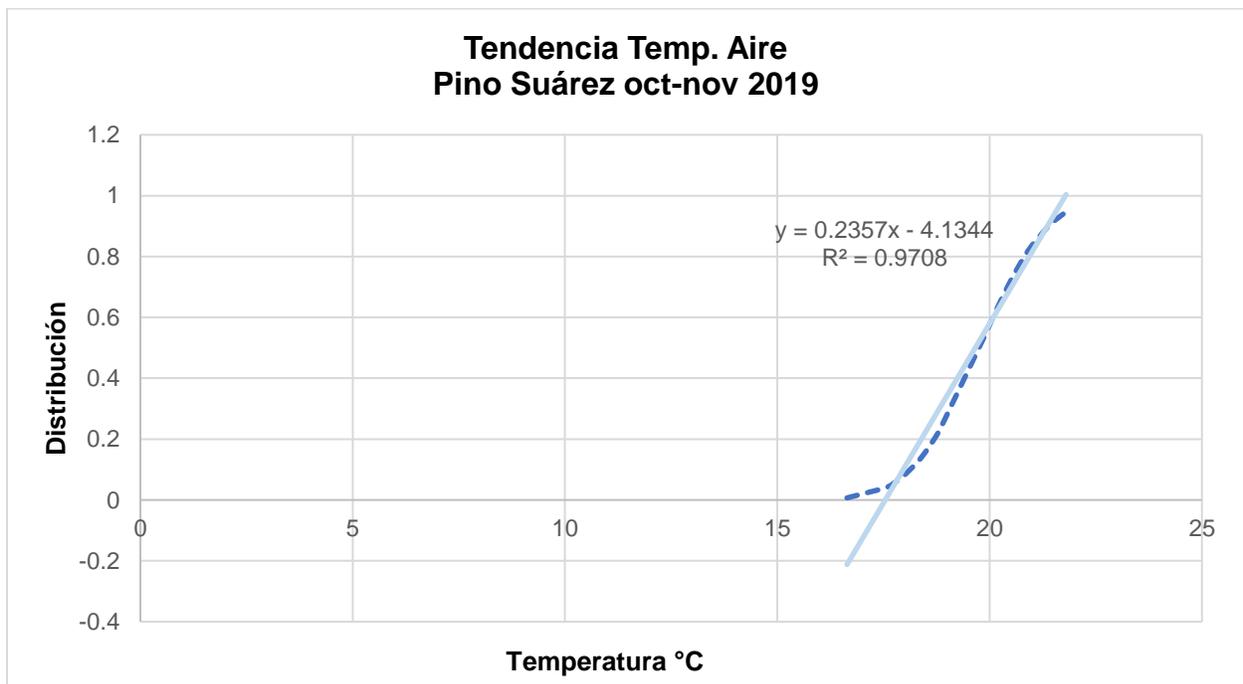


Figura 4.84. Diagrama de tendencia temperatura del aire Pino Suarez.
Fuente: Del autor.

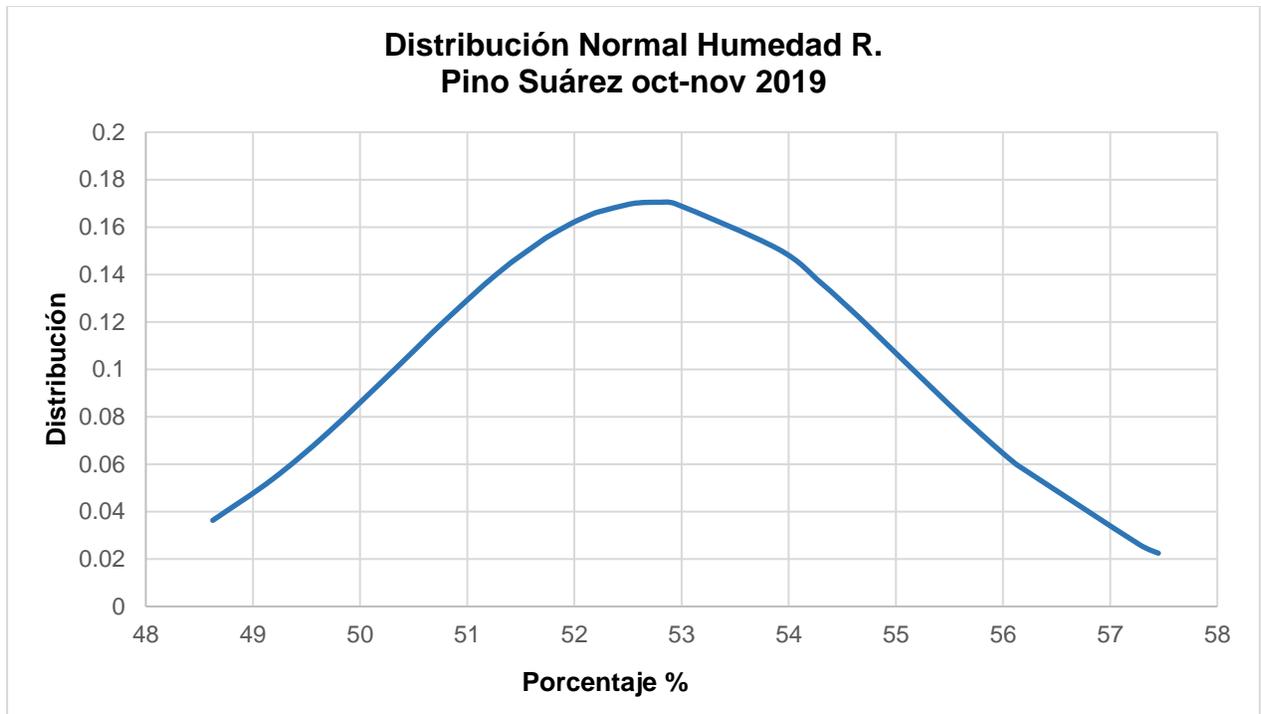


Figura 4.85. Curva de normalidad de humedad relativa Pino Suárez.
Fuente: Del autor.

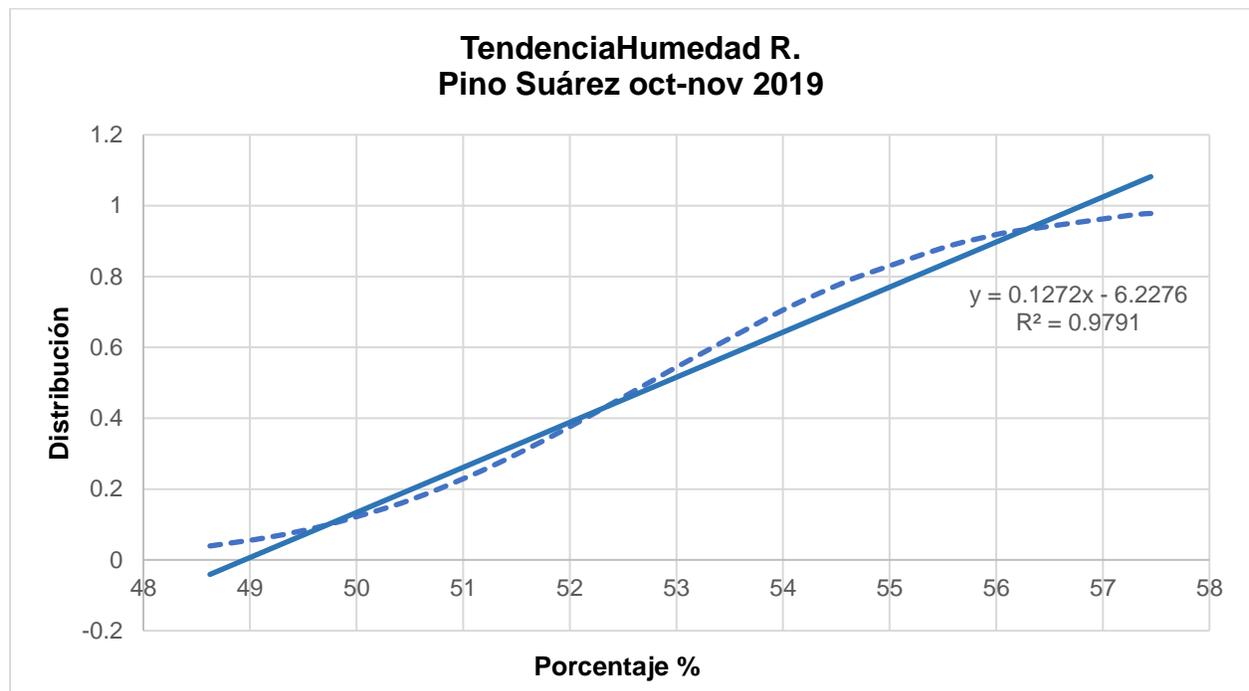


Figura 4.86. Diagrama de tendencia humedad relativa Pino Suárez.
Fuente: Del autor.

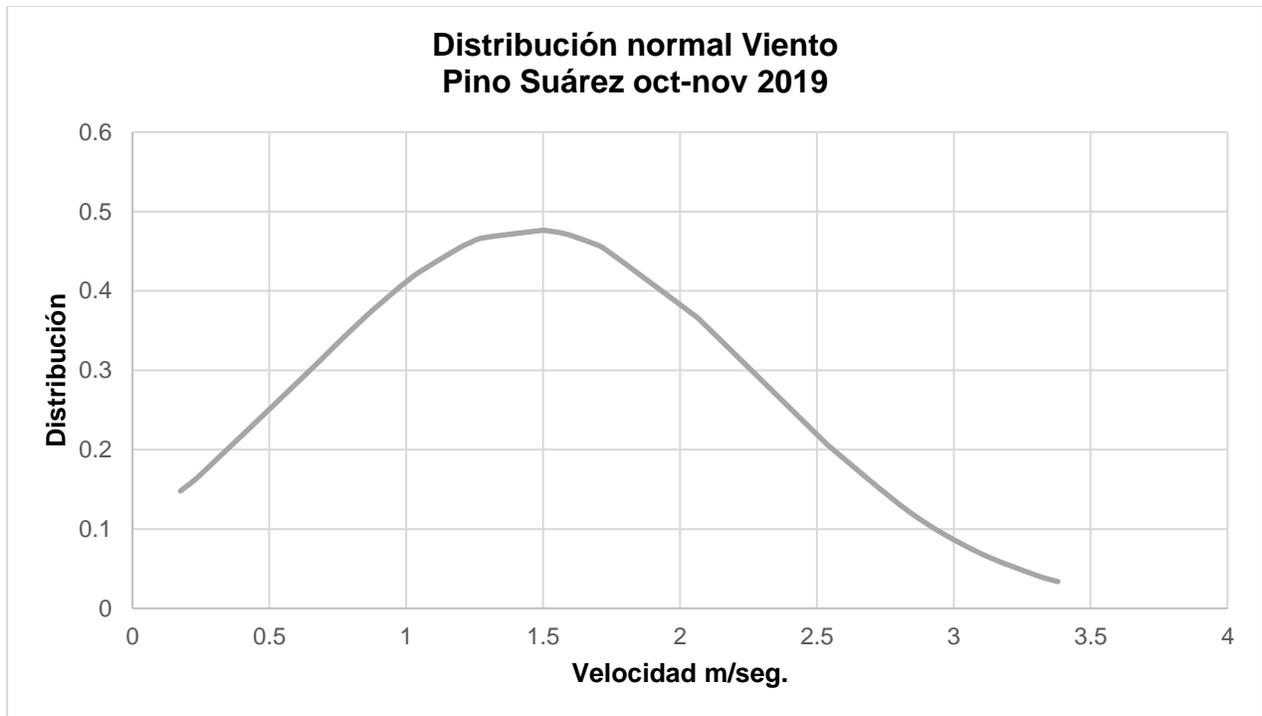


Figura 4.87. Curva de normalidad de viento Pino Suárez.
Fuente: Del autor.

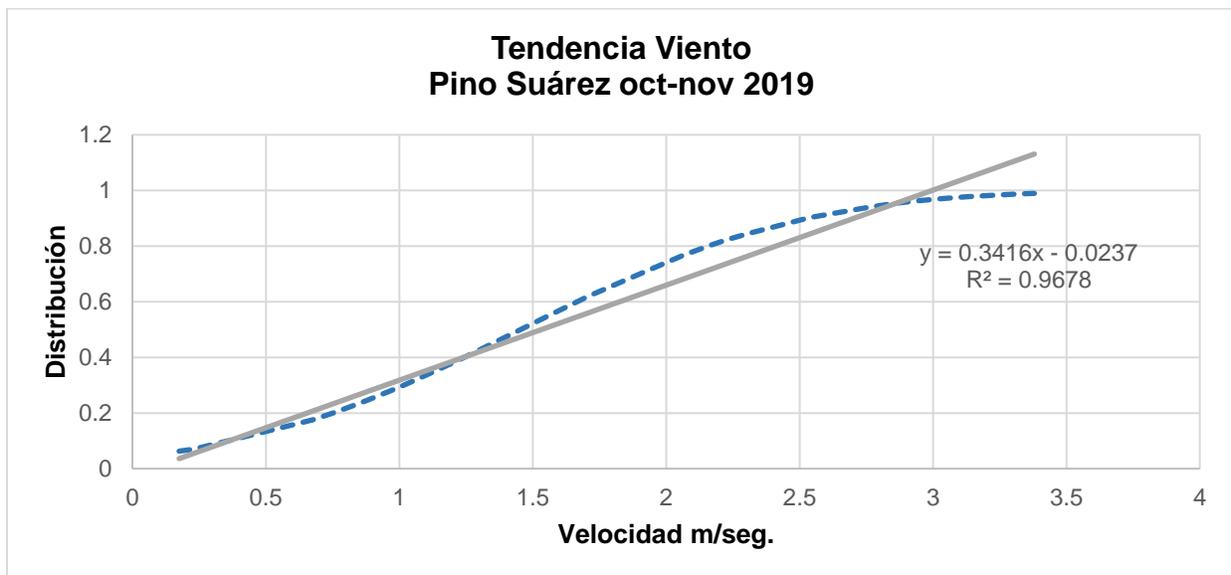


Figura 4.88. Diagrama de tendencia viento Pino Suárez.
Fuente: Del autor.

Conclusiones de Distribución normal y pruebas de normalidad

Para la curva de normalidad y con el fin de interpretar el comportamiento de cada una de las cuatro variables, se obtuvo la fórmula con los datos de distribución calculados y datos

de cada una de las variables, resultando todas de forma normal, esto es, donde el valor más alto aparece al centro de la campana y los valores más bajos en las zonas laterales sin llegar nunca al eje longitudinal X, aún sin ser simétricos.

Para el diagrama de tendencia, representada en cada gráfica por la línea recta del color correspondiente a cada variable, donde r^2 define la proporción de la variancia total de la variable explicada por la regresión, indicando la cordialidad del ajuste que pretende explicar, cuyo coeficiente siempre será de 0 cero a 1 uno, porcentualmente expresado, estando los datos de línea punteada con valores muy cercanos a la tendencia 1 uno, por lo que son normales en el rango percentil.

4.7. LANDSAT

Una de las más recientes técnicas de estudios de UHI es la teledetección satelital a base de imágenes térmicas proporcionadas por los satélites que orbitan alrededor del planeta, siendo el LANOT (Laboratorio nacional de observación de la tierra) creado como parte del programa de Apoyos y Complementos para el establecimiento y consolidación de Laboratorios Nacionales, de reciente creación ante el CONACYT, firmándose en abril de 2017 el convenio de colaboración con el Instituto de Geografía de la UNAM a través de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México, instalándose el sistema el 1° de enero de 2019 e inaugurándose el 10 de junio del mismo año (Zepeda *et al.*, 2019).

Entre los principales objetivos a alcanzar está la generación de productos estratégicos espaciales con información actualizada del país y del estado, entre ellos el monitoreo de las condiciones climáticas en tiempo real, el análisis de fenómenos meteorológicos, la clasificación de recursos naturales, la identificación de riesgos ambientales y los estudios geográficos especializados en la detección temprana de sistemas de alerta, la identificación de índices de vegetación en una zona específica, en colaboración con instituciones gubernamentales y no gubernamentales de la entidad, para adecuar la toma de decisiones de quien corresponda al respecto, en tiempo anterior a los posibles efectos y la aplicación de la medidas preventivas y/o correctivas.

El monitoreo del efecto isla de calor urbana UHI permitirá comprender las variaciones de temperatura superficial del suelo en nuestra ciudad a través del satélite GOES 16 y del sensor ABI a bordo del mismo, para entender la carga calorífica diurna y el incremento en el termómetro, el cual no es homogéneo por la disparidad de cobertura vegetal en la ciudad, siendo atenuante para la propuesta de creación de superficies verdes y arboladas a las autoridades en busca de una mitigación del impacto de estas condiciones climáticas y ondas de calor en la salud y confort térmico de los habitantes de la ciudad, sobre todo de las personas de edad avanzada cuya mortandad se ve amenazada debido a problemas cardiovasculares y respiratorios.

Para distinguir este método del tradicional basado en datos meteorológicos proporcionados por estaciones climáticas fijas urbanas y rurales y de datos recogidos por medio de travesías de campo, se estudia la temperatura de la superficie terrestre (LST) por sus siglas en inglés, se utilizan varios algoritmos, como el algoritmo de mono-ventana (MWA), método de un solo canal (SCM) y algoritmo de ventana dividida (SWA), pero para comparar la precisión de alguno de ellos, se requieren los datos de las estaciones meteorológicas, donde existen dos índices de error estadístico, el error cuadrático medio (RMSE) y el error de sesgo medio (MBE), debiéndose valorar la desviación entre las estimaciones y los valores meteorológicos observados, creando mapas de distribución ArcGis o código abierto usando el análisis de datos ubicado en el *software* ArcGis.

En fecha 5 de noviembre de 2019 se solicitó por oficio al director de la Facultad de Geografía, Dr. Francisco Zepeda Mondragón, la aportación de imágenes Landsat LST en las fechas últimas de 2019 para su contraposición con los datos de campo obtenidos y los datos proporcionados por RAMA, pero por ser de reciente creación este sistema satelital en nuestra universidad, la Facultad de geografía aún no dispone del equipo humano que pueda administrar y proporcionar esta información al público en general, a pesar de haberse especificado la finalidad académica de estos, y quizá por la premura de las imágenes, solo nos proporcionaron las imágenes siguientes y que, por supuestas nubosidades los días de las tomas, no aportan mayores datos para su interpretación (figuras 4.89, 4.90 y 4.91).

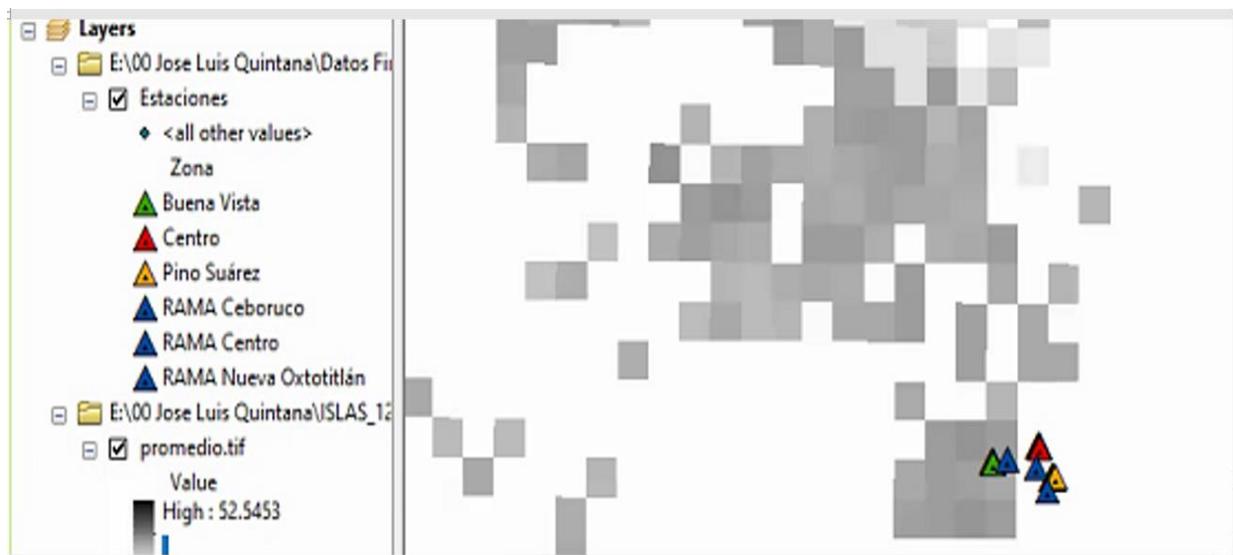


Figura 4.89. Imagen Landsat 26 de octubre 2019, ubicación de estaciones y RAMA.
Fuente: Facultad de Geografía.

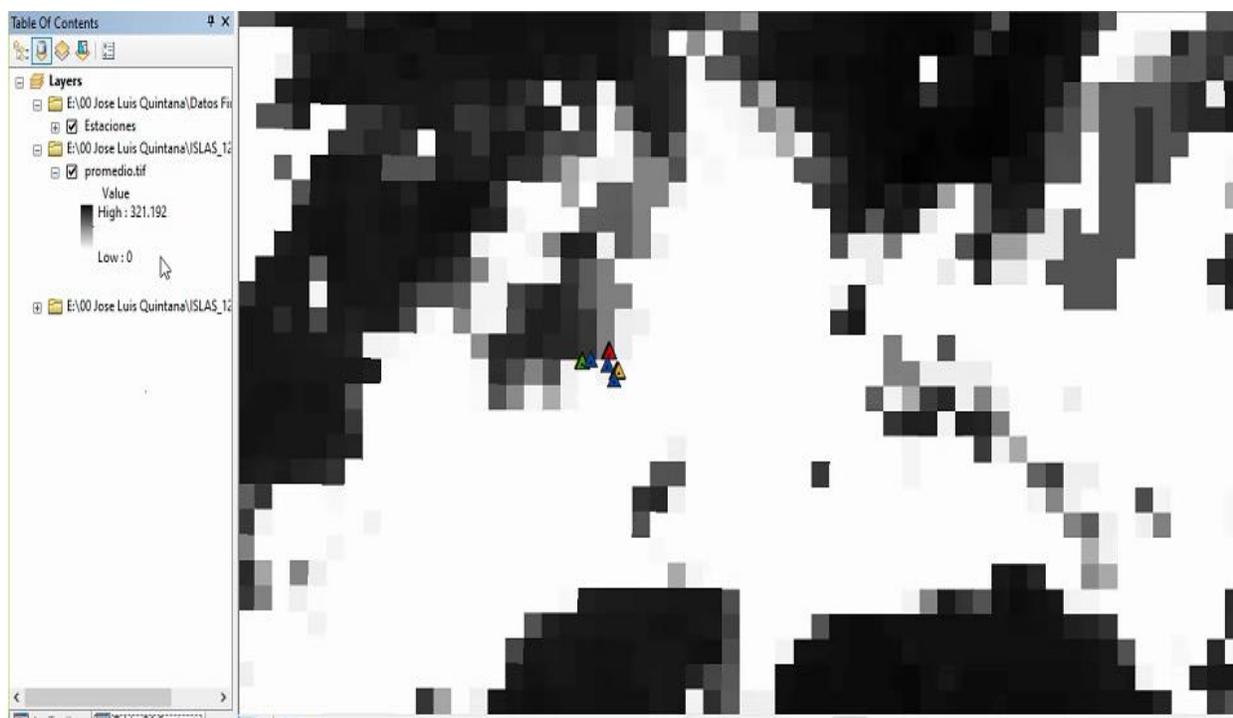


Figura 4.90. Imagen Landsat 9 de noviembre 2019.
Fuente: Facultad de Geografía.

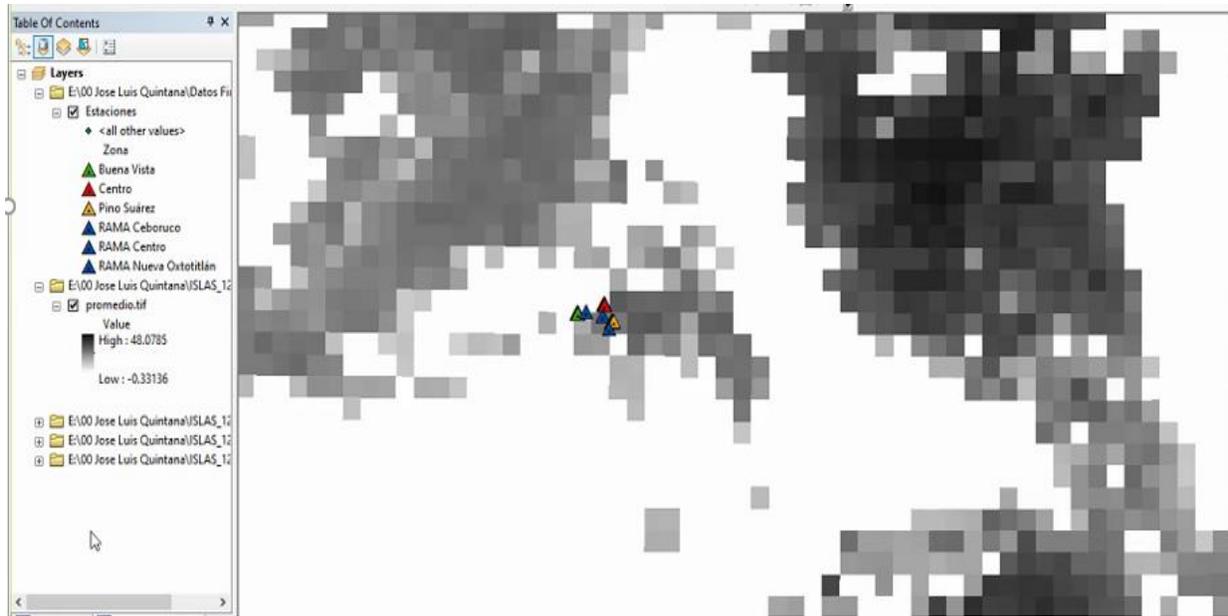


Figura 4.91. Imagen Landsat 14 de noviembre 2019.

Fuente: Facultad de Geografía.

4.8. Regresión Lineal.

Con el afán de estudiar la relación entre las variables, se realizaron ejercicios de regresión lineal, técnica estadística de regresión simple por tener dos variables en la cual trataremos de cuantificar la relación entre la variable dependiente (Y) y la variable independiente o predictora (X) para acercarnos a la posibilidad de diagnosticar los puntos de influencia sobre el análisis de regresión y poder interpretarlos correctamente. Por esto utilizaremos una gráfica o diagrama de dispersión para tener idea del tipo de relación existente entre las variables y cuantificar la relación existente entre estas, observando el grado de densidad de puntos que se ajustan a la línea recta de regresión, pudiendo esta no ser alta o perfecta.

A la observación de la forma de relacionarse entre sí de las variables se conoce como correlación, y puede ser de tres formas: Correlación positiva, negativa o nula (sin correlación), siendo la correlación positiva aquella en que, si una variable aumenta, la otra también, representando la aproximación de puntos en la recta, el coeficiente de correlación lineal, el cual es negativo cuando una variable cambia y la otra lo hace de forma contraria, cuyo rango de valores es de +1 a -1, indicando el valor cero una relación nula entre variables, un valor menor de cero indica una asociación negativa. El coeficiente

de relación r^2 indica la proporción de varianza de la variable dependiente que esté explicada por la variable independiente, o sea, qué tan cerca están los datos de la línea de regresión, dándose una correlación positiva cuando $0 < r < 1$ y cuando $r = 1$ se da la correlación positiva perfecta (figura 4.92).

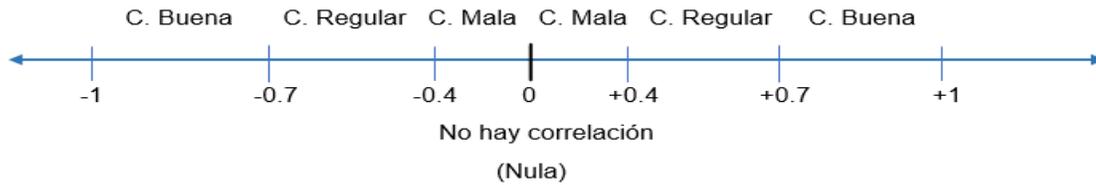


Figura 4.92. Gráfica de correlación entre variables.
Fuente: Del autor.

La obtención de datos se realizó a partir del ciclo octubre-noviembre de 2018 en campo, en las tres estaciones (Buenavista, Pino Suárez y Centro) en orden de temporalidad (octubre-noviembre 2018 A, abril-mayo 2019 B y octubre-noviembre 2019 C) en las cuatro variables consideradas, temperatura superficial (°C), temperatura ambiental (°C), humedad (%) y viento (m/segundo). Se pretendió hacer lo mismo con los datos de RAMA, oficina dependiente del Gobierno del Estado de México, que proporcionó los datos disponibles, así tenemos que en la temporada octubre-noviembre 2018 esta estación no proporcionó datos de la estación fija Nueva Oxtotitlán, la más cercana a la estación Buenavista, por estar en reparación y mantenimiento, pero si proporcionó datos en esta temporalidad para la estación Ceboruco, la más cercana a Pino Suárez, punto de estudio del trabajo, así como de la estación Centro, la más cercana a Centro-Lerdo, también proporcionó los datos de junio, julio y agosto de 2019 en Ceboruco y los de octubre-noviembre de 2019 en Oxtotitlán, Ceboruco y Centro (figura 4.93)

Toma de datos de campo y estaciones fijas en sus tres temporalidades									
Temporalidad	Oct-nov 2018 A			Abril-mayo 2019 B			Oct-nov 2019 C		
Variable	Campo	RAMA	Bárcena	Campo	RAMA	Bárcena	Campo	RAMA	Bárcena
T.S °C	Si	No	No	Si	No	No	Si	Si	Si Jun-nov 2019
T.A. °C	Si	Si Ceboruco	No	Si	Si Jun-agos Ceboruco	No	Si	Si	Si Jun-nov 2019
Humedad %	Si	Si Ceboruco	No	Si	Si Jun-agos Ceboruco	No	Si	Si	Si Jun-nov 2019
Viento m/seg	Si	Si Ceboruco	No	Si	Si Jun-agos Ceboruco	No	Si	Si	Si Jun-nov 2019

Figura 4.93. Tabla de temporalidades de toma de datos.
Fuente: Del autor.

Como se puede observar, los datos se obtuvieron conforme avanzó el trabajo de tesis y los requerimientos de la investigación, difiriendo algunas temporalidades en las tres estaciones, por ejemplo, la toma de datos de campo se realizó en las tres temporalidades de las tres estaciones y de las cuatro variables consideradas, mencionando que de una temporalidad a otra, variaron el número de trayectos de cada nodo, siendo en la temporalidad A siete trayectos, en la temporalidad B cinco trayectos y en la temporalidad C tres trayectos, situación que no afectó los resultados, toda vez que al final de temporalidades se manejaron promedios de cada una. En la temporalidad B los datos de RAMA solo se proporcionaron para la estación Ceboruco en los meses de junio, julio y agosto, en la temporalidad C el observatorio Mariano Bárcena se proporcionaron todas las variables, pero solo para los meses de junio a noviembre, quedando las gráficas de levantamiento de datos de campo 2018 A-2019 C, como se observa en las figuras de la 4.94 a la 4.102.

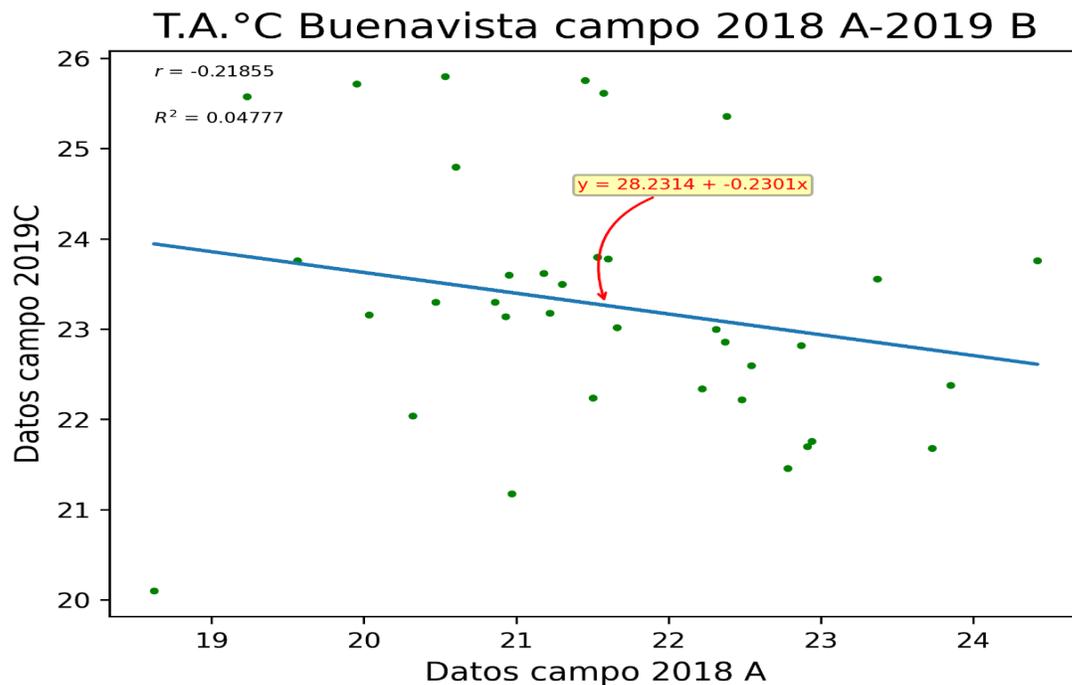


Figura 4.94. Comparativa de temperatura ambiental de campo en Buenavista 2018 A-2019 C.
Fuente: Del autor.

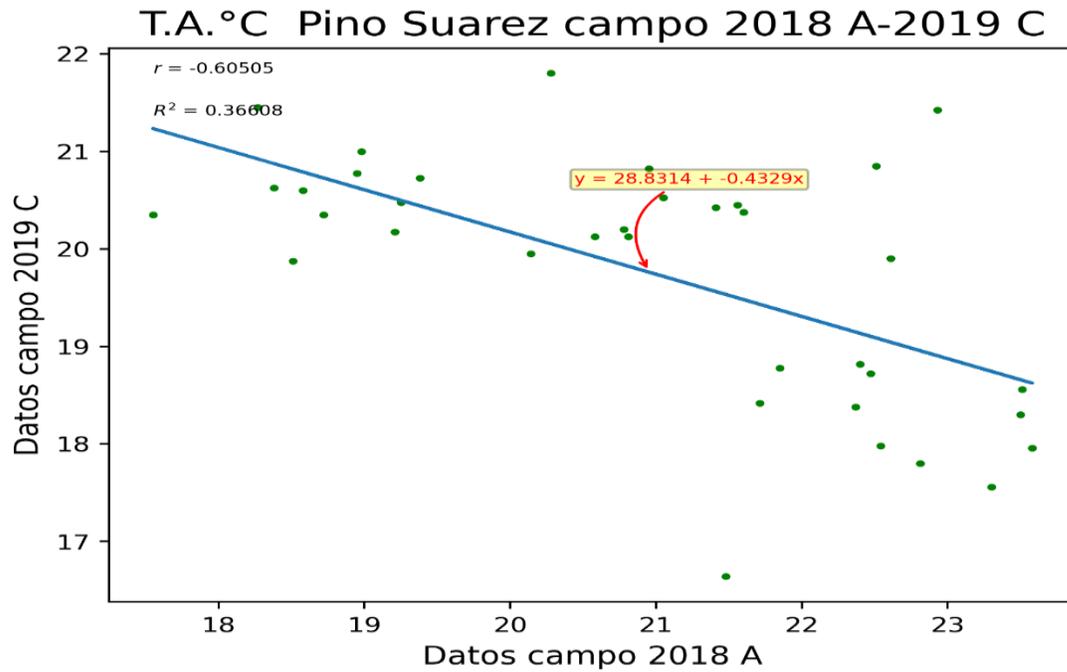


Figura 4.95. Comparativa de temperatura de campo en Pino Suárez 2018 A-2019 C.
Fuente: Del autor.

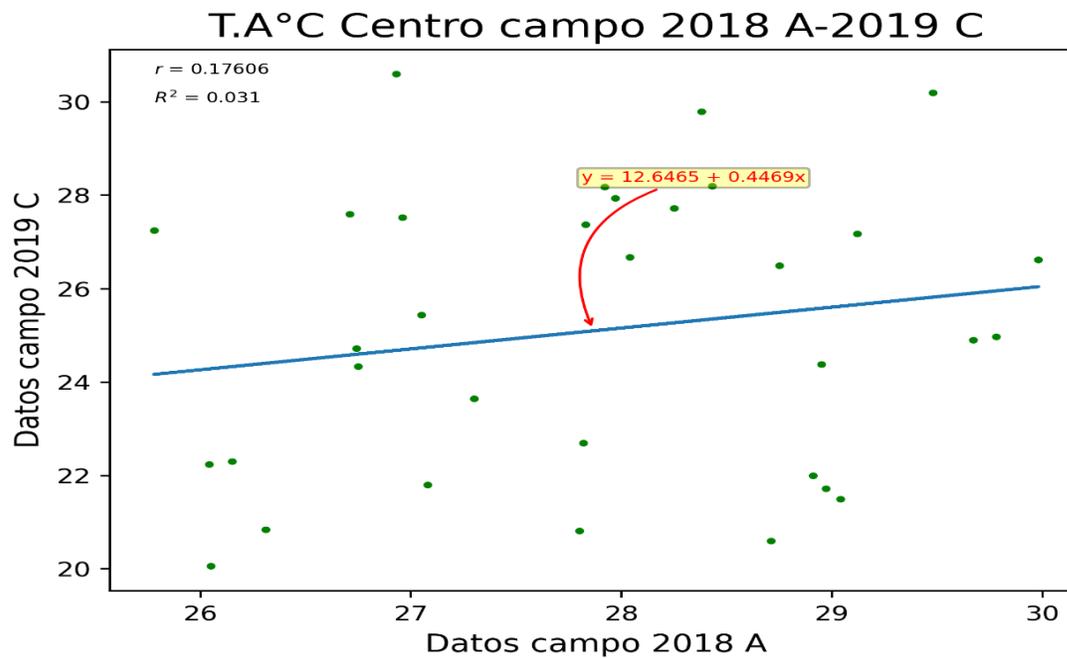


Figura 4.96. Comparativa de temperatura de campo en Centro Lerdo 2018 A-2019 C.
Fuente: Del autor

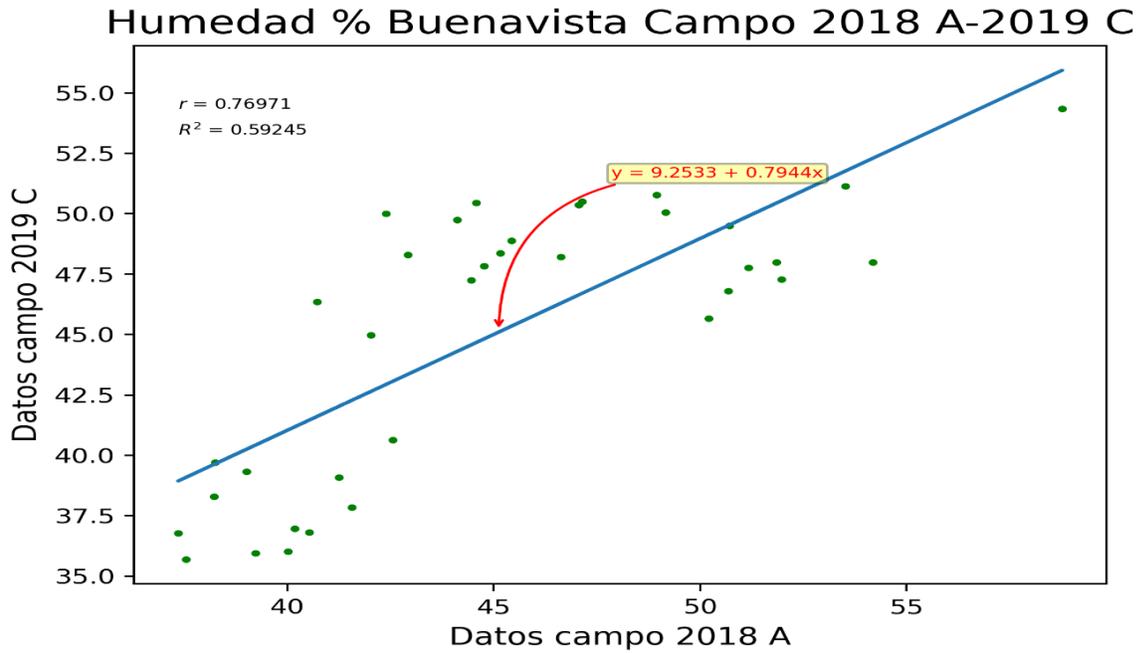


Figura 4.97. Comparativa de humedad de campo en Buenavista 2018 A-2019 C.
Fuente: Del autor

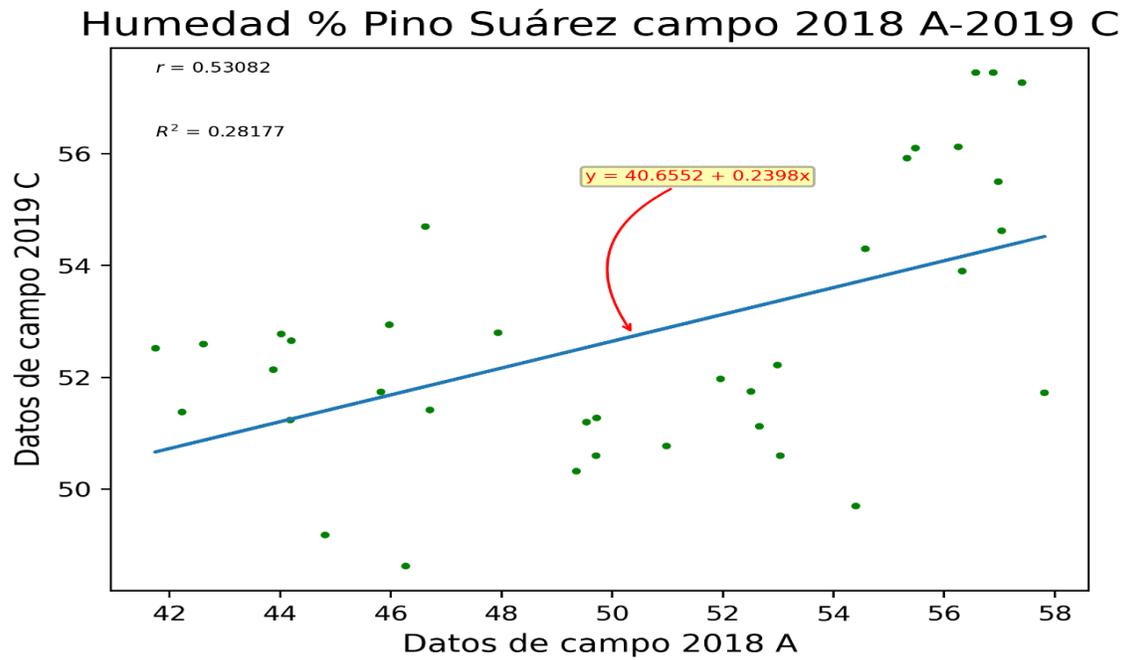


Figura 4.98. Comparativa de humedad de campo en Pino Suarez 2018 A-2019 C.
Fuente: Del autor.

Humedad % Centro campo 2018 A-2019 C

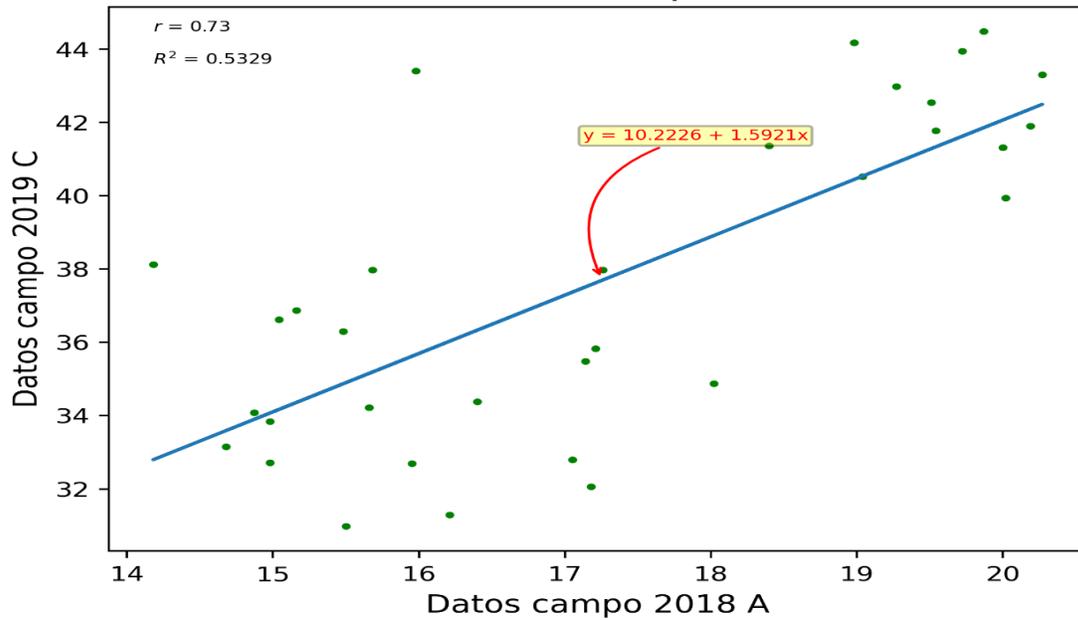


Figura 4.99. Comparativa de humedad de campo en Centro Lerdo 2018 A-2019 C.
Fuente: Del autor.

Viento m/seg Buenavista campo 2018 A-2019 C

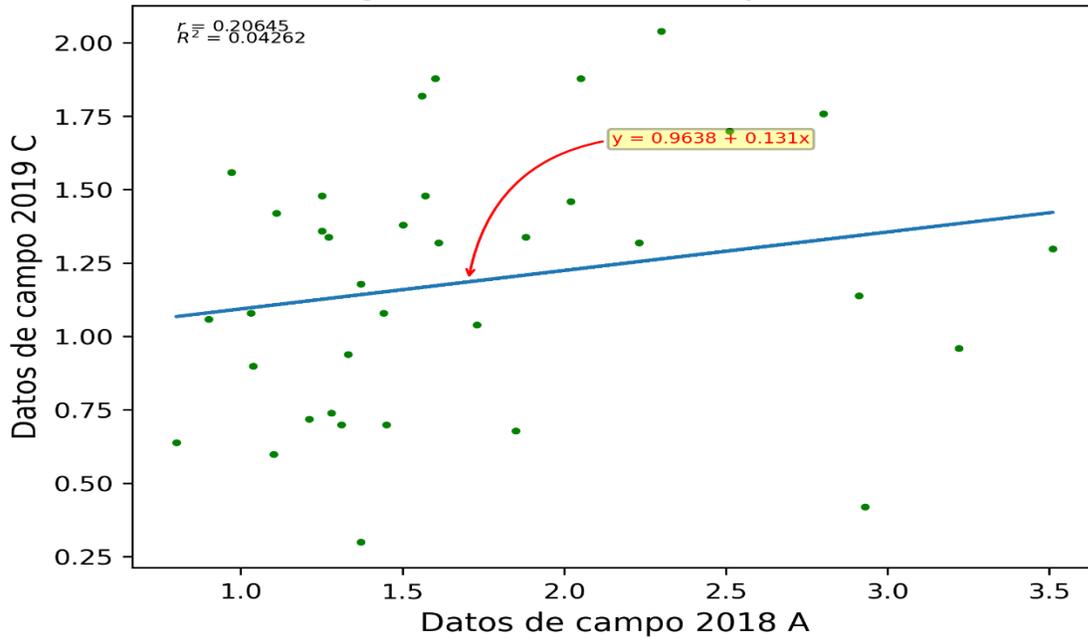


Figura 4.100. Comparativa de viento en Buenavista 2018 A-2019 C.
Fuente: Del autor.

Viento m/seg Pino Suárez campo 2018 A-2019 C

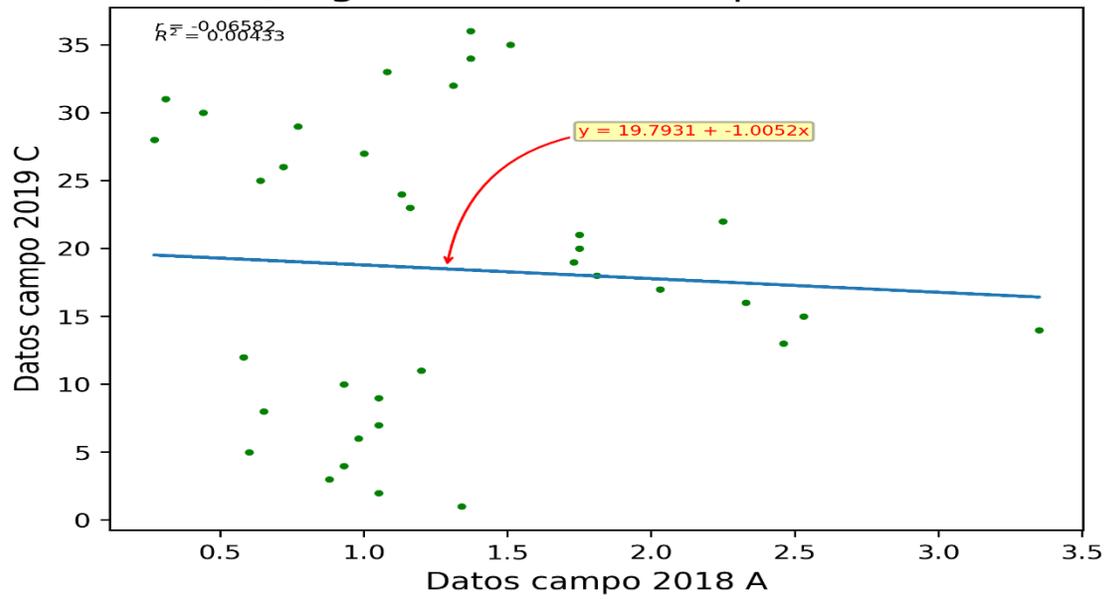


Figura 4.101. Comparativa de viento en Pino Suárez 2018 A-2019 C.

Fuente: Del autor.

Viento m/seg Centro campo 2018 a-2019 C

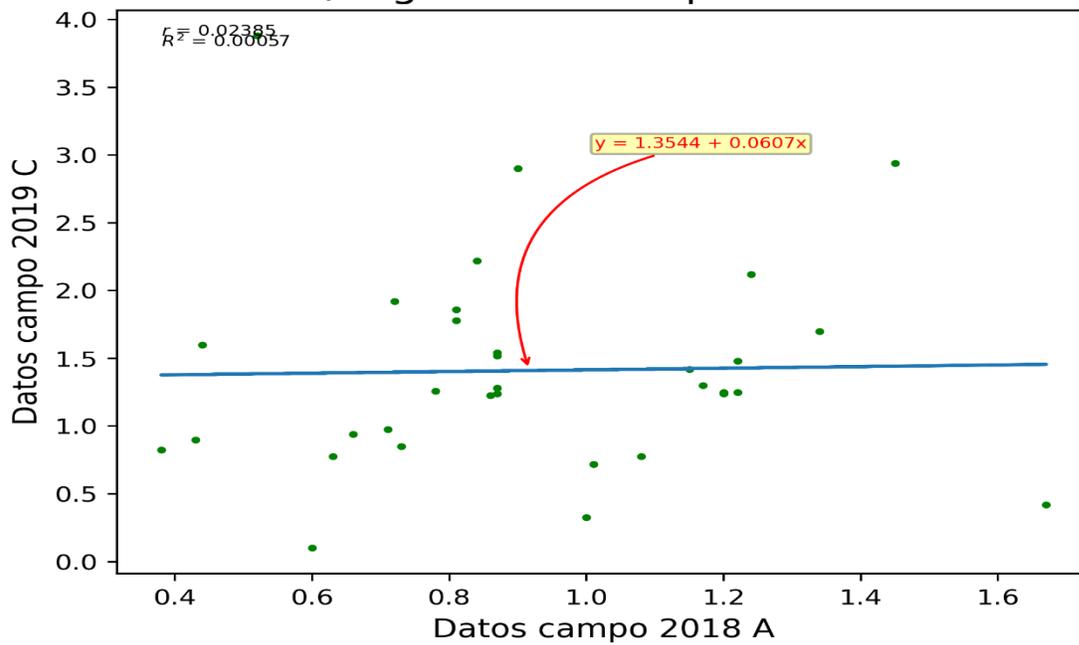


Figura 4.102. Comparativa de viento en Centro Lerdo 2018 A-2019 C.

Fuente: Del autor.

Para las gráficas de la temporalidad 2019 A correspondientes a abril-mayo se utilizaron datos de la estación fija RAMA combinados con la estación Mariano Bárcena solo para la estación Pino Suárez a principios del mes de junio, lo más cercano a la temporalidad mayo/2019, fechas coincidentes de ambas estaciones para la obtención de datos, cuya correlación resultó buena dados los datos de r , de 0.90 en la variable de temperatura ambiental, 0.93 en humedad y 0.92 en viento, a pesar del distanciamiento aproximado de 2,970 metros entre una y otra estación y de estar ubicados los sensores en la estación Ceboruco a +3.50 metros del nivel del suelo y a +18.00 aproximadamente en la estación Mariano Bárcena, quedando las gráficas como se indica en las figuras 4.103, 4.104 y 4.105.

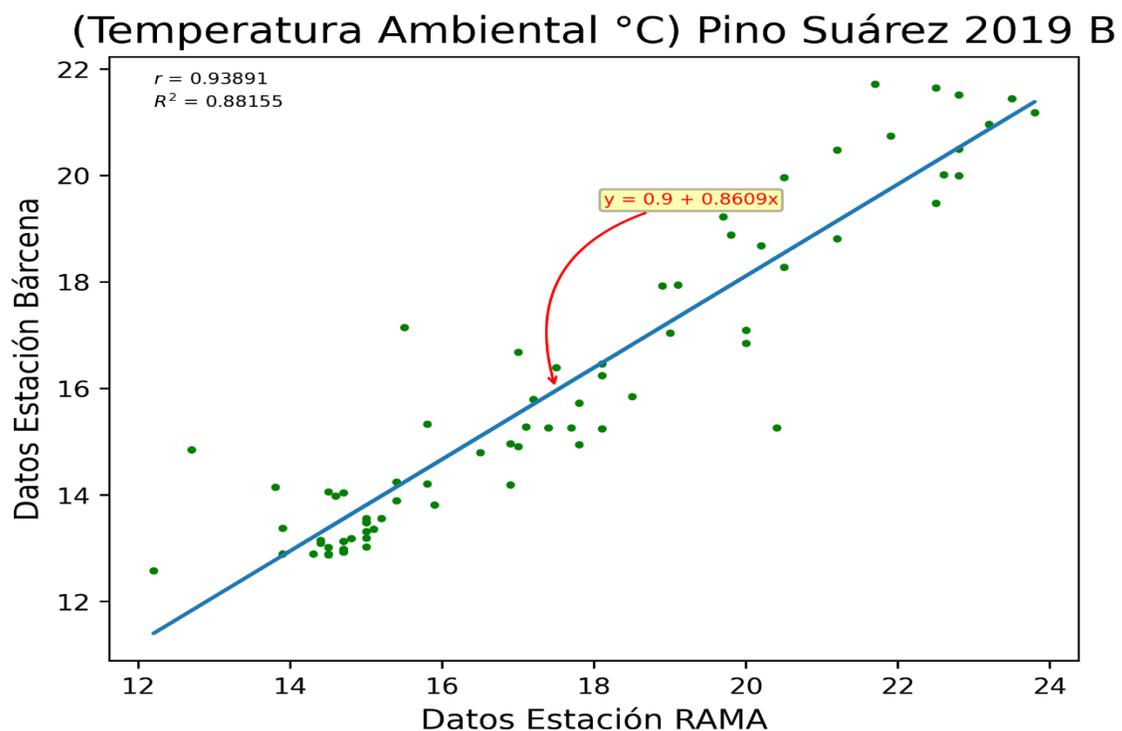


Figura 4.103. Comparativa de temperatura ambiental RAMA-Bárcena de 2019 B.
Fuente: Del autor.

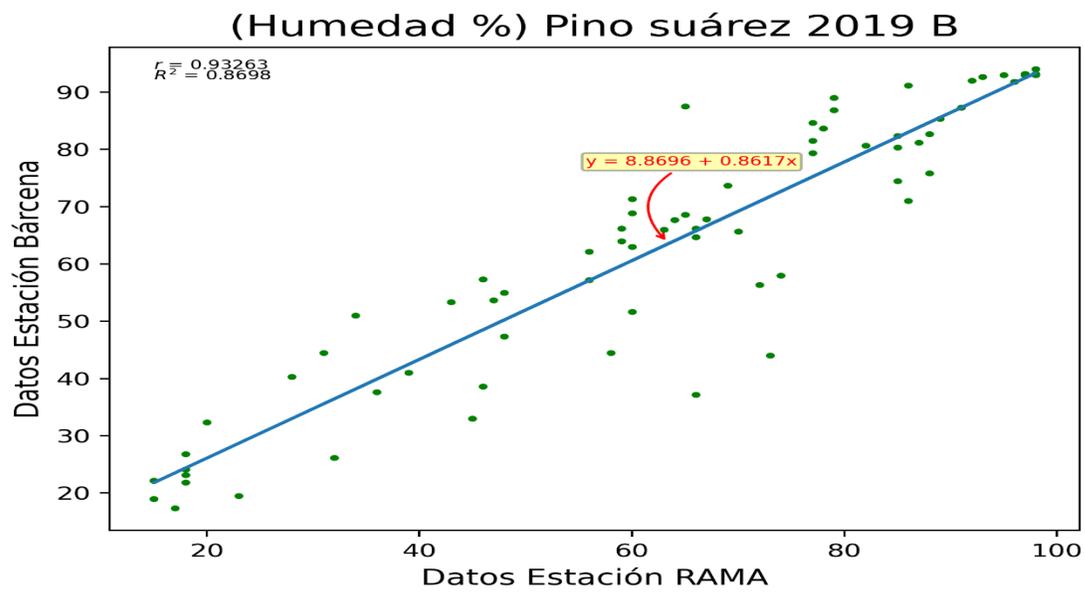


Figura 4.104.- Comparativa de humedad RAMA-Bárcena de 2019 B.
Fuente: Del autor.

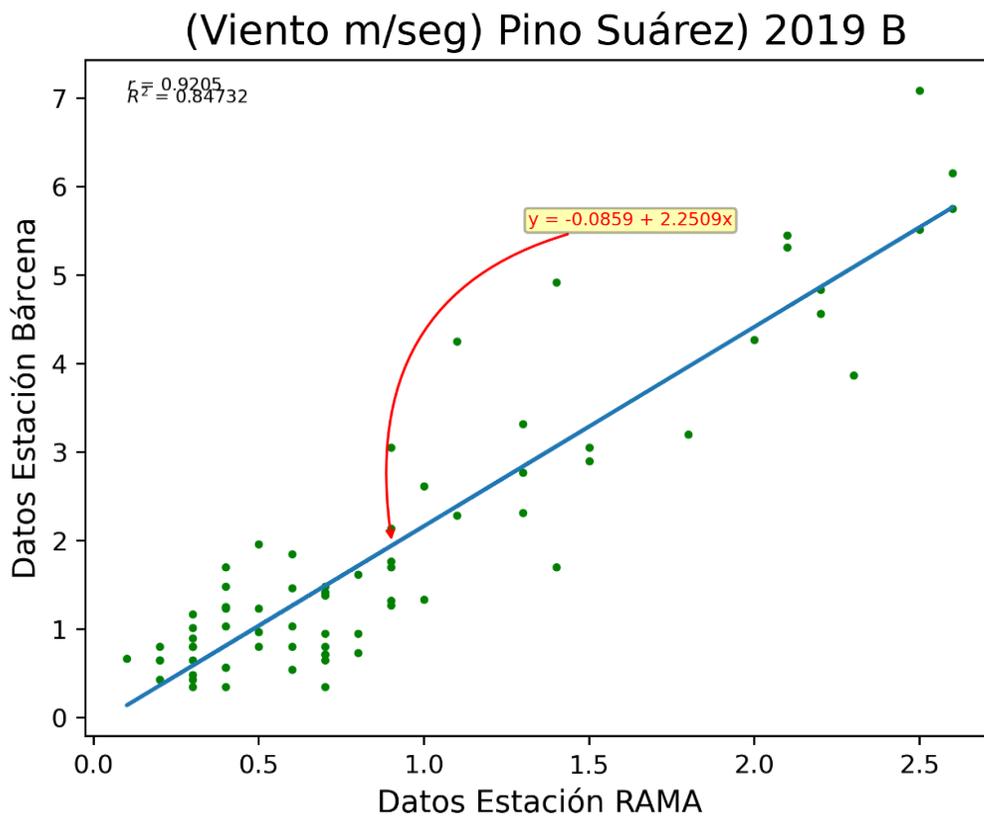


Figura 4.105. Comparativa de viento RAMA-Bárcena 2019 B.
Fuente: Del autor.

Para graficar el comportamiento de la temporalidad 2019 C se tomaron los datos de campo y se compararon con los datos de la estación Mariano Bárcena de octubre y noviembre de 2019, resultando para temperatura ambiental, relativamente baja para Buenavista de 0.39, pero aumentando a regular en Centro Lerdo de 0.60 y a buena en Pino Suárez de 0.72. Para la variable humedad en las gráficas de las tres estaciones, las correlaciones de Pino Suárez y Centro Lerdo fueron regulares, de 0.62 y 0.56 respectivamente, pero se incrementó a buena en la estación Buenavista a 0.74. En el comportamiento de la variable viento, solo se conservó la correlación buena de Pino Suárez en 0.77, decrementándose a mala correlación en Buenavista y Centro Lerdo, quedando en 0.13 y 0.30 respectivamente, resultando las gráficas como se muestran en las figuras de la 4.106 a la 4.114.

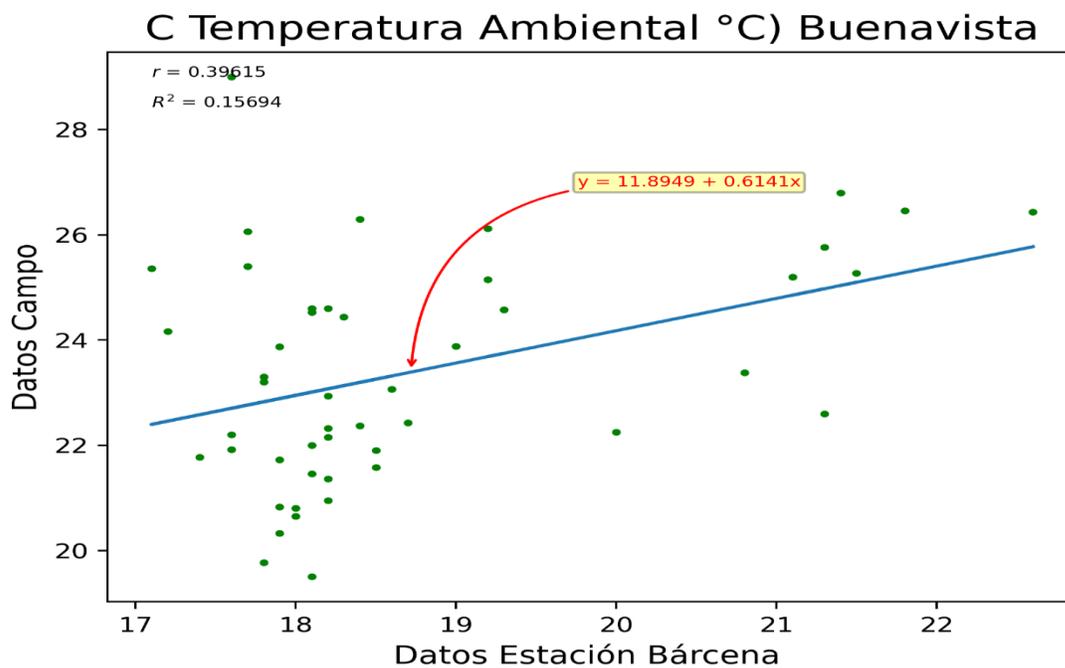


Figura 4.106. Comparativa Temperatura Ambiental Campo-Bárcena de Buenavista 2019 C.
Fuente: Del autor.

C (Temperatura Ambiental °C) Pino Suárez

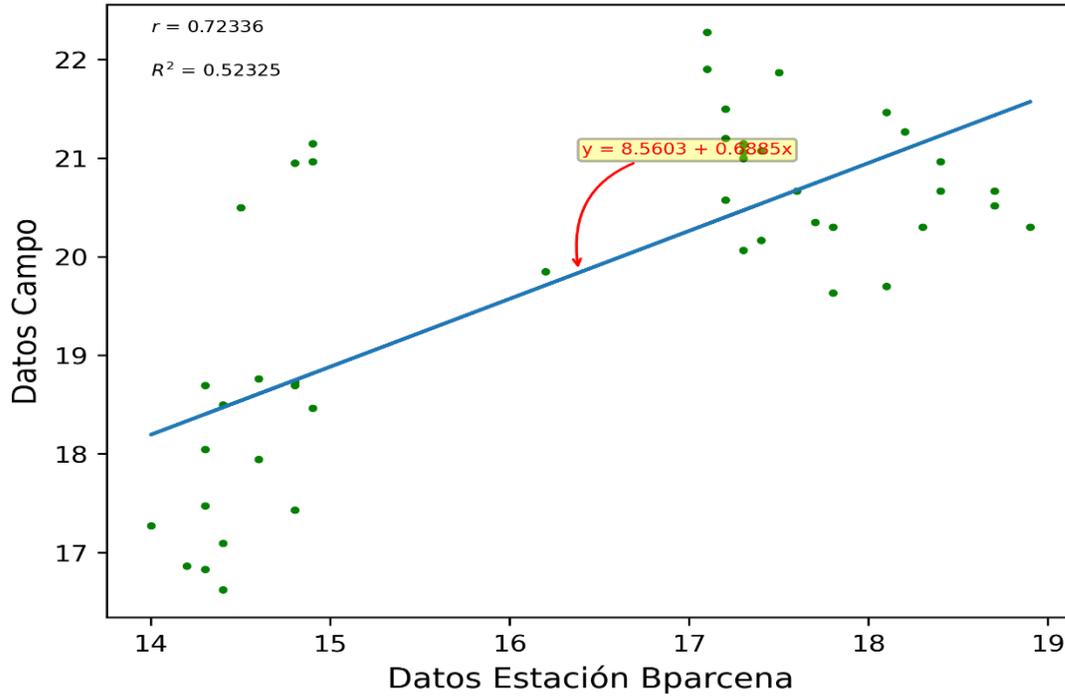


Figura 4.107. Comparativa Temperatura ambiental Campo-Bárcena en Pino Suárez 2019 C.
Fuente: Del autor.

C (Temperatura Ambiental °C) Centro

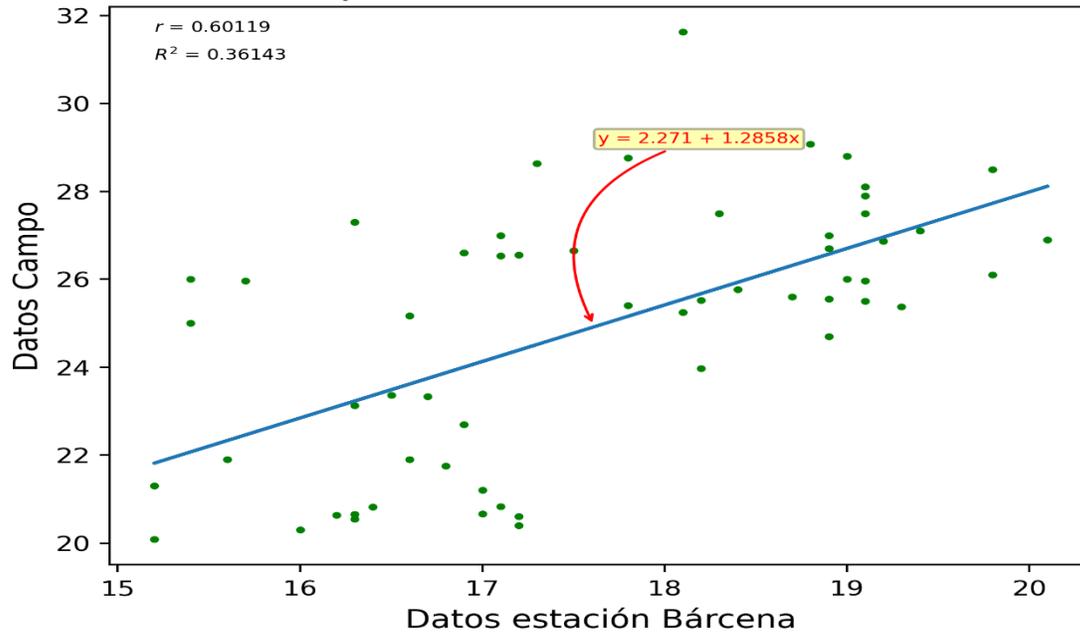


Figura 4.108. Comparativa Temperatura Ambiental Campo-Bárcena en Centro Lerdo 2019 C.
Fuente: Del autor.

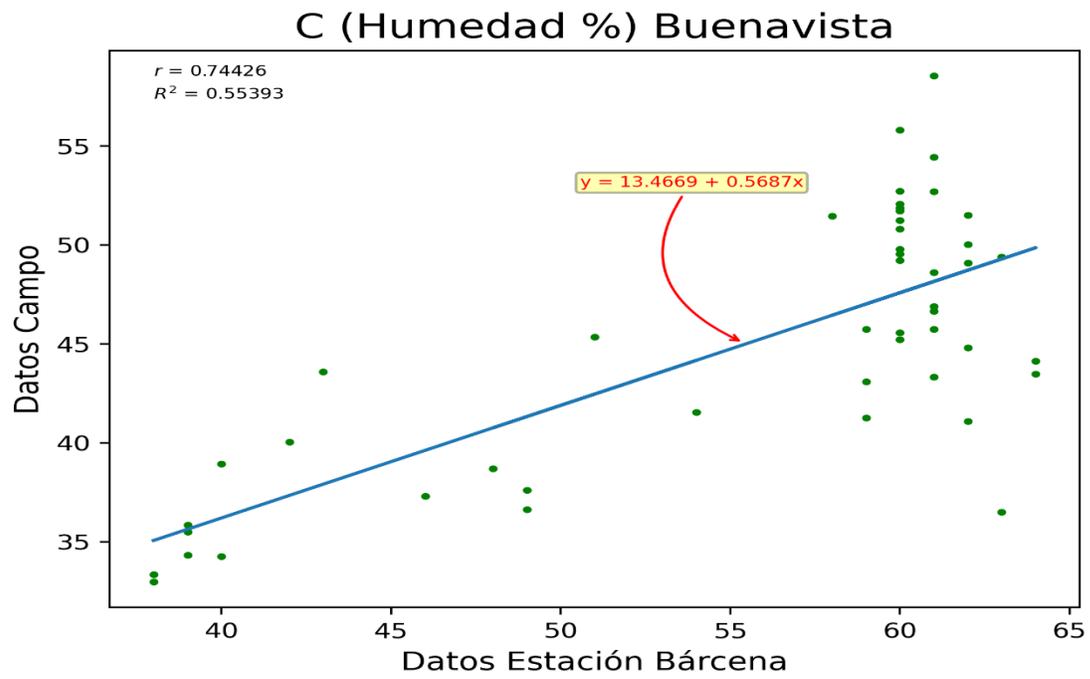


Figura 4.109. Comparativa de Humedad Campo- Bárcena en Buenavista 2019 C.
Fuente: Del autor.

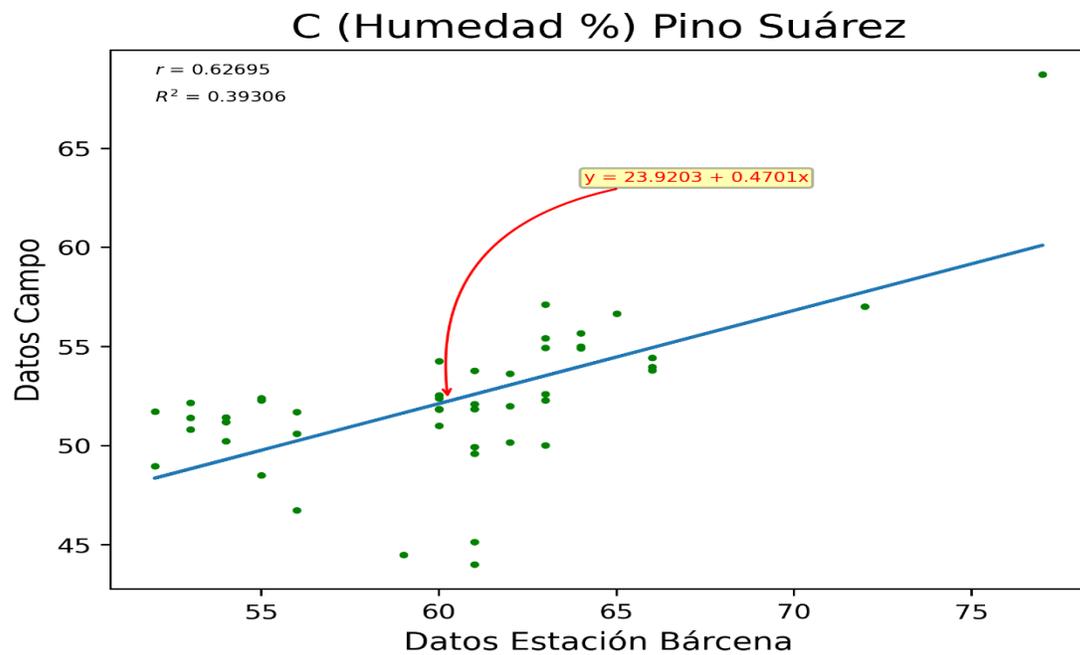


Figura 4.110. Comparativa de Humedad Campo-Bárcena en Pino Suárez 2019 C.
Fuente: Del autor.

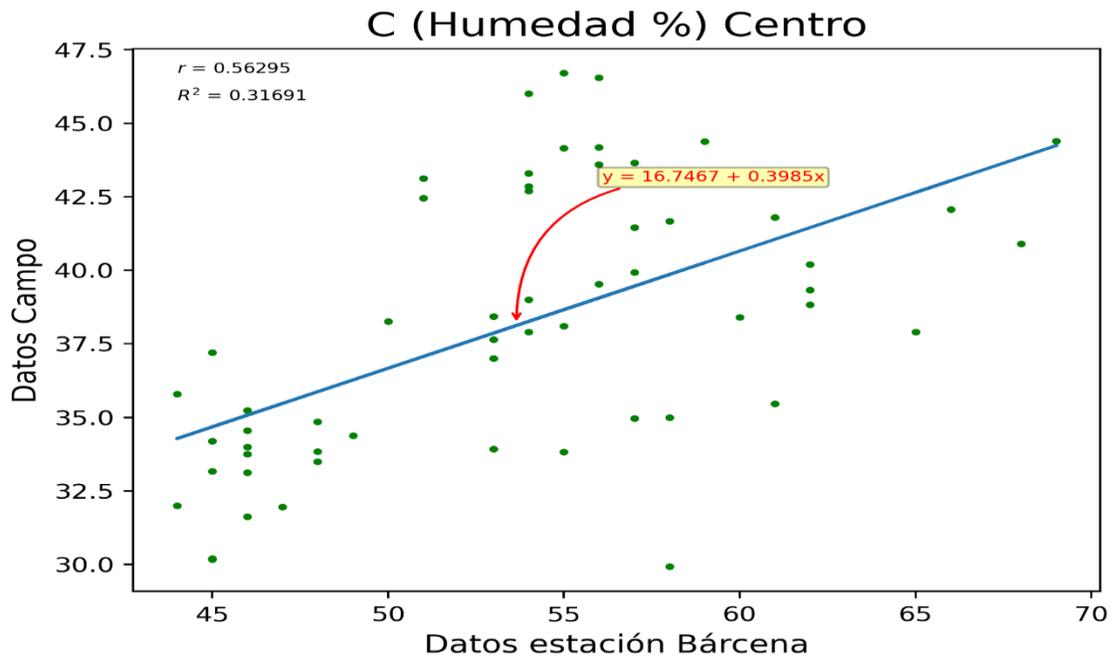


Figura 4.111. Comparativa de Humedad Campo-Bárcena en Centro Lerdo 2019 C.
Fuente: Del autor

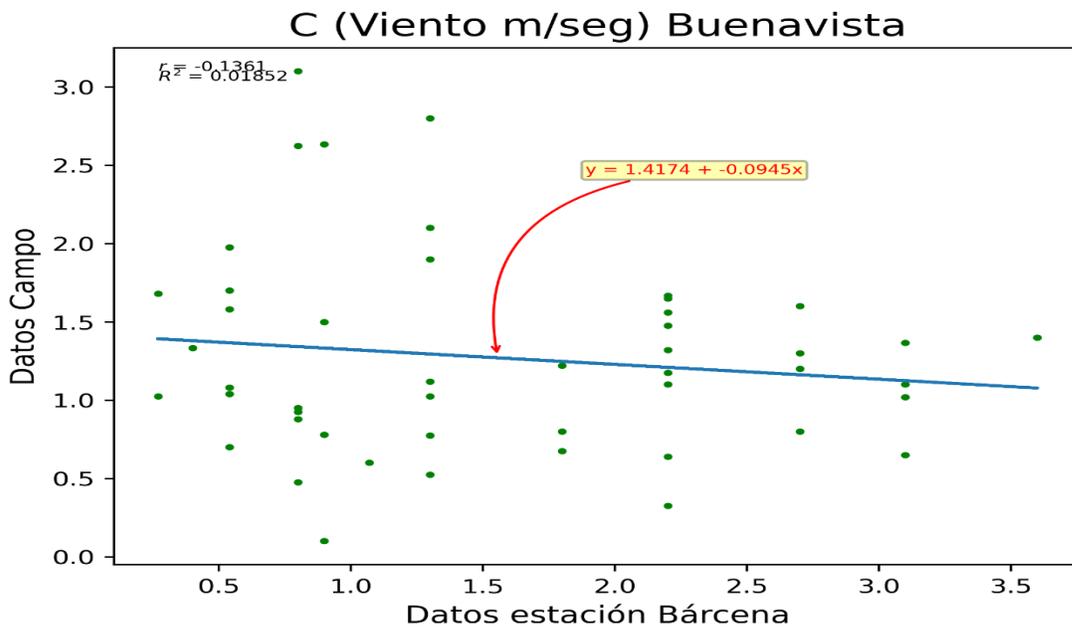


Figura 4.112. Comparativa de Viento Campo-Bárcena en Buenavista 2019 C.
Fuente: Del autor.

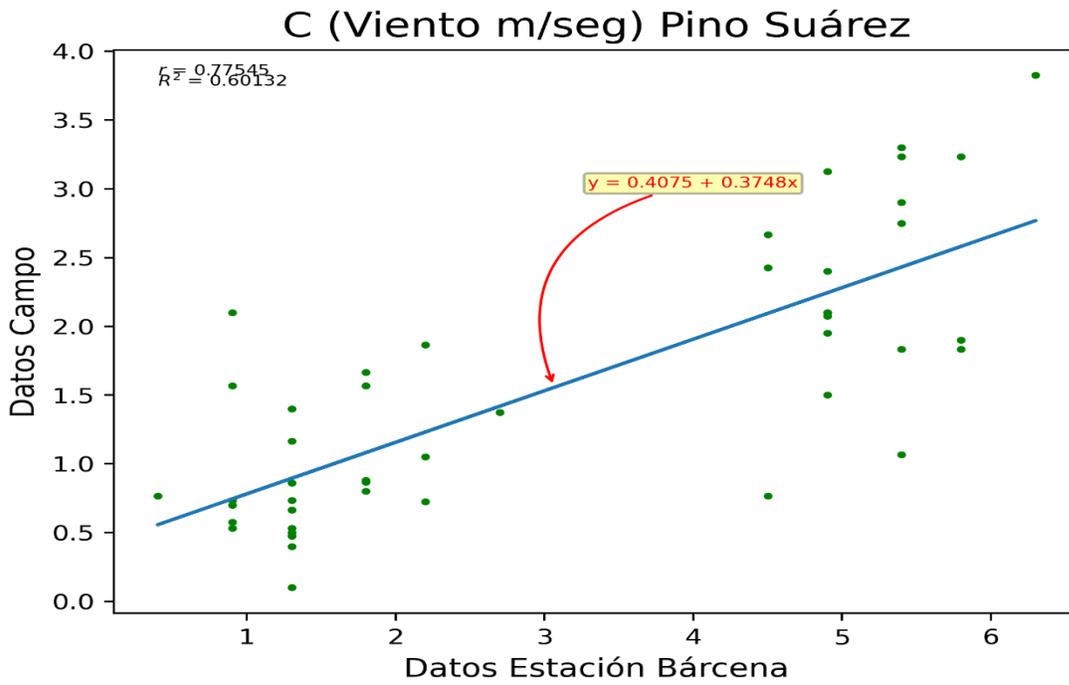


Figura 4.113. Comparativa de Viento Campo-Bárcena en Pino Suárez 2019 C.
Fuente: Del autor.

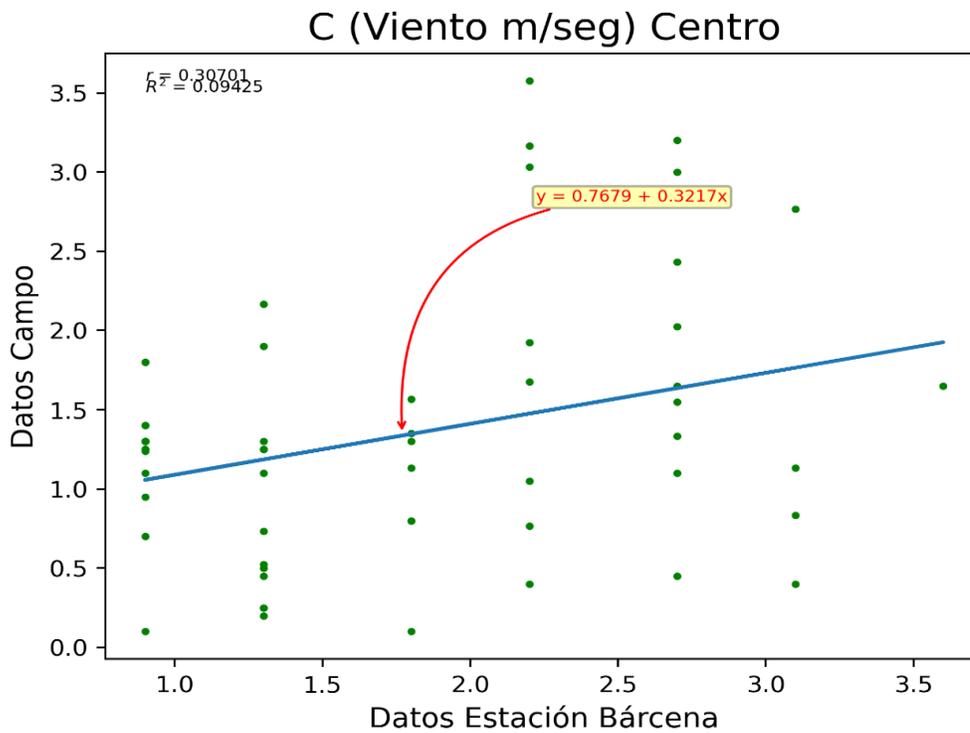


Figura 4.114. Comparativa de Viento Campo-Bárcena en Centro Lerdo 2019 C.
Fuente: Del autor.

En la variable de temperatura superficial la situación es diferente por dos razones: La primera es que la medición de esta variable no la practican las dos estaciones climáticas fijas RAMA y Mariano Bárcena, sino que es resultado de mediciones específicas en campo simultáneas a las otras tres variables. La segunda razón es que aunque existen datos que se acercan entre sí en las dos temporalidades 2018 A y 2019 C, los resultados de correlación no fueron buenos para las combinaciones entre sí de las tres estaciones, donde a excepción de Buenavista-Centro que resultó regular, las demás correlaciones tuvieron resultados malos, esto debido a que si bien la mayoría de las lecturas fueron sobre suelo duro (asfalto), la diferencia de intensidad vehicular y el tiempo de aparcamiento en cada uno, fue determinante para la diferenciación de resultados, quedando las gráficas como se indica a continuación en las figuras de la 4.115 a la 4.120.

Temperatura Superficial (Buenavista-Pino Suárez) 2018 A

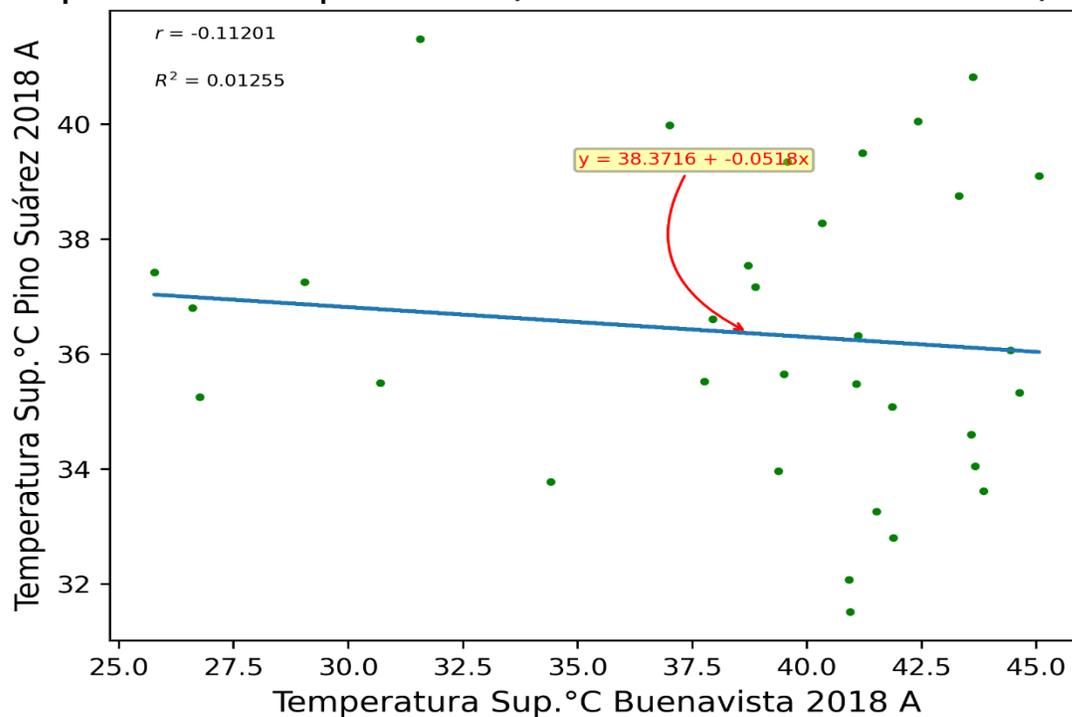


Figura 4.115. Comparativa de Temperatura Superficial en Buenavista-Pino Suárez 2019 C.
Fuente: Del autor.

Temperatura Superficial (Buenavista-Pino Suárez) 2019 C

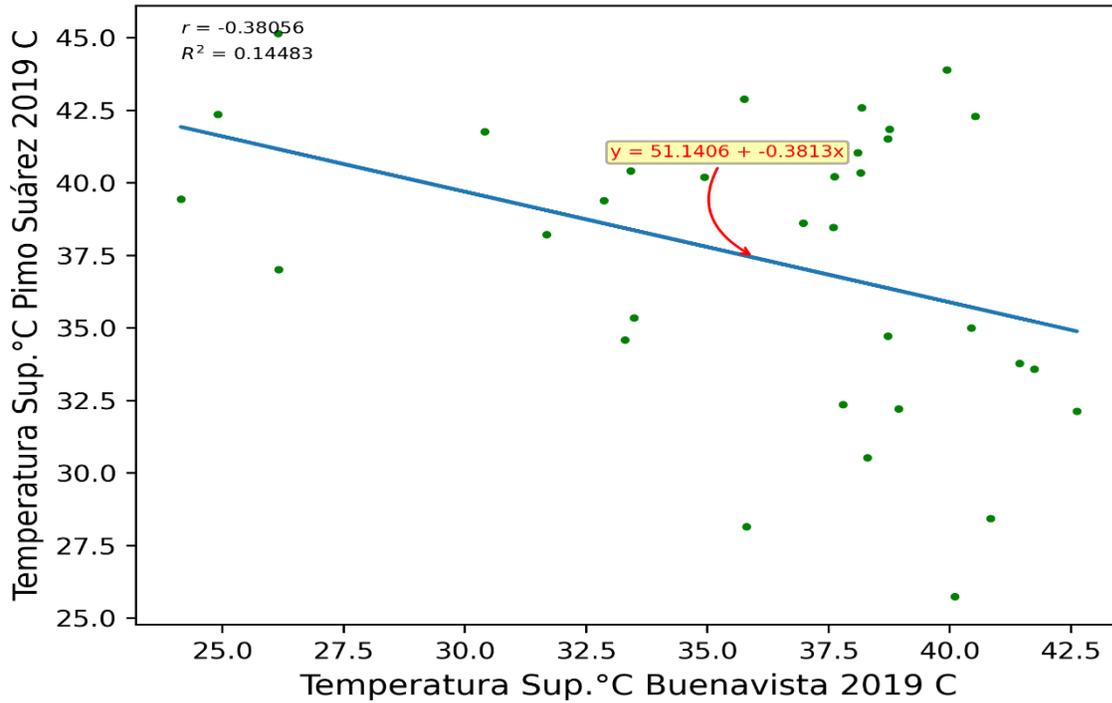


Figura 4.116. Comparativa de Temperatura Superficial en Buenavista- Pino Suárez 2019 C.
Fuente: Del autor.

Temperatura Superficial (Buenavista-Centro) 2018 A

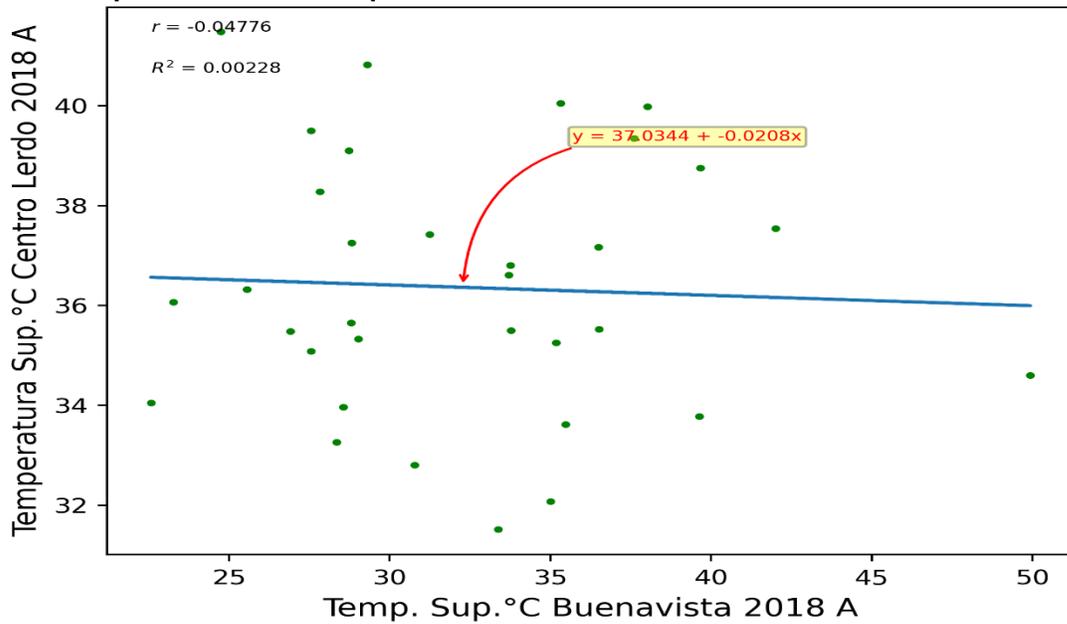


Figura 4.117. Comparativa de Temperatura Superficial en Buenavista-Centro 2018 A.
Fuente: Del autor.

Temperatura Superficial (Buenavista-Centro) 2019 C

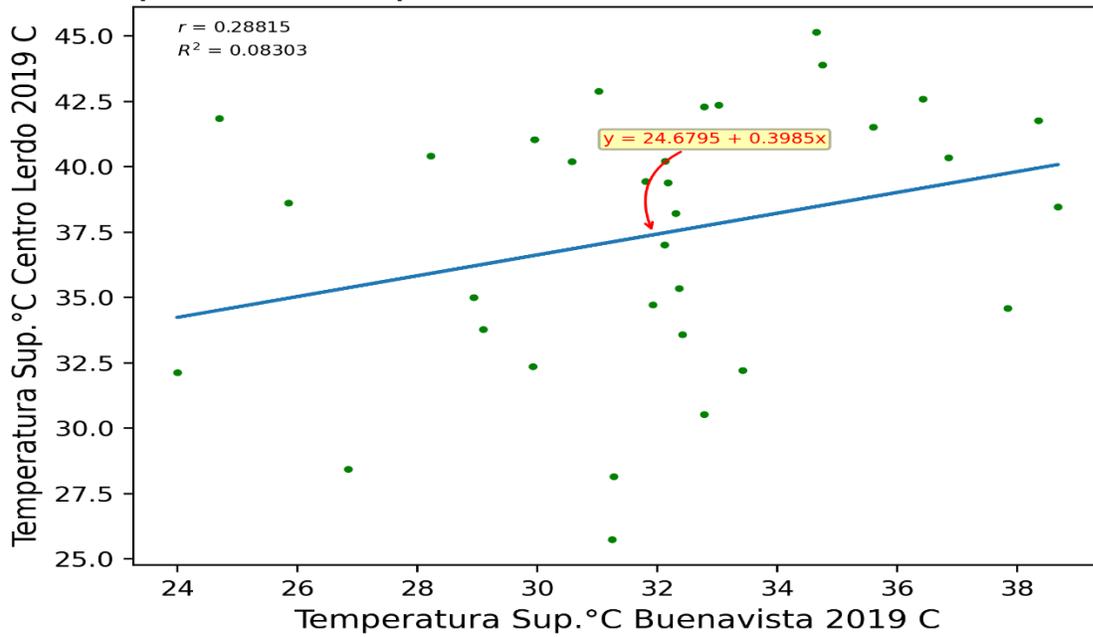


Figura 4.118. Comparativa de Temperatura Superficial en Buenavista-Centro 2019 C.
Fuente: Del autor.

Temperatura Superficial (Pino Suárez-Centro) 2018 A

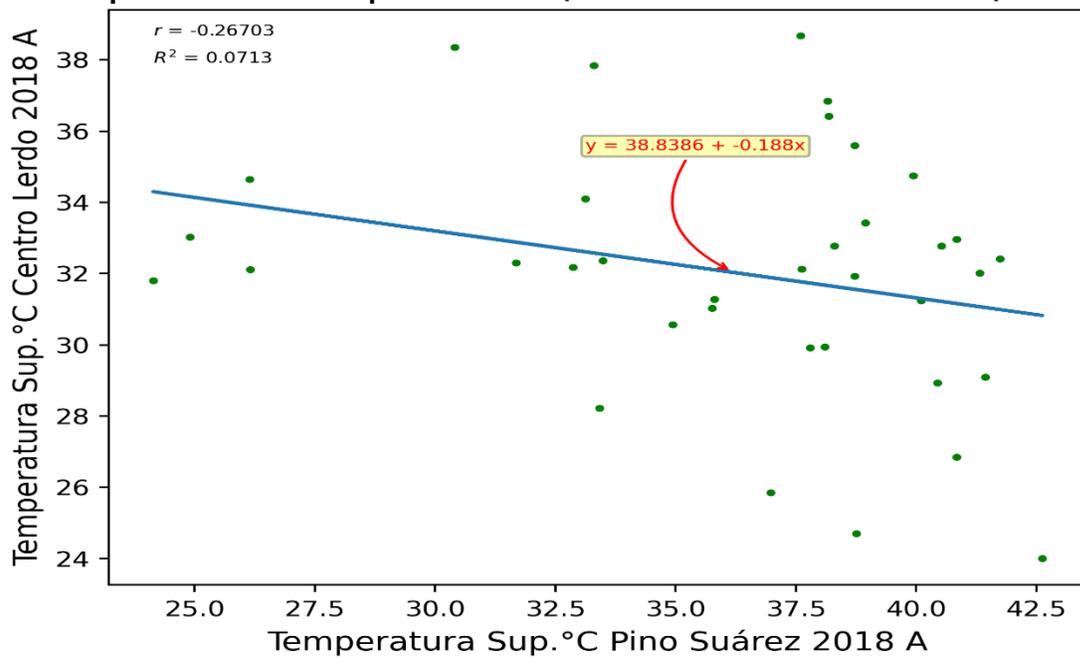


Figura 4.119. Comparativa de Temperatura Superficial en Pino Suárez-Centro Lerdo 2018 A.
Fuente: Del autor.

Temperatura Superficial (Pino Suárez-Centro Lerdo) 2019

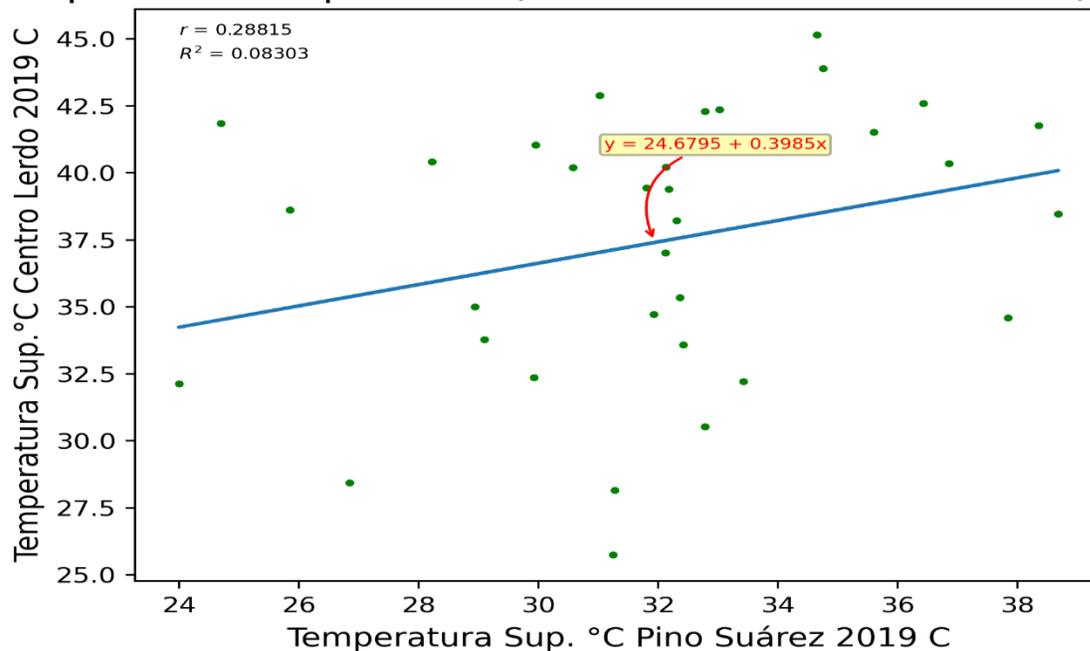


Figura 4.120. Comparativa de Temperatura Superficial de Pino Suárez-Centro Lerdo 2019 C.
Fuente: Del autor.

Viendo los bajos resultados de las gráficas de temperatura superficial entre las tres estaciones, se practicó el mismo ejercicio, solo que de cada estación misma en sus dos temporalidades extremas con diferencia de un año calendario, esto es 2018 A y 2019 C, en los meses de octubre y noviembre de cada año, situación que mejoró moderadamente los resultados, siendo el menos favorable el de la estación Centro Lerdo y el más favorable Buenavista, ocupando Pino Suárez un punto medio solo regular, resultando 0.72 para Buenavista, 0.57 para Pino Suárez y 0.38 para Centro Lerdo, quedando las gráficas como se indica en las figuras 4.121, 4.122 y 4.123.

Temperatura Superficial (Buenavista) 2018 A-2019 C

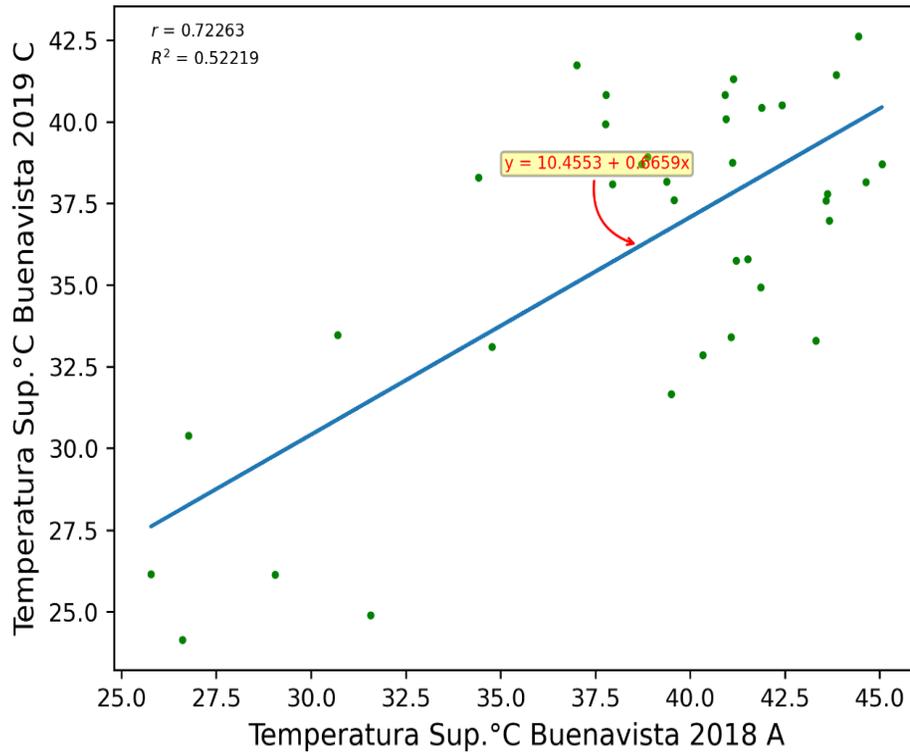


Figura 4.121. Comparativa de Temperatura Superficial en Buenavista 2018 A-2019 C.
Fuente: Del autor.

Temperatura Superficial (Pino Suárez) 2018 A-2019 C

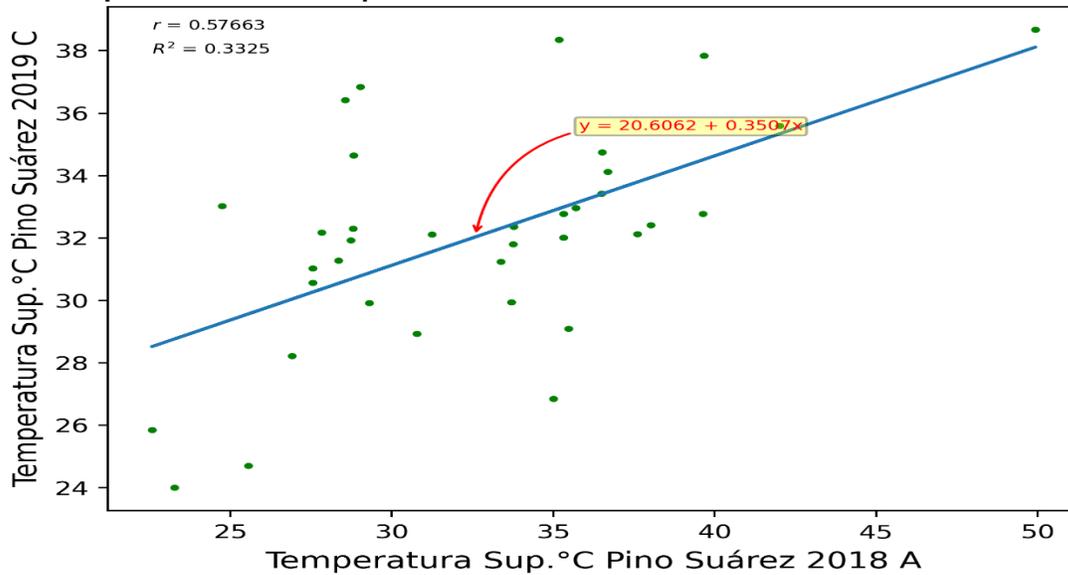


Figura 4.122. Comparativa de Temperatura Superficial en Pino Suárez 2018 A-2019 C.
Fuente: Del autor.

Temperatura Superficial (Centro) 2018 A-2019 C

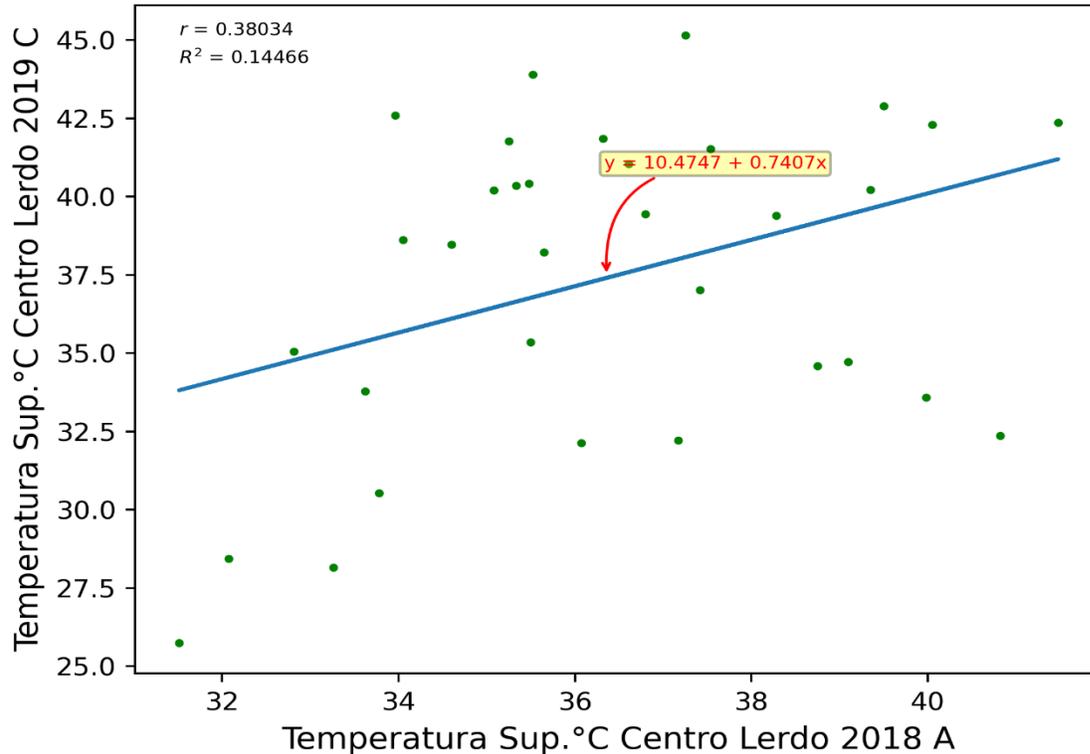


Figura 4.123. Comparativa de Temperatura Superficial en Centro Lerdo 2018 A-2019 C.

Fuente: Del autor.

4.9. Conclusiones de capítulo

El proyecto de investigación nació como una inquietud del destino y evolución del proyecto del tren interurbano México-Toluca, obra iniciada en 2014 en un determinado sexenio de gobierno federal, pero que a raíz del cambio de este, se vio afectada en el avance de la obra desde 2018, situación que ha modificado y afectado la idea original del proyecto, toda vez que para verlo realizado, funcionando y poder realizar la medición de variables para estudiar su comportamiento, pasará un determinado lapso de tiempo en el cual este trabajo de investigación, por reglamento académico, debe llegar a su conclusión, no sin antes sentar las bases para su continuación una vez puesto en marcha el sistema de transporte, considerando a la estación Pino Suarez como punto neurálgico para su estudio, así como se anexó posteriormente a la estación Buenavista como referente de comparación y finalmente se unió a estas dos, la “estación” centro, entre comillas porque no es estación como tal, más bien un parador de autobuses urbanos,

pero que ha servido como referente urbano para su comparación con los anteriores hasta antes de iniciar la nueva obra del “Parque del Centro Histórico de Toluca”, el periférico en Pino Suárez y semiurbano en Buenavista.

Se determinó la temporalidad de la toma de datos conforme avanzó la investigación, necesitando cada vez más datos climáticos para el estudio, hasta llegar no solo a requerir cada vez más datos de campo, sino también datos de estaciones climáticas fijas para su comparación con los primeros, por lo que se recurrió a RAMA (Red Automática de Monitoreo Atmosférico) dependencia del gobierno estatal y el laboratorio universitario Mariano Bárcena, cuyos datos sirvieron para los ejercicios de correlación, así como se determinó la ubicación de cada estación con sus respectivas coordenadas UTM. Toda vez que la finalidad del trabajo era determinar el impacto ambiental de la estación Pino Suárez del tren interurbano en su construcción comparado con la puesta en marcha, y al iniciar esta investigación en 2017 ya avanzada la construcción y sin la posibilidad de verlo funcionando para detectar el impacto y la posible isla de calor urbano y su comportamiento, situación imposible de alcanzar, el trabajo se concentró en analizar por medio de la regresión lineal, la correlación existente entre variables de cada estación y su comparativo entre estaciones.

Al iniciarse la toma de datos en campo, estas fueron apegándose a las normas de la publicación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) respecto a los instrumentos y métodos de observación publicados por Timothy Richard Oke el 23 de diciembre de 2015, programa iniciado en 2006 por la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (CIMO) señalando, entre otras directrices, especificar el nivel de escala a la que se está trabajando, si las mediciones son bajo techo o a cielo abierto, rugosidad de las superficies, la determinación de la capa dosel de los sitios de medición que determinan las condiciones de los sensores como altura sobre el nivel del suelo, la verticalidad del sensor respecto al horizonte, frecuencia de medición y, en general, procurar cierta homogeneidad del sitio y nodos de medición y coberturas del suelo en las diferentes zonas urbanas climáticas de medición, (UCZ) por sus siglas en inglés.

Se graficaron los resultados de cada variable por estación y por temporalidad, observando las diferencias más significativas para hacer una interpretación inicial de los

datos en cada nodo de las estaciones y compararlos con los resultados de las otras estaciones en sus diferentes temporalidades, después se realizaron pruebas de normalidad y diagramas de tendencia resultando la gran mayoría buenas, pues indicaron r^2 superior a 0.96. Se solicitó a la Facultad de Geografía apoyo para elaborar las gráficas térmicas de los sitios desde LANOT (Laboratorio Nacional de Observación Terrestre), recibiendo la solicitud y se proporcionando las gráficas indicadas, argumentando que en las fechas indicadas existió mucha nubosidad, no siendo posible mejorarlas, punto muy importante a futuro, debiéndose aprovechar al máximo esta nueva tecnología.

Se realizaron los ejercicios de regresión lineal en las diferentes temporalidades, en las tres estaciones y de las cuatro variables, tanto individualmente por estación como las posibles combinaciones entre las de campo y estaciones fijas, sobre todo de temporalidad, así como los ejercicios de temperatura superficial, variable que solo fue medida en campo, con los resultados señalados en las gráficas, algunos malos, la mayoría regulares y buenos, pero mostrándonos en las diferencias de r , que se requiere la aplicación de las estrategias de mitigación de manera intensa y estricta, según cada estación lo requiera, pero debe ser inmediata y permanente, ya que con la puesta en marcha del tren, es muy probable que se disparen.

CAPÍTULO 5. MITIGACIÓN Y POLÍTICAS APLICABLES

5.1. Propuestas de mitigación

Las áreas verdes, suelos desnudos y superficies de filtración y evaporación son cada vez menores en zonas urbanas debido a la urbanización, por lo que es una tarea de todo ser humano habitante de este planeta, pero sobre todo de los arquitectos, diseñadores, constructores, planificadores, geógrafos, topógrafos, ingenieros, naturalistas, ambientalistas y todo profesional dedicado a esta disciplina, el buscar y proponer alternativas de solución que mitiguen los efectos causados por la problemática descrita, en busca del confort térmico exterior y aliviar moderar o reducir los efectos de UHI en la mayoría de ciudades del planeta.

Las propuestas de mitigación pueden ser muy variadas dependiendo del área profesional desde donde se maneje, pudiendo ir desde la planificación urbana y la arquitectura hasta los recursos naturales, la gestión y el transporte, debiendo impactar positivamente el entorno y el clima local, que además de refrescar el medio ambiente inmediato, debe tender a reducir la demanda de energía de los edificios y evitar la contaminación del agua, el aire y reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Para la propuesta de estrategias se tomó como base el documento “Urban Heat Island Mitigation Strategies” editado por el Instituto de Sanidad y Salud Pública de Quebec en julio de 2009, cuyo autor es Melissa Guiguere, quien agrupa estas estrategias en cuatro categorías:

- Medidas de ecologización
- Medidas relacionadas con la infraestructura urbana, arquitectura y planificación
- Gestión de aguas pluviales y permeabilidad del suelo
- Medidas antropogénicas de reducción de calor

5.2. Medidas de ecologización

5.2.1. Vegetación y enfriamiento

Diversos artículos y estudios han sido publicados otorgando la importancia que corresponde a la vegetación y espacios verdes como alternativa para moderar los efectos de isla de calor urbano UHI (Akbari *et al.*,2001), la cual logra el enfriamiento del entorno a través del sombreado estacional de la infraestructura circundante y la evapotranspiración, minimizando la diferencia de temperaturas del suelo, proporcionando entre otros, beneficios muy significativos en la zona urbana, entre ellos:

- Mejora del aire por medio de la producción de oxígeno
- La captura de Carbono CO₂
- La filtración de partículas suspendidas
- La reducción en la demanda de energía para el aire acondicionado y calefacción
- Mejora en la calidad del agua por retención de lluvia
- Evita la erosión del suelo y saturación de drenajes en lluvias
- Proporciona protección contra rayos ultravioleta UV
- Reduce el estrés por calor
- Proporciona espacios para el ejercicio al aire libre

Se deben elegir adecuadamente los espacios para plantar acorde al entorno y la infraestructura que se pretenda proteger y mejorar, así como las políticas y gestiones que se quieran alcanzar, por ejemplo, proteger los edificios de la radiación con variedades caducifolias que permitan la ganancia solar deseable, pero que proporcione una sombra adecuada al inmueble, asegurando que cuando el árbol alcance su madurez, filtre cerca del 60% de la radiación solar y sirva de barrera protectora de vientos dominantes y ruido, pero que no afecte estructuralmente al edificio en su estructura y cimentación.

Se deben evitar las especies que emitan compuestos orgánicos volátiles como el Isopreno y monoterpenos así como las que sean de alta alergenidad, que se potencia por los niveles de Ozono, obteniendo variedades muy estresadas ocasionando que las sustancias se adhieran al polen aumentando su potencial alergénico, entre esas

variedades están el Abedul (*Betula pendula R*) y el Roble (*Quercus robur L*) con alta potencialidad, el Nogal (*Juglans regia L*) y el Álamo (*Populus alba L*) con potencialidad media y el Sauce (*Salix pendula M*), Olmo (*Ulmus minor M*) y Arce (*Hacer platanoides L*), de baja potencialidad.

En los planes de reestructuración urbana, Desarrollo y reurbanización, se debe considerar la incorporación de vegetación de especies nativas que sean tolerantes a las variaciones climáticas del lugar y la contaminación del entorno, asegurando que estas especies se adapten a al espacio disponible y sus condiciones físicas (Boulfroy,2009).

5.2.2. Estrategias de ecologización urbana

El único objetivo de una estrategia de ecologización es incrementar, en la medida de lo posible, el índice de vegetación de una entidad, pudiéndose aumentar la densidad vegetal a base de naturalizar espacios para uso del público garantizando el enfriamiento proporcionado por la vegetación, como:

- Corredores de transporte (bordes y carriles de carreteras, líneas de ferrocarril)
- Propiedades públicas (parques, terrenos municipales y estatales, patios y frentes escolares y guarderías, parques infantiles)
- Propiedad privada (perímetros de edificios residenciales, comerciales, e industriales)

Es importante señalar que el césped artificial no enfría el aire ambiental ya que las fibras sintéticas absorben el calor hasta en un 10% que un entorno natural con vegetación además de que no es permeable. Agregar vegetación en zonas urbanas escasas de naturalización incrementa el enfriamiento notablemente, por ejemplo, en una fila de arbolado se reduce la temperatura circundante del aire en 1°C, en tanto que, en un parque céntrico a una zona densamente urbanizada, se reduce la temperatura inmediata de entre 2°C a 6°C (Dimoudi y Nikolopoulou, 2003).

En un estudio realizado en Canadá donde se incluyó la ciudad de Montreal, se utilizó un modelo de mitigación de UHI para reducir el requerimiento de aire acondicionado y calefacción, consistente en aumentar el albedo de los materiales de construcción en un

20% (medio albedo), así como incrementar la cobertura vegetal a razón de tres árboles por casa, lo que traería beneficios de ahorro en el consumo de energía en calefacción del 10% y de 35% en el aire acondicionado, llegándose a observar diferencias de temperatura de hasta 3.5°C entre un vecindario con escasa cobertura vegetal y una franja anexa de vegetación de un ancho de 50 a 100 metros, apreciando que en verano una zona anexa a un área de vegetación tenía hasta 6°C más fría que una zona industrial sin vegetación, registrando 29°C la primera y 35°C la segunda (Akbari y Taha,1992), cuyo rango de enfriamiento se modificaba exponencialmente dependiendo de la magnitud de los espacios verdes, y en especial, por el viento que involucra en gran medida el enfriamiento, sobre todo si proviene de los vientos dominantes y está en dirección del parque o área verde referenciado.

5.2.3. Plantación selectiva de árboles y vegetación

La plantación del arbolado y la vegetación debe hacerse por personal calificado que conozca el suelo que se va a naturalizar, pues debe ser una plantación selectiva y variada que pueda desarrollarse hasta su adultez, dependiendo de factores como la calidad del suelo, disponibilidad de agua, espacio suficiente para el crecimiento óptimo de la raíz y después el mantenimiento de poda, fertilización y tal vez, de topiaria, dependiendo del entorno, estos últimos significan un costo por lo cual el interesado deberá considerar la inversión periódica del costo-beneficio, independientemente de que el drenaje de agua pluvial se beneficia con la calidad del suelo (McPherson,1994). Un árbol maduro genera enfriamiento por su capacidad de evapotranspiración y de la sombra que genera, sobre todo en suelo desnudo y sombreado, perdiendo hasta 450 litros de agua por evapotranspiración, equivalente a cinco aires acondicionados trabajando veinte horas diarias, pues el enfriamiento del suelo que proporciona el sombreado al mediodía en un parque, llega hasta 19°C menos que en una superficie asfaltada a la misma hora y la temperatura del aire a 1.20 metros de altura llega a ser de 2°C menor que en el estacionamiento de un centro comercial circundante (Johnston y Newton, 2004).

5.2.4. Ecologización de estacionamientos

Con la finalidad de crear sombra en superficies pavimentadas en estacionamientos de las ciudades generalmente cubiertos de asfalto o cemento, materiales de bajo albedo retenedor de la radiación solar recibida, se propone naturalizar los inmuebles con arbolado circundante en el predio, aparte de arbolar las granjas entre hileras de los cajones de estacionamiento, pues no solo habrá más frescura por evapotranspiración de la vegetación, sino que los árboles proporcionarán sombra, tanto al pavimento como al auto aparcado, en el primero proporcionando por sombra una extensión de la vida útil del material, que será 2°C más fresco que un pavimento no cubierto y en el segundo protegiendo al vehículo de los rayos solares, pues un auto es aproximadamente 7°C más frío a la sombra que uno estacionado bajo los rayos solares, esto independientemente de que existirá suelo desnudo para la filtración de agua pluvial al subsuelo y la vegetación ralentizará la caída de agua pluvial al drenaje, protegiéndolo de saturación de caída de agua en columna (McPherson y Muchnick, 2005).

5.2.5. Vegetación alrededor de los edificios

La vegetación y arbolado plantados alrededor de un edificio deben ubicarse al este y sureste y en fachadas al suroeste y oeste, y ser tan grandes y altos como sea posible, para que puedan sombrear la techumbre total o parcialmente, pues aparte de evitar la radiación directa, mantiene el suelo desnudo circundante a la construcción frío y húmedo, en temporada de lluvias y eso se refleja en el confort al interior del inmueble, independientemente de que existen alternativas de solución adoptados como enfriadores naturales al interior, que pueden ser enrejados, pérgolas, muros vivos, techos verdes y jardines de internos que proporcionan esa frescura por medio de la evapotranspiración. En los Ángeles se estudió durante varios meses la temperatura superficial entre dos edificios, uno a la sombra parcial tanto en sus muros como en la azotea y uno sin sombra, llegando a existir una diferencia máxima de temperatura en horario de mediodía de 11°C a 25°C entre ellos, evitando en el primero, el gasto de electrificación utilizada para utilizar un clima artificial, y lo que eso conlleva (figura 5.1) (Akbari *et al.*, 2001).



Figura 5.1. Naturalización alrededor del edificio.

Fuente: Urban Heat Mitigation Strategies.

5.2.6. Muros vivos

Lo importante de un muro vivo es crear un microclima alrededor del edificio que ayude a reducir las diferencias de temperatura aumentando la masa térmica de la construcción para mejorar su eficiencia energética, sobre todo en paredes y muros exteriores, pudiéndose implementar también al interior del edificio, obteniendo otros beneficios independientemente de mejorar el confort interno, como proteger la envolvente del edificio de los rayos UV, la captura de partículas suspendidas, proteger los muros del graffiti, desarrollar la biodiversidad y polinización, retener agua pluvial y otros más, considerando que debe cumplir con ciertas especificaciones para su implementación, como la construcción de una estructura vertical o soporte para la vegetación, sobre todo en estado de saturación hídrica y considerar que requiere periódicamente de mantenimiento, poda, deshierbe, fertilización y revisión de sustrato (Kingsbury y Dunnett, 2008).

Existen dos tipos de muros vivos; El primero prácticamente es una fachada verde, que aparte de prescindir de estructura, cubre la superficie de plantas trepadoras desplantadas desde el suelo y que pueden trepar hasta 30 metros de altura, entre esta variedad están la hiedra, de la cual existen cerca de 18 variedades, monedita, bugambillia, pasionaria y campanula. El segundo tipo es el muro vivo prácticamente dicho, compuesto de plantas

enraizadas en un soporte previamente preparado y que debe cumplir con cierta fortaleza y rigidez, así como garantizar la impermeabilidad del muro por medio de membranas que lo protejan de la humedad, entre esta variedad están la enredadera de Virginia, la hortensia trepadora, clemátide, madreselva, glicinas, pasiflora y algunas suculentas, previa preparación del sustrato (figura 5.2 y 5.3).

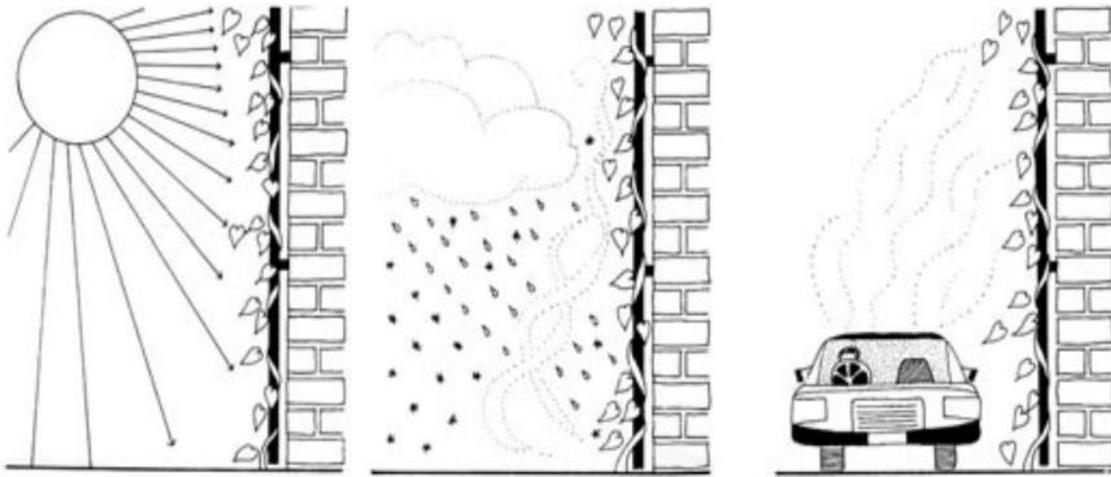


Figura 5.2. Algunas ventajas de muros vivos.
Fuente: Urban Heat Mitigation Strategies.



Figura 5.3. Tipos de fachadas verde.
Fuente: Urban Heat Mitigation Strategies.

5.2.7. Techos verdes

En un día normalmente soleado, un techo oscuro convencional alcanza 80°C de temperatura en su superficie, un techo blanco 45°C y un techos verde 29°C (Fischetti, 2008; Liu y Boss, 2005). Un techo verde intensivo instalado en Chicago normalmente es 7°C más fresco que uno convencional y, en etapas muy calurosas, esa diferencia puede llegar a ser de hasta 30°C, inclusive naturalizando solo el 25% de la azotea disponible, se puede llegar a generar una diferencia de temperatura al interior del edificio de 1°C a 2°C, lo cual reduce el uso de aire acondicionado, principalmente en verano.

Como resultado de la evapotranspiración y la sombra creada por las plantas en una azotea verde, se reduce el calor transferido del techo al interior del edificio al enfriarse el aire exterior que rodea la construcción, aumentando el aislamiento térmico, tanto en verano como invierno por factores como la inercia térmica de la cubierta vegetal, el agua acumulada en el medio de cultivo y que contribuye a:

- La integración estética de los edificios con el paisaje
- Apertura de opciones de agricultura urbana
- Mejoramiento en la calidad del aire, captura de polvo y contaminantes
- Mejora la calidad del agua y compensa la impermeabilización del edificio afectada por la huella ecológica del inmueble
- Extiende la vida útil de la azotea al brindar protección contra rayos UV y fluctuaciones de temperatura, que degradan las cubiertas y reducen la vida útil

La sana práctica de implementar un techo verde inicia desde el proyecto de construcción del edificio al considerar estructuralmente el peso de la azotea naturalizada y su peso, sobre todo saturada, en caso contrario, implica realizar gastos significativos para reforzar la estructura existente para soportar el incremento de peso, pudiéndose desarrollar la implementación tanto en losas planas como inclinadas de hasta 20% de pendiente, que requerirán para su instalación, como se ha indicado, primeramente de una estructura que soporte el peso, luego una capa aislante seguida de una capa impermeable y una membrana geotextil antiraíz que retenga el suelo, para finalmente el medio de crecimiento

que bien puede ser un sustrato preparado específico para la variedad de plantas que va a recibir, por tanto, los techos verdes pueden ser extensivos e intensivos.

En los techos verdes extensivos la capa de medio de crecimiento puede ser desde 2 hasta 30 centímetros de espesor con pesos que van desde 30 hasta 100 K/m², y un costo que va desde 100 hasta 150 dólares por metro cuadrado, de construcción normal en las capas antiraíz, de aislamiento y estanqueidad, pero de un mantenimiento mínimo o limitado donde se podrán desarrollar y crecer todo tipo de vegetación casual y espontánea que no requiera ser plantada ni darle mantenimiento, poda, fertilización a alguna mejora estética, sino que crecerá por la deposición de excrementos de aves, esporas suspendidas en el aire y sucesión natural.

En los techos verdes intensivos la situación es diferente, pues al desarrollar una vegetación específica, el sustrato preparado puede llegar a ser superior a 30 centímetros de espesor, por lo que se deberá tener especial cuidado en la estructura de soporte, llegando a pesar desde 120 hasta 350 kilogramos por metro cuadrado y un costo superior a 1000 dólares/m², lo cual dependerá del espesor del sustrato de la variedad a plantar, pero sobre todo va a requerir de mantenimiento similar a un jardín convencional, como poda, deshierbe, siembra, fertilización y riego, lo que genera un costo, pero se puede sembrar cualquier tipo de vegetación, desde sedum y suculentas resistentes a altas temperaturas y variaciones de humedad hasta arbustos y pequeños árboles, sobre todo de raíces adventicias de extensión horizontal (figura 5.4) (Laplace, 2009).

Characteristic	Type of green roof	
	Extensive	Intensive
Weight	Light Additional weight of 30 to 100 kg/m ²	Heavy Additional weight of 120 to 350 kg/m ² .
Cost	\$100 to \$150/m ²	Up to \$1,000/m ² . Depends on substrate depth and plants chosen.
Function	Ecological Adapted to large areas (industries).	Recreational use; urban agriculture Adapted to small and medium-sized surfaces.
Type of growing medium	Light, porous, little organic matter.	Light to heavy, porous, varying quantities of organic matter.
Thickness	2 to 20 cm.	30 cm or more.
Type of vegetation	Vegetation resistant to harsh climates (for example, sedums).	No restrictions. Type of roof that can accommodate trees.
Maintenance	Limited	Moderate Similar to a conventional garden; weeding, mowing, seeding, watering of plants, etc.
Accessibility	Infrequent For maintenance only.	Accessible for recreation or gardening.

Figura 5.4. Tabla comparativa de techos verdes extensivos e intensivos.
Fuente: Urban Heat Mitigation Strategies.

5.3. Medidas relacionadas con infraestructura urbana sostenible, Arquitectura y Planificación del suelo

5.3.1. Edificios

Las construcciones que desde su concepción y proyecto incorporan estrategias de protección térmica, normalmente están vinculados a dispositivos de sombra, tanto en su azotea como en fachadas, orientación respecto de la incidencia solar, materiales regionales amigables con el entorno, claros y reflectante, y en ocasiones de sofisticados sistemas de enfriamiento natural a base de agua reciclada y/o pluvial, por lo que es muy importante la etapa de prediseño, planeación, costos y mantenimiento.

5.3.1.1. Materiales reflejantes y amigable con el ambiente

La emisividad es una propiedad de los materiales de emitir la energía acumulada, como la energía calorífica almacenada por la radiación solar, y entre mayor sea la emisividad (Albedo) de un material, existe menor posibilidad de que almacene calor y por tanto, menor radiación a la atmósfera, en el caso de los edificios a través de los materiales de

construcción, entre ellos los del techo, el albedo se representa en una escala de 0 a 1, un albedo alto es por ejemplo, 0.70 lo que significa que esa superficie refleja una gran cantidad de radiación solar, por lo que la energía no radiada contribuye al calentamiento de esa superficie, cuyo coeficiente de emisividad está en función de la condición de la superficie, material, su color, rugosidad, reflectividad y en caso de los metales depende del grado de oxidación, un material con baja emisividad es un mejor aislante térmico (figura 5.5) (Liébard y DeHerde, 2005).

Factores de albedo y emisividad en materiales		
Material	Factor de emisividad	Albedo
Aluminio pulido	0.1	0.9
Hormigón común	0.9	0.2
Madera oscura	0.95	0.15
Ladrillo rojo	0.9	0.3
Cobre empañado	0.4	0.4
Mármol blanco	0.9	0.6
Pintura blanca	0.9	0.8
Yeso	0.9	0.9

Figura 5.5. Tabla de factores de emisividad y albedos de varios materiales.

Fuente: Urban Heat Mitigation Strategies.

La industria de los materiales de construcción, sobre todo en techos, han desarrollado materiales actuales como revestimientos de alto rendimiento basados en membranas polímeras y elastoméricas, baldosas de color claro y gravas, con albedos más altos que los materiales tradicionales (Akbari *et al.*, 2006), cuyo uso solo se recomienda para techos planos en áreas urbanas con gran efecto de isla de calor urbano UHI, pues instalados en cubiertas inclinadas, producen deslumbramiento (Nicolopoulou, 2005), perdiendo este tipo de materiales reflectantes, un porcentaje de efectividad motivado por el polvo y suciedad acumulada en el recubrimiento de la techumbre, por lo que requieren un mantenimiento y limpieza con cierta periodicidad.

5.3.1.2. Arquitectura bioclimática

Tomando en cuenta las condiciones climáticas del entorno, la envolvente y orientación del edificio y otros aspectos medioambientales, la Arquitectura Bioclimática aplica estos principios para proteger al edificio del sobrecalentamiento en verano para garantizar el

confort térmico interno de los ocupantes del edificio, sobre todo a las personas vulnerables al calor (Liebard y DeHerde, 2005).

5.3.1.3. Aislamiento y estanqueidad del edificio

Los puentes térmicos son defectos de Diseño y construcción existentes en los edificios que permiten el ingreso de calor al edificio en verano y de frío en el invierno, por lo que se pretende que la construcción tenga aislamiento y estanqueidad, parámetros asociados a climas fríos pero que son fundamentales para controlar la refrigeración del edificio, pues aparte de prevenir la penetración del frío, ayudan a calentar el edificio a través de los muros, techo, suelo y ventanas, utilizando técnicas actuales e innovadoras que permitan localizar y reparar esos defectos, entre ellos la termografía con infrarrojos para visualizar la temperatura de la envolvente del edificio, pues una buena estanqueidad, aparte de reducir la penetración de aire caliente, se puede combinar con un sistema de ventilación adecuado que garantice la calidad del aire saludable y fresco al interior (Déoux, 2004).

5.3.1.4. Inercia térmica

La capacidad de un material para almacenar calor y luego liberarlo en un cierto tiempo es el retraso de fase y se conoce como inercia térmica y entre sus características está la velocidad con la que el calor penetrará en el material llamado efusividad y su capacidad para liberarlo por medio de la difusividad, entre mayor sea el tiempo que tarda el calor en atravesar el grosor del material, mayor será su difusividad. Para reducir la cantidad de calor transmitido a un edificio, los materiales de construcción deben tener baja difusividad y alta efusividad, los materiales de alta inercia pueden almacenar el exceso de calor, evitando que este se transmita al medio ambiente mejorando el confort térmico, cuyo calor contenido en los materiales es liberado entre 6 a 10 horas después de almacenar el calor, o sea, al final del día cuando se lleva aire más fresco al interior.

Algunos materiales con buena inercia son la piedra, el concreto, la tierra y el ladrillo rojo, los cuales deben ser colocados en la construcción donde exista radiación solar y se garantice, al menos, el 50% de los muros en esa orientación, asegurando el potencial de enfriamiento de los materiales de alta inercia en el edificio, para prevenir el sobrecalentamiento y retener la frescura del aire nocturno durante el día y por medio de

un buen aislamiento y mejor estanqueidad previstos desde la concepción, proyecto y construcción del edificio (Oliva y Courgey, 2006).

5.3.1.5. Ventanas

Tanto en verano como en invierno, el punto débil del aislamiento térmico son las ventanas, cuya funcionalidad térmica se puede mejorar a base de:

- Ventanas inteligentes de baja emisividad reductora de ganancia solar al interior del edificio, adaptadas a la estación geográfica y ángulo de inclinación de la radiación incidente que permite el paso de la luz en invierno cuando el sol está más bajo y limita la radiación en verano cuando el sol está más alto.
- Ventanas de doble o triple acristalamiento con espacio de aire entre ellos, el cual reduce o minimiza el intercambio de calor por conducción y convección, ya que existe entre los cristales un espacio de entre 16 a 20 milímetros que pueden aumentar su capacidad de aislamiento si se inyecta un gas no tóxico ni inflamable, como Argón o Kriptón.
- Película de plástico autoadhesiva bloqueadora del 98% de radiación UV y del 75% de calor solar térmico

El uso de ventanas inteligentes y de alta y baja ganancia solar dependerá de la ciudad donde se ubique la construcción, la altura sobre el nivel del mar y otros factores relacionados con el entorno y humedad, previendo en no rebasar los límites permisibles de confort del lugar. Se puede considerar a los tragaluces, domos y claraboyas como una alternativa de generación de confort térmico al interior, siempre y cuando se pueda controlar y vigilar la radiación con vegetación y ventilación al interior.

5.3.1.6. Dispositivos de sombreado

Son instrumentos o artefactos que se instalan al exterior y alrededor del edificio en puertas y ventanas para limitar la entrada de radiación solar en verano, pero que permiten la entrada de luz solar en invierno, los cuales requieren mediciones y diseños precisos y específicos para evitar la pérdida de insolación en invierno cuando el sol está más bajo, pero estos dispositivos no funcionan para proteger al edificio de la radiación recibida por la envolvente. En verano, es conveniente que los dispositivos internos de sombra sean

de color claro y que abarquen la totalidad de la ventana, tanto fijos como móviles, estando entre ellos:

- Voladizos de techos y balcones
- Pérgolas
- Lonas móviles de sombreado
- Baffles de sol
- Cortinas, persianas y sombrillas
- Pantallas y toldos solares
- Estructuras a base de láminas y policarbonatos

5.3.2. Infraestructura vial

5.3.2.1. Albedo muy alto en los pavimentos

Los pavimentos reflectantes tienen mayor reflectividad solar (Albedo) en comparación con los pavimentos convencionales de color oscuro (Pomerantz,1999), logrando con la utilización de superficies de color claro o aplicando un recubrimiento de color claro sobre la superficie oscura. El albedo en color claro en los pavimentos varía de 0.2 a 0.3 para superficies rojas y verdes, de 0.6 a 0.7 para grises y blancas, y las de asfalto de color negro exhiben valores de menos de 0.1, por tanto, al aumentar la reflectividad solar de los pavimentos, se reduce la temperatura de la superficie, utilizando el aire cercano a ellas como una potencial estrategia de mitigación, teniendo las superficies claras valores superiores de albedo que las superficies oscuras, toda vez que el albedo de la tierra es de 37 a 39% de la radiación proveniente del sol, midiendo 0.0 un cuerpo negro que absorbe toda la radiación incidente y 0.9 la nieve, que es uno de los elementos que más refleja la radiación solar. El albedo se mide con un aparato llamado albedómetro en escala de 0 cero a 1 uno, es adimensional y un albedo alto enfría el planeta ya que la radiación absorbida para calentarlo es mínima, al contrario de un albedo bajo que, al ser absorbida la mayor parte de la radiación, calienta el planeta.

El efecto de isla de calor urbano UHI es un fenómeno en el cual las áreas urbanas experimentan mayor temperatura en comparación con sus alrededores suburbanos y

rurales, en cuyo entorno urbano de tierra abierta, desnuda, agrícola y vegetal, es reemplaza por edificios, carreteras y otras estructuras que provocan aumento de calor y disminución de pérdidas térmicas (Santamouris,2001), ya que más del 90% de la temperatura en zonas urbanas se debe al calor sin evaporización acumulado en los materiales de construcción de los edificios y solo del 1 al 10% proviene de emisiones de vehículos y fábricas (Rosenfeld, 1998), teniendo impactos negativos en el confort térmico y la salud así como en la energía que consume el edificio, la calidad del aire y los gases de efecto invernadero.

Los pavimentos cubren entre de 30-40% del tejido urbano afectando significativamente el clima en la ciudad (Akbari *et al.*, 2001), cuyo equilibrio térmico se determina por la radiación absorbida y retenida, la radiación emitida, la pérdida por convección del aire y el enfriamiento del suelo mojado, pues la evaporación del agua enfría la superficie, más si la mayoría de los pavimentos existentes y convencionales son de materiales impermeables de bajo albedo, como el asfalto y el hormigón, que absorben en una cantidad mínima el agua y gran parte de radiación se incide o refleja, ocasionando altas temperaturas en periodos de calor impidiendo los beneficios de la evaporación, a pesar de acumular agua pluvial estancada en su superficie.

En los últimos años y como una de las estrategias de mitigación propuestas por la comunidad científica, está el uso de los llamados “pavimentos fríos o frescos (Cool)” que conducen la temperatura a una superficie más baja y aumentan la reflectividad solar de enfriamiento por evaporación (Santamouris, 2001), los cuales se dividen en:

- Pavimentos reflectantes de alta emisividad para disipar la energía solar
- Pavimentos permeables que utilizan el calor latente de la evaporización para reducir la temperatura de la superficie (figura 5.6.)

Pavimentos fríos o frescos (Cool)	Pavimentos reflectantes Mayor reflectividad solar (Albedo) valor 0 en cuerpos negros que absorben toda la radiación Pavimentos convencionales de 0.2 a 0.3 Valor 1 en cuerpos blancos que reflejan la incidencia Superficies rojas y verdes 0.6 a 0.7 Nieve 0.9
	Pavimentos permeables Contienen más huecos o poros para permitir el paso del agua Ventajas Reducción de corriente de escorrentía Recarga de agua subterránea Reducción de descarga de contaminantes Mejora del aire por enfriamiento de evaporización Disminución de ruido en calles y carreteras

Figura 5.6. Tabla comparativa de pavimentos reflectantes y permeables.

Fuente: Urban Heat Mitigation Strategies.

5.3.2.2. Incremento del albedo por la pintura de los autos

Similar a los resultados de superficies y materiales oscuros en edificios y pavimentos, el incremento del albedo por la pintura de los autos con una alta tasa de reflectividad solar tiende a ser alentado al contener pigmentos que aumenten el albedo de la pintura en aproximadamente 17.5% en promedio (Ihara,2006).

5.3.2.3. Características del entorno construido

Los indicadores morfológicos como la rugosidad, densidad construida, el albedo en las superficies y la geometría urbana, están directamente correlacionadas con el calor del entorno urbano, por ejemplo, la morfología urbana puede crear cañones urbanos quedando atrapados los contaminantes y partículas suspendidas ocasionadas por emisiones antropogénicas y calor atmosférico, las falta de corrientes de viento dispersoras, motivando a proyectistas, planificadores y constructores a prestar especial atención en el diseño urbano de las ciudades, debiendo considerar los parámetros de confort térmico acordes la climatología y morfología del lugar, debiendo integrarlos en sus estudios y proyectos:

- La planeación del uso del suelo promoviendo una óptima circulación del viento, sobre todo en verano y ciudades de alta humedad, pues al integrar los cuerpos de

vegetación y arbolado a los elementos de agua como ríos, cascadas, fuentes y albercas con la generación de viento, se incrementa el enfriamiento del lugar

- Promover, construir y preservar los jardines y espacios verdes distribuidos estratégicamente que faciliten el acceso peatonal caminando cuando mucho 20 minutos a cualquier casa o residencia, así como crear pasajes y andadores con suelo desnudo, de césped y arbolados en la zona urbana debidamente orientados a favor del viento para refrescar el aire ambiental
- Promover el transporte público colectivo y desalentar el uso del automóvil particular, tratando de optimizar el modelo urbano al reordenar y desarrollar rutas de transporte público y tránsito (Coutts *et al.*, 2007)

5.3.2.4. Acceso a instalaciones de enfriamiento

Centros de enfriamiento

Las áreas de enfriamiento por clima artificial en centros comerciales, escuelas, centros culturales, escuelas, museos, oficinas y otros locales, son importantes para suministrar alivio a los habitantes de una zona urbana, y aunados a instalaciones de agua como fuentes, piscinas y estanques, reducen el calor y las fluctuaciones de temperatura y creando microclimas. El acceso a instalaciones acuáticas, naturales o artificiales permite al usuario mitigar el calor y refrescarse, independientemente de refrescarse al contacto con el agua, ayuda a la evaporización del aire, enfriando el entorno.

Protección solar en zonas públicas

Afectando el confort térmico, la radiación solar directa incrementa nuestra percepción de temperatura e impacta de forma importante en nuestro bienestar (Watkins *et al.*, 2007), y al igual que afecta edificios, estructuras y pavimentos, es requerida una sombra que proteja a las personas de la exposición directa de rayos UV, causantes de daños en la piel y de cáncer, la cual puede ser natural o artificial, ambas con condicionantes de servicio y/o mantenimiento.

5.4. Gestión sostenible de agua pluvial

Los suelos húmedos tienen características de enfriamiento similares a la vegetación ya que sus superficies son más frías que los suelos secos, estableciéndose una correlación directa entre los niveles de humedad del suelo y la mitigación de UHI (Lakshmi *et al.*, 2000). El manejo sostenible del agua pluvial y el control de la contaminación del agua se promueve con la finalidad de aprovechar este recurso en la humectación del suelo en entornos urbanos garantizando así, la disponibilidad de agua para plantas, zonas verdes, jardines y zonas arboladas, cuyas prácticas sostenibles de bajo impacto requieren instalaciones menores para su almacenamiento a fin de evitar su contaminación por escorrentías (Endreny, 2008).

Para promover la filtración de agua al subsuelo se deben considerar algunos factores como la profundidad del nivel freático, el tamaño y porosidad de las partículas del suelo y algunos riesgos de contaminación, pues si el sitio cuenta con sedimentos contaminantes producto de sitios industriales, estacionamientos o materiales de relleno, debe realizarse un estudio del lugar así como el monitoreo y mantenimiento del lugar, previniendo la contaminación de los acuíferos subterráneos y evitando infiltraciones de bajo nivel que generen escorrentías similares a las de superficies impermeables.

5.4.1. Arbolado y techos verdes

La capacidad de retención de agua pluvial depende en gran medida del tamaño de los árboles, su follaje, la textura, la corteza, pero sobre todo del sistema de raíz, que es donde se puede optimizar la infiltración de agua al subsuelo. Se ha relacionado recientemente las cualidades de los techos verdes con el reverdecimiento de las áreas urbanas donde, aparte de mejorar la calidad del aire, reducir la temperatura por evapotranspiración, la captura de partículas suspendidas y evitar el uso de aire acondicionado en el edificio, capturan y retienen gran cantidad de lluvia en su follaje y sustrato, dejándolo caer lentamente, donde también es retenido, liberándolo lentamente ya sea en un aljibe para su posterior reutilización o infiltrándose lentamente al subsuelo, evitando la saturación y el desgaste por presión del drenaje y colectores municipales, estas cualidades

dependerán del espesor del sustrato, la inclinación del techo, el tipo de plantación y la intensidad de la precipitación (Oberndorfer *et al.*, 2007).

5.4.2. Superficies permeables

Son las que permiten que la lluvia se filtre a través del pavimento poroso, la vegetación, el suelo desnudo o sustrato y que permita una infiltración profunda que retroalimente los mantos acuíferos, para lo cual se utiliza una capa superficial de grava que facilite la infiltración, siempre y cuando el suelo no esté demasiado compactado, lo cual no es muy común en zonas urbanas por la circulación de transportes, clasificándose las superficies permeables en:

- Adoquines impermeables entrelazados entre sí que permiten la infiltración de agua entre sus articulaciones y juntas, que son utilizados en tránsitos ligeros como patios escolares, circulaciones peatonales, parques y jardines, ciclovías y estacionamientos, sin tener la capacidad para calles y circulaciones pesadas pues son vulnerables al frenado repentino de vehículos pesados.
- Los adoquines de concreto poroso que permiten que el agua se filtre a través de pequeñas cavidades que se obtienen de una mezcla de concreto sin agregados cuyo mantenimiento y limpieza debe ser con lavadora o aspiradora para evitar que el polvo y otras sustancias obstruyan las cavidades, este material es muy recomendable en circulaciones peatonales pues sus juntas no implican una buena resistencia mecánica.
- Sistema de rejillas, las cuales cubren con tierra que permita desarrollar hierba o pasto que facilite la infiltración, sistema muy recomendado para estacionamientos por soportar ciertas cargas medianas (Gilbert y Clausen, 2006).

5.4.3. Jardines de lluvia

Con el objeto de reducir la escorrentía, aumentar la permeabilidad del suelo y facilitar la infiltración de lluvia al subsuelo para regeneración de la capa freática, existen los jardines de lluvia, que no es otra cosa sino una cama plantada de vegetación o cubierta de piedra con la única finalidad de recibir agua pluvial y que esta sea absorbida lentamente, cuyas

dimensiones dependen del volumen de agua a recibir y cuya longitud debe ser mayor que la anchura y su ubicación debe ser perpendicular a la pendiente, requiriendo para su composición de piedra y plantas resistentes a la humedad, como la espadaña (*Typha latifolia* y *angustifolia*), los helechos y plantas acuáticas (Smeesters, 2008).

5.4.4. Estanques de retención

Son similares a los jardines de lluvia, solo que más grandes, pues consiste en una depresión o hueco excavado en el suelo para que reciba el escurrimiento y permita la infiltración al subsuelo, por lo cual existen dos tipos de estanques de retención: El primero son los estanques de retención húmedos que contienen agua permanentemente estancada y los tanques de retención secos, que proporcionan otros beneficios como la creación de paisajes vegetales, jardines y áreas de juego, los cuales en zona urbana pueden minimizar la contaminación atmosférica incorporando tanques de sedimentación y la creación de plantas acuáticas, sistema muy utilizado en áreas industriales y estacionamientos (Yamada *et al.*, 2001).

5.4.5. Zanjas de remojo e infiltración

Compuestas por trincheras lineales y poco profundas como de 1.00 metros donde se recibe la escorrentía por infiltración y se cubre con una cubierta de guijarros y/o césped, utilizándose también para accesos vehicular y peatonal, integrándose de buena forma al contexto por utilizar poco espacio, es importante su mantenimiento periódico como desazolve y deshierbe para evitar que se acumule la sedimentación y alargar la vida útil.

5.4.6. Pozos secos

Se utilizan comúnmente para recibir el agua pluvial proveniente de los techos y son de un diseño simple y ocupan poco espacio, siendo una buena opción porque su medio de sedimentación lo componen camas de grava y arena consolidadas circundantemente que permiten la infiltración al subsuelo, pero deben estar protegidas superficialmente para evitar accidentes.

5.4.7. Estructuras de embalse de pavimentos para su riego con agua reciclada

Son reservorios comúnmente ubicados en acotamientos y camellones y son permeables para agua y aire, no requieren espacio adicional y se integran de buena forma al entorno, por tener menor densidad y mayor albedo, almacenan menos calor, pero son superficies que requieren cierto cuidado, limpieza y mantenimiento para evitar la obstrucción y garantizar una buena permeabilidad (Backstrom and Viklander, 2000).

5.5. Medidas antropogénicas de reducción de calor

5.5.1. Control de la producción del calor en edificios

El calor generado al interior de un edificio contribuye al sobrecalentamiento del mismo en verano, sobre todo al incrementarse la radiación solar directa y con un deficiente aislamiento térmico, el cual es responsable de un incremento de temperatura de entre 2°C a 3°C en áreas urbanas y ciudades densamente pobladas (Taha,1997), pues los electrodomésticos, focos, luminarias, bombillas, computadoras y otros artefactos eléctricos consumen gran cantidad de energía, generando calor al interior, que representa una fuente de calor difuso en las construcciones.

5.5.1.1. Iluminación natural e iluminación artificial

Las bombillas, focos y lámparas eléctricas, tanto halógenas como incandescentes, generan calor al interior de la construcción, ya sea por radiación o por convección (a través de materiales, evaporación de agua o fluidos), la cual se absorbe por los muros y materiales cercanos y cuando estos elementos alcanzan su capacidad de almacenamiento, el calor restante es regresado al aire ambiental. Una bombilla de halógeno de 500 watts usa solo el 6% de electricidad para producir luz, disipándose el 94% restante en forma de calor (Salomon y Aubert, 2004).

Una bombilla fluorescente de bajo consumo, aparte de proporcionar la misma cantidad de luz que una bombilla incandescente, consume cinco veces menos energía que esta y dura diez veces más tiempo, pero es importante tener precaución en su vida útil y su deshecho, ya que contienen Mercurio, material muy toxico y contaminante, por lo que su

destino final debe ser en un lugar especial de reciclaje. Existen algunos métodos que regulan el calor en la iluminación artificial, como:

- Control del flujo luminoso ajustando gradualmente la intensidad de luz artificial según la luz natural recibida del exterior
- Uso de temporizadores programables para controlar el horario de iluminación en lugares de iluminación fijas como empresas, escuelas y oficinas
- Interruptores de temporizadores preestablecidos para apagar la luz después de un retraso dado o uso poco frecuente
- Sensores de movimiento que prendan la iluminación solo cuando la habitación esté ocupada
- Dispositivos de sensores en una habitación o edificio que calculen la iluminación natural y dosifiquen la iluminación artificial, según las necesidades

Se debe optimizar el uso de la luz natural en edificios habitacionales como oficinas y hospitales, pero es imprescindible su uso en locales como laboratorios, quirófanos y fábricas, cuidando que el ingreso de luz natural aunado a un paisaje agradable, ayuden sensorialmente a los ocupantes, por ejemplo, a un paciente en su recuperación o el aprovechamiento académico de los alumnos en un aula (Levy, 1978). Los vanos y aperturas que permiten el ingreso de luz natural deben protegerse con dispositivos de sombra que protejan a los ocupantes de la radiación solar directa (Liebard y DeHarde, 2005). Al inicio del proceso de Diseño es adecuado realizar un estudio de capacidad lumínica en el sitio y ajustarlo al proyecto para determinar la dependencia y requerimientos de iluminación artificial (Salomon y Aubert, 2004).

5.5.1.2. Equipamiento de oficinas

Cualquier dispositivo electrónico emite calor, aún si está en modo de suspensión, por tanto y para optimizar el uso de energía, sobre todo en el equipo informático, es imprescindible apagar y desconectar los dispositivos y equipos que no estén en uso, por ejemplo, una computadora de escritorio PC con monitor de rayos catódicos aumenta hasta en 3°C al día el espacio circundante y una computadora móvil Lap Top, pantallas Led y Smart emiten hasta diez veces más calor que un monitor CRT antiguo (Salomon y Aubert, 2004).

5.5.1.3. Electrodomésticos

El aire acondicionado y la refrigeración impactan en la demanda de energía aumentando el efecto UHI, que puede llegar a ser tan alta que sobrecargue la red eléctrica y causar un corte en el suministro en la ciudad o un sector de ella, limitando el servicio a una parte importante de la población, por lo que se recomienda la obtención de electrodomésticos con certificado de alta eficiencia energética (Gagne *et al*,2008), ya que si un edificio está construido con materiales de baja inercia térmica (que sus materiales no absorben mucho calor), la generación de calor interior incrementará considerablemente la temperatura del aire ambiental, sobre todo en días cálidos donde el uso de electrodomésticos como lavavajillas, lavadoras y secadoras de ropa, y otros, deben reducirse en lo posible u optimizar su uso y funcionamiento, como cuando se lava la ropa en un clima adecuado de 30°C y se utiliza la totalidad de capacidad de la lavadora.

5.6. Reducción del número de vehículos en áreas urbanas

La emisión de calor en zonas urbanas es ocasionada por los automóviles y otros vehículos automotores, el cual puede quedar atrapado en cañones urbanos mal ventilados, en detrimento del confort térmico de los habitantes, asimismo contribuir a la polución urbana por contaminantes y partículas suspendidas en el aire y el calentamiento global (Watkins *et al*, 2007), requiriéndose de una adecuada planificación del transporte para reducir las ganancias de calor en áreas urbanas.

5.6.1. Densificar los centros urbanos y controlar la expansión urbana

Al reducir las distancias de los viajes, se amplían las opciones modales de transporte y se reduce la necesidad de poseer un automóvil, esto solo se logra densificando los centros urbanos y limitando la expansión urbana por medio de dos factores, los ajustes pertinentes a los usos de suelo y la gestión de políticas restrictivas de desarrollo urbano, modificando el concepto de promover el desarrollo urbano orientado al tránsito, y favorecerlos vecindarios densos y con multipropósitos respecto al transporte público, como la diversidad y accesibilidad tanto habitacional como comercial, las diferentes

formas de movilidad suave como la bicicleta, la calidad de vida y la proximidad de los servicios.

5.6.2. Desarrollo de uso de suelo mixto

Un uso de suelo mixto reduce el tráfico de vehículos ya que algunas empresas e industrias no contaminantes se pueden establecer cerca de zonas habitacionales y contratar personal del lugar, los cuales se transportarían a su trabajo sin necesidad de usar un vehículo automotor, limitando el uso de transporte público.

5.6.3. Restricciones de acceso a vehículos automotores

Las limitaciones de uso de vehículos y reducciones de tráfico, también reduce la temperatura generada por ellos, a través de acciones como:

- Limitar la afluencia vehicular en días calurosos por medio de restricciones
- Incrementar las tarifas de estacionamientos
- Aumentar las áreas y jardines peatonales y reducir los espacios de estacionamiento
- Implementar estacionamientos cerca de centrales camioneras de transporte público que faciliten a los usuarios suburbanos, dejar aparcados sus vehículos y reducir el tráfico de la ciudad
- Promover el acceso gratuito al transporte público durante las horas de más calor en la ciudad

5.6.4. Tránsito público

Un automóvil consume el doble de energía por pasajero por kilómetro que un tren y el cuádruple de un autobús, cuando la infraestructura de transporte público en centros urbanos no es la óptima y el calor y los impactos de contaminación del aire son inevitables el uso del automóvil se vuelve imprescindible. El uso de transporte gratuito como el metro, autobús y tranvía, son fáciles de usar y revertirían los efectos adversos del uso del transporte individual, para lo cual sería adecuado que fuese proporcionado, administrado y controlado por el gobierno, que no fuera concesionado por todos los intereses particulares que esto implica. Se debe promover el uso de vehículos de baja energía,

híbridos y eléctricos para mejorar la calidad del aire y contribuir a las estrategias de mitigación de UHI.

5.6.5. Transporte activo

Como parte de la promoción de actividades físicas de beneficio para la salud humana y fomento a la actividad física, se debe desarrollar infraestructura que facilite a las personas caminar, trotar, moverse en bicicletas, para desalentar el transporte motorizado y reducir el calor antropogénico y la emisión de gases y partículas, estos sitios son ideales para la plantación de vegetación y arbolado, promoción de suelo desnudo y césped y la gestión de aguas pluviales, cuidando que estos espacios no se conviertan en espacios ocultos para la delincuencia, tiraderos de basura, malas prácticas de la ciudadanía y ambulante, por medio de estricta vigilancia policial combinada con orientación ciudadana de optimización y aprovechamiento de espacios públicos.

5.7. Edificios pasivos: control de la demanda de aire acondicionado

Para el año 2000 en Norteamérica, más del 75% de edificios de servicios, comerciales e institucionales, utilizaban aire acondicionado, ya sea total o parcialmente donde existe una correlación entre el año de construcción del edificio y la utilización de este sistema de enfriamiento. En el año 1990 el 80% de los edificios tenían instalado el sistema de aire acondicionado, ya que, tanto en edificios de cualquier uso como en los vehículos, se ha convertido en algo normal e incluso, en algunas entidades ya está normado su uso e instalación, esto es sin considerar que existen soluciones mucho más ecológicas y sustentables para enfriar el aire al interior de los edificios, usando técnicas de aire acondicionado pasivo para evitar altas temperaturas, entre los que destacan:

5.7.1. Ventilación

Esta puede ser proporcionada por medios naturales y mecánicos, ya que para que los ocupantes de un edificio sientan comodidad y confort con temperaturas y humedad internos moderados, se debe aumentar el flujo del aire que normalmente es de 0.2 m/segundo. Para incrementar el flujo de aire y el intercambio de calor por convección, también aumenta el enfriamiento por evaporación en la piel (Watkins y Kolokotroni, 2007).

Existen dos tipos de ventilación natural: La ventilación cruzada y la ventilación y la ventilación nocturna o de escape natural. La ventilación cruzada se obtiene abriendo vanos de puertas y ventanas ubicadas en muros y paredes opuestos, permitiendo el flujo de aire a través de las habitaciones, pues entre mayor sea la diferencia de temperatura entre el aire exterior y el interior, mayor será la contribución del intercambio de flujo de aire para hacer confortables los interiores. Se comprobó en Europa que, en las temporadas de calor, en los apartamentos con ventilación de un solo lado donde no existe ventilación cruzada, se incrementa la mortalidad.

5.7.1.1. Ventilación natural

La ventilación por extracción natural o ventilación nocturna requiere el ingreso por las aperturas inferiores de las fachadas, rendijas y ventilas con esa ubicación, ya que en la parte de abajo el aire es más frío y permite la salida de aire caliente en el interior por las aperturas, vanos y ventilas ubicadas en las partes altas de la habitación, pues por diferencias de temperatura se hace posible la ventilación vertical, reemplazando más rápido el aire, y que aunado a la diferencia de presión atmosférica entre el fondo y la parte superior de la habitación, se incrementa el intercambio de aire, fenómeno llamado “Efecto de pila” utilizado en edificios altos de ciudades donde el aire exterior es más frío que el interior por la noche, técnica que reduce varios grados de temperatura (Salomon y Aubert, 2003).

5.7.1.2. Ventilación mecánica controlada

Este tipo de sistema de ventilación requiere de un sistema de uno o más ventiladores para retirar el aire viciado de las habitaciones, requiriendo una evaluación del aire y ventilación para remover el aire interior por aire exterior más fresco. Para la obtención y optimización de ganancias de enfriamiento (figura 5.7).

5.7.1.3. Ventiladores de techo y de piso

También existen los ventiladores de piso y techo utilizados para acelerar el flujo de aire, pero en climas húmedos los ventiladores de techo proporcionan enfriamiento por convección.

Tipo de Ventilación	Características
Sistema básico solo de escape	Extractor centralizado El aire fresco ingresa al edificio a través de la presión negativa
Sistema solo de extracción controlada por humedad	Extractor centralizado Las entradas y salidas de aire se ajustan a los niveles de humedad en cada habitación
Sistema equilibrado	Dos ventiladores centralizados. Escape y suministro de aire con intercambio de calor que lo recupera en invierno y ahorra 15% de comparado con calefacción de un solo escape
Sistema de ventilación mecánica de aire forzado	El aire fresco entrante se distribuye por un sistema de ductos
Sistema de ventilación mecánica distribuida	Existen varios ventiladores ubicados en diferentes salas del edificio

Figura 5.7. Gráfica de tipos de ventilación mecánica controlada.
Fuente: Urban Heat Mitigation Strategies.

5.7.1.4. Sistemas de enfriamiento solar

Desde hace más de 20 años en Europa se utilizan los sistemas de calefacción y refrigeración que usan fuentes renovables de energía, recolectada por máquinas de compresión convencionales usadas en el aire acondicionado, siendo un tipo de refrigeración común en este continente, cuya compresión térmica es obtenida por una solución refrigerante líquida y una fuente de calor obtenida por la energía solar que reemplaza a la energía eléctrica consumida por el compresor mecánico. Al agua enfriada a 0°C como en el aire acondicionado, se le adiciona una solución líquida de Bromuro de agua-Litio (H₂O-LiBa) con agua como refrigerante, evitando la cristalización con un control interno de temperatura en el circuito refrigerante. Actualmente el sistema de absorción ya funciona con la recuperación de calor residual y el escape de los gases que además de ser ecológicos y silenciosos, no usan refrigerante.

5.7.1.5. Intercambiadores de calor geotérmicos (bombas de calor subterránea)

Los intercambiadores de calor geotérmico capturan de forma pasiva la energía geotérmica desde el suelo por medio de ventilación mecánica controlada, principio basado en un “pozo canadiense”, que es la instalación de un tubo en el subsuelo a 1 o 2 metros de profundidad, de al menos 2.5 metros de largo y un diámetro mínimo de 18 centímetros, permitiendo el ingreso de aire al tubo por medio de un sensor, donde este

se enfriará por menor temperatura del suelo más bajo y que será introducido al interior del edificio, debiendo el tubo eliminar la condensación de agua para evitar problemas de moho por medio de un sifón vertical conectado a tierra y una pendiente del tubo hacia el sifón, previo a alimentar al edificio. Este sistema de calor geotérmico proporciona enfriamiento pasivo a un costo relativamente bajo y poco mantenimiento (figura 5.8).

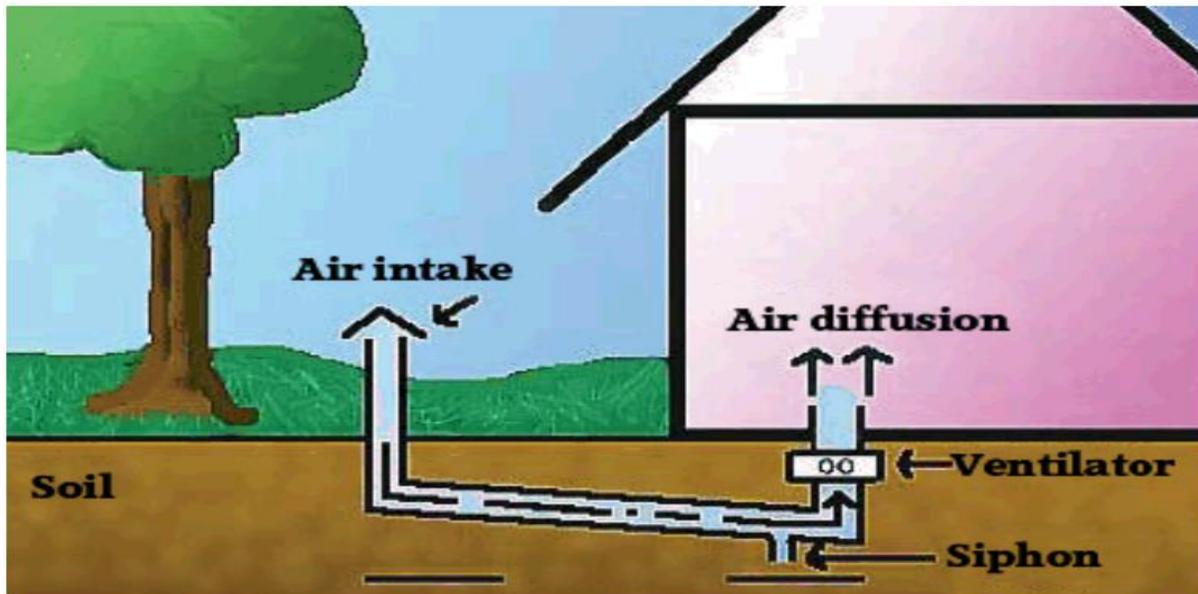


Figura 5.8. Imagen de intercambiador de calor geotérmico, "pozo canadiense".
Fuente: Urban Heat Mitigation Strategies.

5.7.1.6. Sistemas de enfriamiento radiante

Es un sistema de enfriamiento a base de tubos instalados, ya sea en piso o en muros, que conducen agua fría a 19°C circulada por una bomba que utiliza un sistema de ventilación para controlar el nivel de humedad y la calidad del aire al interior, es de simple operación y energéticamente es más eficiente que el aire acondicionado común, debiéndose evitar un alto nivel de humedad, por lo que es recomendable incorporar al sistema un deshumificador de aire, se recomienda usar el sistema en muros para evitar la condensación.

5.7.2. Ganancias de enfriamiento asociadas con aire acondicionado pasivo

Se considera en términos generales que se puede obtener enfriamiento en un rango de entre 7°C a 12 °C con aire acondicionado solar mientras que con intercambiadores

combinados con un sistema de aire forzado, la variabilidad es de entre 5°C a 8 °C de reducción de temperatura interior en un edificio resumiendo que, el flujo de aire generado por la ventilación mejora definitivamente el confort térmico de los ocupantes ya que entre mayor sea el caudal de aire, mayor será el efecto de enfriamiento (figura 5.9).

Refrigeración en °C por caudal de aire (m/seg)	
Caudal de aire (m/seg)	Refrigeración equivalente en °C
0.1	0
0.3	1
0.7	2
1.03	3
1.6	4
2.2	5
3	6
4.5	7
6.5	8

Figura 5.9. Tabla de ganancia de refrigeración según velocidad de corriente de viento.

Fuente: Urban Heat Island Mitigación Strategies.

5.8. Estrategias particulares por cada estación

A continuación se presenta la normatividad vigente para las ubicaciones de las tres estaciones del tren interurbano, de acuerdo al Plan Municipal de Desarrollo Urbano, cuya última actualización data del 20 de diciembre de 2018 y que, según la normatividad revisada en figura 5.10, se observan las diferentes clasificaciones de suelo, densidad habitacional, coeficiente de área libre, frente y superficie mínima de lote tipo, densidad máxima de construcción y número de niveles permitido en la zona, mencionando que si bien el plan fue autorizado en los primeros años del milenio y actualizado en 2018, sobre todo en la estación Centro-Lerdo existen construcciones que datan de años anteriores al mencionado plan, cuyo uso original difiere mucho del habitacional y servicios que se observa en las estaciones Buenavista y Pino Suárez (figura 5.10).

Normatividad de Desarrollo Urbano								
Estación	Buenavista			Pino Suárez			Centro	
	Col. Nva. Oxtotitlán	Col. Parques nacionales	ENEF	Parque Alameda 2000	Col. Sta María de las Rosas	Col. Nva Sta. María de las Rosas	Col. La Magdalena	Centro
Clasificación	H-200-B	H-250-DOT	ERDN	A.N.P.	H-250-DOT	H-250-DOT	H-250-DOT	CRU B/60V
No. hab./Ha.	205	205			205	205	205	683
No. viv./Ha.	50	50			50	50	50	167
m ² bruto de terreno/vivienda	200	250			250	250	250	35
m ² neto de terreno/vivienda	120	150			150	150	150	
Frente mínimo	7.5 ml.	8.00 ml.			8.00 ml.	8.00 ml.	8.00 ml.	7.5
Sup. mínima	120 m ²	150 m ²			150 m ²	150 m ²	150 m ²	360
Sup. mínima de construcción	30%	30%			30%	30%	30%	20%
Sup. max. de desplante	70%	70%			70%	70%	70%	80%
Altura max. en niveles	5	15			15	15	15	20
Metros sobre nivel la banquetta	15	45			45	45	45	60
No. de veces el área de lote mínimo	3.5	10.5			10.5	10.5	10.5	18

Figura 5.10. Tabla normativa de Usos del Suelo.
Fuente: Plan municipal de Desarrollo Urbano Toluca.

Así vemos que en la estación semiurbana Buenavista, considerada la estación no urbana del proyecto de tesis. Tiene una distancia aproximada de 133 metros entre los parámetros norte de la colonia Parques Nacionales y la malla ciclónica del parque Alameda 2000, lo que resulta un factor de vista al cielo abierto bastante amplio que ayuda a la dispersión de contaminantes cuando existen determinadas ráfagas de viento. La densidad habitacional de dicha colonia Parques Nacionales es de 205/habitantes/ha. que resulta una densidad baja, estando la densidad de construcción en 50/viviendas/ha. siendo esta estación por sus características físicas, geográficas y de entorno, la menos afectada por los elementos contaminantes como polución, partículas suspendidas, basura, sobrepoblación y otros, por lo cual se debe conservar la normatividad del lugar pretendiendo que el desarrollo de vivienda siga siendo unifamiliar y que no se incremente la densidad habitacional, si acaso y la demanda habitacional lo requiere, incrementar la densidad constructiva verticalmente, o sea, evitar que la colonia se extienda

territorialmente hacia áreas no urbanizables que la circundan, sobre todo hacia el suroeste, pues son terrenos de labranza y están fuera del régimen de propiedad privada.

En su colindancia de lados sureste y suroeste debe respetarse el uso no urbanizable que existe actualmente, tanto el del Parque Alameda 2000 como el de la Escuela Nacional de Educación Física, pues ambas son, por su masa forestal y suelo desnudo respectivamente, excelentes alternativas de recreación para los habitantes de la zona, así como producción de oxígeno, captura de carbono, retención y filtración de agua de lluvia y factores de cielo abierto.

Estrategias de mitigación para la estación Buenavista:

1. Conservar la normatividad de Desarrollo Urbano, sobre todo en la densidad habitacional/hectárea para evitar el incremento de la densidad de construcción.
2. Promover y gestionar los suelos desnudos y ajardinados, tanto en áreas públicas como privadas, ocupando ese 30% de coeficiente de área libre del predio en jardín y césped, prohibiendo cementarlo o cubrirlo.
3. Orientar a la población acerca del uso de impermeabilizantes de colores claros en azotea, así como la implementación de techos verdes y muros vivos,
4. Promocionar beneficios fiscales a los propietarios de casas con estas implementaciones, bajo supervisión de construcción y mantenimiento.
5. Respetar los usos de suelo del Parque Alameda 2000 y la Escuela Nacional de Educación Física ENEF ya que son fuentes de producción de oxígeno, captura de partículas y carbono, permiten la filtración de agua pluvial y son áreas de recreación para la sociedad.
6. No modificar ninguna de las cuatro estrategias anteriores con motivo de la apertura y funcionamiento de la primera estación de llegada y abordaje del Sistema de Tren Interurbano México-Toluca, más bien, planear y reordenar la movilidad vehicular de los usuarios.

En la estación perimetral Pino Suárez las condiciones son distintas, ya que existe una mayor densidad de construcción en el entorno, comparado con Buenavista, y no tiene las áreas verdes y arboladas que la primera estación, pero a pesar de eso, en el Plan Municipal de Desarrollo Urbano tiene normada tanto la misma densidad poblacional como

la densidad constructiva , índice de ocupación de uso de suelo, pero que por su ubicación y entorno, registra un mayor movimiento de personas que llegan y salen de la ciudad, un mayor movimiento vehicular tanto de pasajeros como particular y de carga y que debido a la cercanía con la Central Camionera de la ciudad de Toluca, registra un alto índice de actividades comerciales y de servicios, sin olvidar que se encuentra circundada por colonias populares, de lado norte las colonias Santa María de las Rosas, Nueva Santa María de las Rosas y La Magdalena, de lado sur las colonias Benito Juárez, Lázaro Cárdenas, Hípico y Xinantécatl, siendo las únicas áreas verdes y arboladas el parque Bicentenario y el parque Árbol de la Vida en la colonia Hípico, ubicados a 1,110 metros y 1,200 metros aproximadamente, motivo por el cual las estrategias de mitigación para la estación Pino Suárez, son:

1. Limitar la intensidad de ocupación de uso de suelo, actualmente la intensidad de ocupación de suelo es del 70%, esto es porque una vez puesto en marcha el servicio del Tren Interurbano, se dispararán el uso comercial, formal e informal del suelo, debiendo las autoridades municipales tener control y supervisión estrictos del ambulante en la zona, con el fin de evitar más suelo duro e impermeable, basura y sobrepoblación temporal y diurna.
2. Promover los colores claros en fachadas y azoteas, así como la implementación de techos verdes y muros vivos con sus respectivos beneficios fiscales para los propietarios de estas tecnologías, respetando el coeficiente de área libre del 30% por predio, que ayudará a la filtración de agua pluvial, captura de partículas y mitigación de ruido urbano, que es un contaminante importante en este sitio.
3. Planear y ejecutar las opciones más adecuadas de llegada y salida de pasajeros de la estación del tren, tanto de transporte público como privado, definir y controlar las paradas de autos de alquiler y autobuses, control de los estacionamientos públicos y provisionales, así como el control del flujo de transeúntes, sobre todo en las horas de mayor congestionamiento del servicio.
4. Buscar y reubicar rutas y paraderos de camiones foráneos, sobre todo a la ciudad de México y zona sur del Estado, pues al ponerse en marcha el Tren Interurbano, se tornará un tanto conflictivo la subida y bajada de pasajeros y al reubicar el paradero de camiones, se cubrirá gran parte de la demanda de

ingreso y salida a la estación del tren, primera estación intermedia de abordaje y llegada del sistema de transporte.

Respecto de la Estación Centro-Lerdo, que en sí nos es estación sino el punto urbano del trabajo de tesis, las condicionantes son totalmente diferentes de las dos estaciones anteriores, motivado por la situación geográfica del lugar dentro de la zona céntrica y urbana de la ciudad, ya que la densidad poblacional y la tipología de las construcciones, la anchura de las vialidades y Lerdo y Juárez son totalmente diferentes a Buenavista y Pino Suárez, pues a pesar de que varían a lo largo de su trayecto, en ese sitio específicamente son de 14.00 y 16.00 metros respectivamente, a diferencia de las dos estaciones anteriores donde se manejaron distancias entre paramentos de 70 a más de 120 metros en Buenavista, por tanto el comportamiento climático es muy diferente, así como sus estrategias de mitigación:

1. Planear y modificar las rutas de transporte público que circulan “necesariamente” por el centro de la ciudad, determinando una calle con dirección oriente-poniente, principal punto de saturación vehicular, encausando el paso de estos vehículos por el primer cuadro de la ciudad en esa dirección, pues la dirección norte-sur no tiene el mismo problema.
2. Modificar el uso del suelo en el primer cuadro de la ciudad para dar cabida a desarrollos verticales de oficinas, comercios y locales en condominio, pues en esta zona ya no existen prácticamente predios baldíos para construir, pero si se pueden existir desarrollos verticales que atiendan la demanda de esta población flotante y aprovechar las fachadas y azoteas de estos edificios para la naturalización, aunado a la naturalización de los pocos predios baldíos que existen en el centro de la ciudad.
3. Tal y como se está haciendo con el actual proyecto “Parque del centro histórico de Toluca”, lo que se necesita es mayor arborización de las plazas y zocos de la ciudad, como la plaza cívica, la plazoleta del Teatro Morelos, la Plaza Fray Andrés de Castro, el terreno baldío ubicado en Bravo y Santos Degollado, atrás del palacio de gobierno estatal y otros más, para que exista una mayor masa vegetal que mitigue el calor antropogénico, capture partículas suspendidas, retenga la caída de agua pluvial y la transmita lentamente al suelo desnudo,

mejore el microclima, conserve la biodiversidad, proporcione aire y sea una fuente de captura de carbono además de mejorar el paisaje y el confort del ocupante, sembrando árboles nativos y/o endémicos como Liquidambar (*Liquidambar styracifula*), Magnolia (*magnolia grandiflora* y *mimosifolia*), Eucalipto, jacaranda (*jacarandá*), chopos (*populus canadensis*) y Fresnos (*fraxinus spp*), Olmos (*ulmus*), entre otros (Galindo y Victoria, 2012).

4. Se debe legislar ante las autoridades para que los planes, proyectos de mejoras, cambios de uso de suelo, vigilancia de naturalización de fachadas y azoteas, tanto públicas como particulares, se lleve a cabo de forma estricta y cumplida, para lo cual debe crearse una entidad gubernamental normativa, regidora y vigilante, lo cual comentaremos en el siguiente subcapítulo.
5. Es indispensable crear un “plan” destinado a modificar los recubrimientos y acabados en azoteas, tanto de edificios administrativos gubernamentales como particulares, con la finalidad de implementar azoteas verdes (green roofs) en construcciones donde lo permita su estructura, o bien modificar el acabado ocre-rojo de la mayoría en azoteas, con la finalidad de aumentar la reflectividad de radiación solar y, por tanto, el albedo (figura 5.11).

5.9. Estrategias de mitigación en el trayecto del tren interurbano

El trayecto del tren interurbano tiene una longitud de 57,700 metros lineales, incluidas las estaciones de 200 metros de longitud cada una, y un ancho de corona de vía promedio de 13.3 metros de sección, resultando una superficie ocupada por el trayecto de 767,410 m² (76.74 ha.), que si bien será ocupada esta superficie por los pilotes y columnas que soportarán la vía suspendida, también esta franja pasará a ser derecho de vía federal por utilidad pública y el darle utilidad a esta superficie es del todo viable a través de un proyecto con la inversión federal-estatal en la creación de una dependencia administrativa bipartita encargada de ello, encaminada a mitigar ese cambio forzado de uso de suelo y sus consecuencias (deforestación, urbanización, ocupación de agentes externos, etcétera), ya que en su mayoría es uso agrícola y forestal, pasando por el uso urbano en sus modalidades, habitacional, comercial y de servicios.



Figura 5.11. Imagen aérea de la zona centro de Toluca.

Fuente: Google Earth.

Estas propuestas de ocupación de suelo del trayecto para mitigar los efectos de construcción y ocupación del sistema de transporte deben estar adaptadas según las zonas donde recorre el tren en su trayecto, no todas las zonas donde pasa tienen el mismo uso de suelo, existiendo básicamente tres alternativas de zonas que son:

- + Zona urbana
- + Zona semiurbana
- + Zona rural o boscosa

Para la zona urbana la propuesta es la creación de áreas de juego, parques y jardines con arbolado bajo, la implementación de canchas deportivas, áreas recreativas y juegos infantiles, así como teatros al aire libre y espacios para foros eventos sociales locales. En la zona semiurbana se puede promover la creación de viveros municipales y plantación de árboles que posteriormente servirán para reforestar las zonas donde hubo deforestación masiva por causa del proyecto, así como la siembra de hortalizas y verduras regionales. Para la zona rural, tramo comprendido de Ocoyoacac hasta Cuajimalpa y Santa Fe, básicamente consiste en reforestar, tanto la parte baja del

trayecto inferior de los puentes como las zonas laterales que sufrieron una gran pérdida de arbolado, en la primera con especies de crecimiento bajo y arbustivo, y para la segunda manejar árboles de mayor altura y variedad, sobre todo coníferas.

Una forma de compensar el déficit del indicador de porcentaje de área verde por habitante (9.00 m² mínimo, según OMS), que solo algunas ciudades latinas lo cumplen, como Montevideo (12.68 m²/habitante), Rosario (10.4 m²/habitante), Sao Paulo (11.58 m²/habitante), Porto Alegre (13.62 m²/habitante), Belo Horizonte (9.4 m²/habitante) y Curitiba (51.5 m²/habitante), (figura 5.12), en el que no aparece ninguna ciudad mexicana en promedio, pues el porcentaje per cápita en nuestra entidad es débil (ONU-Hábitat-Toluca, 2016), ya que solo tenemos en el país 1.2 m²/habitante, según WRI México (Instituto de Recursos Mundiales, por sus siglas en inglés), por ejemplo, para 2010 en la ciudad de México el promedio per cápita fue de 12.75 m²/habitante, pero solo en algunas delegaciones como Miguel Hidalgo, Álvaro Obregón, Tlalpan, Coyoacán, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Xochimilco, en el mismo año en la ciudad de Guadalajara y el promedio fue de 3.0 m²/habitante y en Monterrey de 4.8 m²/habitante (Comisión de Desarrollo Urbano, ordenamiento territorial y Vivienda, 2019).

Toda vez que las columnas que soportan las vías del tren interurbano ocupan una superficie importante, sería buen ejercicio y alternativa la propuesta de naturalización a base de suculentas y crasuláceas de estos elementos verticales, con inversión de ambos gobiernos y la administración y mantenimiento del organismo bipartita creado exclusivamente para este fin, del cual hablaremos en el siguiente subcapítulo de gestión de proyectos (figura 5.13).

m2 de Espacios Verdes por habitante en Ciudades de America Latina

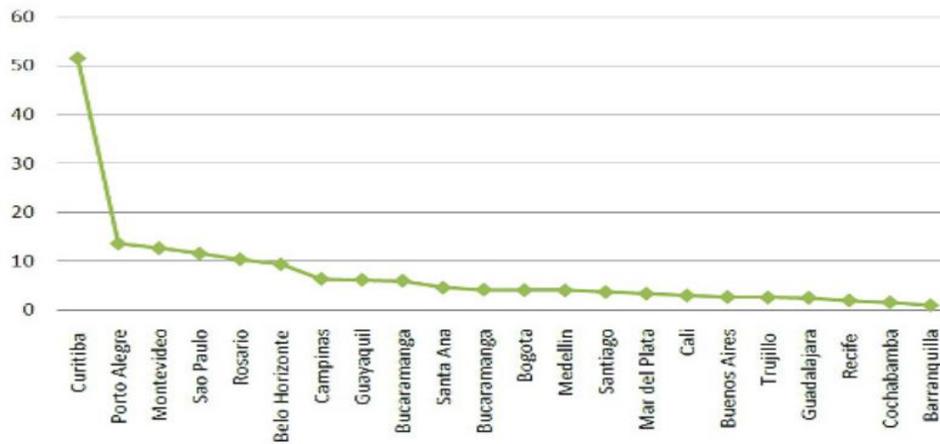


Figura 5.12. Gráfica de espacios verdes/Hab. en América.
 Fuente: Revista E-Consulta.Com Puebla de fecha 8 de octubre de 2020.



Figura 5.13. Imagen de columnas naturalizadas.
 Fuente: City, Fenómenos de las ciudades, revista de urbanismo, 9 de febrero 2017.

5.10. Gobernanza y Gestión de proyectos

Entre otras finalidades, existe la de alcanzar una prosperidad como ciudad, la cual requiere que en ella existan funciones propias del municipio, entre otras la gobernanza urbana, esto es, que exista un consenso y planeación urbana participativa, se promulguen leyes y reglamentos aprobados por las respectivas cámaras legislativas, que

con base en un marco institucional, exista una regulación de usos del suelo y las edificaciones en ellos construidas, especificando que ninguna de estas estará por encima de las demás, siendo necesaria la legislación local, la administración pública y la participación ciudadana (ONU-Hábitat-Toluca, 2016).

Esta finalidad está integrada por tres indicadores principales que son:

- Participación electoral y rendición de cuentas
- Capacidad institucional y finanzas municipales
- Gobernanza de urbanización

Esta última está formada por la expansión urbana que mide y monitorea el consumo del suelo por medio de la tasa de crecimiento urbano y la tasa de crecimiento de la población, con base a la complejidad de la información de superficie urbana en ciudades y del modelo de expansión urbana, se considera:

A) Un periodo de análisis de 1980 a 2015 porque:

1. Facilita su comparación con estudios nacionales relacionados con la expansión de ciudades.
2. En ese lapso se aprecia el impacto negativo y/o positivo de las políticas urbanas de crecimiento en las ciudades a través de la producción habitacional y la inversión productiva.

B) Todas las ciudades mexicanas han tenido procesos de conurbación por aglomeraciones urbanas entre municipio, entonces:

1. El indicador debe considerar el contexto y la aglomeración urbana que no es de un solo municipio.
2. Se debe calcular el indicador para la aglomeración urbana de forma igualitaria para cada municipio que la conforma.
3. El crecimiento del área urbana es diferencial entre los municipios que la conforman, por lo que es elemental contextualizar los resultados con las tasas de crecimiento de vivienda y población en cada municipio, considerando que existen

municipios sobreocupados y sin áreas de crecimiento, heredando a los vecinos y pobladores existentes, la saturación y hacinamiento poblacional.

El Estado de México es la entidad federativa con mayor población a nivel nacional, pues su crecimiento desde hace más de veinte años ha sido anárquico y descontrolado debido a la migración campo-ciudad, sobre todo en sus dos zonas de mayor concentración poblacional, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y la Zona Metropolitana de la ciudad de Toluca (ZMCT), donde existe una creciente competitividad por el suelo, trabajo e ingreso económico, vivienda, servicios públicos y otros, siendo esta última zona conformada básicamente por tres municipios, Toluca, Metepec y Zinacantepec, todos de gran influencia regional, pues según datos de INEGI del año 2015, la población en Toluca se incrementó a 873,536 habitantes, en Metepec a 227,827 y en Zinacantepec a 188,927, obligando urgentemente a una coordinación entre estos municipios para establecer estrategias de gobernabilidad entre sí.

El cada vez mayor crecimiento urbano e incremento de asentamientos humanos irregulares, que ha rebasado con mucho a los gobiernos municipales y estatales, busca soluciones en los Planes Municipales de Desarrollo y ordenamiento territorial, los cuales sin ninguna regulación ni ordenamiento demandan los servicios ya mencionados, aunado a que en nuestra entidad, como en la mayoría del país, ha llegado tarde el tema de la gobernanza en comparación con los problemas tan complejos que debe atender de forma inmediata como el desarrollo urbano metropolitano, la migración en sus diferentes etapas, crisis e inestabilidad económica, desempleo, asentamientos humanos irregulares, deterioro ambiental, cambios obligados de uso del suelo, falta y escases de servicios básicos y otros más.

Así como existen desigualdades intraurbanas entre municipios, los hay también entre una delegación y otra, entre una colonia y otra, entre un barrio y otro, baste ver y comparar los casos de Metepec y Zinacantepec, cuyos aspectos económicos y sociales son trascendentales a la hora de tocar el tema del desarrollo urbano metropolitano donde intervienen factores como las infraestructura urbana en cada municipio, el desarrollo inmobiliario, la introducción de servicios básicos, la captación de impuestos catastrales, los distintos cambios de uso de suelo y las autorizaciones de construcciones y desarrollo

de unidades habitacionales, residenciales y de condominio, ver el ingreso de cada municipio en impuesto predial y la disponibilidad de terreno agrícola y urbano en cada municipio, y considerando que para el año 2050, dos terceras partes de la población del planeta vivirá en zonas urbanas, esto incrementa la dificultad de la gobernanza urbana.

Considerando que desde fines del siglo pasado un tercio de la población mundial ya se concentra en zonas urbanas, pero para el presente siglo más de la mitad de esa población ya es urbana, entonces vemos que existen más de veinte megaciudades con población superior a ocho millones de habitantes, entre ellas Buenos Aires, Sao Paulo y Ciudad de México, pero más preocupante es que existen más de 400 ciudades y zonas urbanas con poblaciones superior a un millón de habitantes y que están en pleno desarrollo incrementando esa población de forma vertiginosa, aumentando la problemática entre instituciones en la coordinación de hacer una adecuada planificación urbana y gobernanza, y si a eso aumentamos que las instituciones encargadas del desarrollo urbano metropolitano están llenas de casos de corrupción a todos niveles, esto hace pensar en una imposible gobernanza que deba ser justa, equitativa y democrática, motivado por el autoritarismo de las autoridades señaladas (Pérez y Ramírez, 2018).

Uno de los problemas que actualmente enfrenta la ciudadanía es el desfase de necesidades y problemas de ocupación del suelo y vivienda con el desarrollo urbano metropolitano, pasando a ser un punto crítico rebasado en las competencias y capacidades de los gobiernos en sus diferentes estructuras y ámbitos, haciendo necesaria de manera urgente y prioritaria, una participación y coordinación intergubernamental con la ciudadanía, asumiendo cada uno la responsabilidad que le corresponde y fundamentando una legitimidad colectiva, de competencia y ejercicio ciudadano para la resolución de tensiones entre problemas locales, nacionales y globales.

En busca de una mejor gobernanza metropolitana que integre y fusione la perspectiva de la sociedad en los planes de desarrollo en la cual la sociedad misma es quien sufre y goza de las acciones tomadas por las autoridades encargadas de la gestión de proyectos y planes de desarrollo urbano, se requiere considerar los siguientes principios para la innovación pública:

1. Revisar, recuperar y poner en marcha las acciones de gobernanza rural, urbana, regional y metropolitana que han sido casos exitosos en su implementación.
2. Democratizar y ampliar el acceso a la información respecto a la participación gobierno-sociedad y evaluar los resultados basados en buenas prácticas.
3. Con base en la combinación de información y consulta para que los espacios de participación formen mecanismos de cambio del Estado, se debe multiplicar la participación de la sociedad con el gobierno.
4. Crear una conciencia fundamentada en la educación que contribuya a una nueva cultura de democracia participativa y de trabajo colaborativo entre gobierno y sociedad.
5. Ampliar las áreas educativas en materia de derechos y obligaciones para la sociedad en general.
6. Uno de los principales fines de la gobernanza es evitar que la sociedad figure como clientes o consumidores de política, sino que debe aparecer como sujeto activo de la gobernanza.

El mayor reto para gobernanza territorial lo constituyen las demarcaciones geográficas donde los sistemas políticos inciden en la administración pública federal, estatal y municipal, y en caso de seguir las ignorando, también seguirán los mismo modelos de costumbre sin generar nuevos enfoques de administración y gestión del desarrollo urbano metropolitano, con poca efectividad de acción pública, donde es imperante identificar actores y espacios para asignar responsabilidades a cada uno en busca de un mejor proceso colaborativo (figura 5.14).

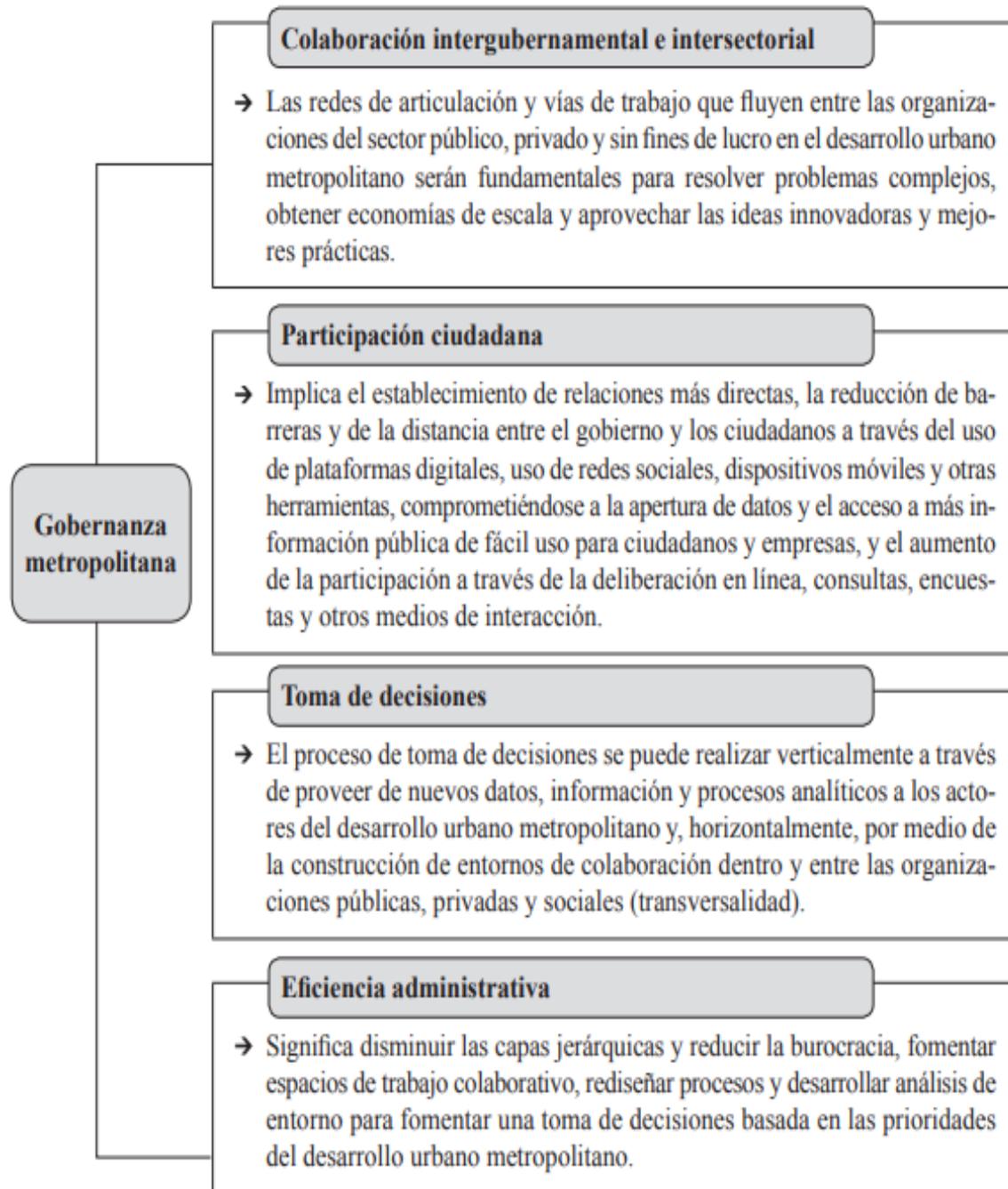


Figura 5.14. Gráfico de ejes de gobernanza metropolitana.

Fuente: Planeación, Gobernanza y Sustentabilidad, Retos y desafíos desde el enfoque territorial.

La constante y acelerada urbanización, sobre todo en zonas que seguirán siendo atractivas para el desarrollo empresarial, inmobiliario, comercial, social y habitacional exige nuevas fórmulas y lineamientos novedosos que ordenen la administración del desarrollo urbano metropolitano en zonas urbanas, en este caso, el Valle de Toluca, que

concentra el poder económico y político de la entidad, en el cual, como en la mayor parte de zonas urbanas del país, a pesar de los planes de desarrollo implementados por cada edil entrante, no se logra controlar, planear y ordenar el crecimiento de los asentamientos humanos en la entidad.

Es necesario el cambio de imagen y visión de gobierno municipal-local por otra de gobierno metropolitano para coordinar los esfuerzos entre jurisdicciones, sobre todo la intersectorial entre Toluca, Metepec y Zinacantepec, donde según se aprecia, solo existe un hilo demasiado delgado que no tarda en romperse para formar un conglomerado urbano ávido de una nueva herramienta-dependencia que se responsabilice del ordenamiento y planeación estratégica urbano-territorial en conjunto y no la vea simplemente desde el punto de vista municipal, sino como o que está a punto de ser, una zona urbana metropolitana que para mediados del 2020, entre los tres municipios en cuestión, tendrá cerca de un millón y medio de habitantes (Toluca 973,024, Metepec 351,268 Y Zinacantepec 169,035), según las tendencias actuales.

CONCLUSIONES

Como consecuencia de la migración campo-ciudad en busca de mejores oportunidades de vida, al llegar a esta se produce el asentamiento humano generalmente espontáneo y sin planeación y comúnmente en la periferia de la ciudad, por la disponibilidad y bajo costo del suelo, muchas veces sin servicios básicos, ocasionando crecimiento de la mancha urbana y posteriormente, un cambio forzado de uso de suelo de agrícola o forestal a habitacional, generando con esto consecuencias graves: La primera es, al ganarle suelo urbano al suelo desnudo, se dejarán de sembrar y producir desde legumbres, hortalizas y granos hasta productos forestales, para utilizarlos en desplante de vivienda mal planeada, en segundo lugar ese suelo pasar de suelo desnudo o agrícola y forestal a suelo duro, pavimentado o encementado, con dos consecuencias, una es que tendrá un albedo bajo, por tanto absorberá gran cantidad de radiación solar y otra es que ya no absorberá ni filtrará agua pluvial al subsuelo, la cual en su precipitación y acumulación, impactará negativamente el entorno, aunado a un mal sistema de colectores de drenaje, generalmente sanitario y pluvial en un mismo sistema, problema muy marcado en la temporada de lluvias de la entidad.

Otra consecuencia es que, al darse el cambio de uso de suelo forzado de una incrementada superficie de urbanización, se producen fenómenos urbanos cada vez más frecuentes como la falta de evaporación, las caídas de agua en columna, el calor urbano concentrado en superficies duras y oscuras, emisión de partículas suspendidas de vehículos automotores, las miles de horas-hombre perdidas en traslados y varios factores más que componen el llamado efecto isla de calor urbano existente en la actualidad en zonas urbanas, fenómeno identificado desde inicios de la década de los setentas del siglo pasado y que ha sido estudiado desde entonces con propuestas, artículos y libros buscando frenar el fenómeno sin resultado alguno, baste recordar que en 1975 la población mundial apenas rebasaba los cuatro mil millones de personas (4 068 109 000) comparada con la población mundial de 7,700 millones en diciembre de 2019, pero lo preocupante es que para 2050, el 75 % de esa población se considera que será población

urbana, la cual demandará servicios, trabajo e ingreso, vivienda, alimento, transporte y otros bienes y servicios proporcionados por los gobiernos a la sociedad y población.

Las causas descritas en el párrafo anterior han sido factores para lo que actualmente se conoce como calentamiento global y que, aunado a la emisión de gases de efecto invernadero a escala global, han contribuido al cambio climático que está sufriendo la tierra, ocasionados en su totalidad por actividades antropogénicas y que en el caso de la construcción del tren interurbano, tendrá un impacto en el entorno, desde su planeación y construcción hasta operación y mantenimiento, siendo una finalidad de este trabajo de tesis, identificar las islas de calor urbano si las hubiese, compararlas con otros casos en la ciudad de Toluca y proponer estrategias de mitigación como respuesta al impacto ambiental que se vislumbra con la puesta en marcha del sistema de transporte, que de momento y por situación política, está suspendida la obra y el avance.

Se revisaron algunos casos de isla de calor urbano en varias partes, tanto del mundo como del país con la finalidad de obtener antecedentes que pudiesen encausar el trabajo de investigación, resultando de mucha aportación la revisión de estos, ya que mostraron las medidas de prevención y corrección en otras latitudes y bajo diferentes condiciones climáticas, de entorno y de políticas de atención al problema, para posteriormente recabar los datos climáticos locales en diferentes temporalidades, realizar un análisis de estos e interpretarlos con la finalidad de conocer sus diferenciaciones de lugar y tiempo e identificar la islas de calor urbano existente, para con esto, realizar propuestas de mitigación específicas para cada estación y el trayecto del tren, considerando las estrategias aplicadas en otros lugares.

De los casos revisados, tres internacionales y tres nacionales, se obtuvieron diferentes metodologías de estudio, que van desde el levantamiento de datos en sitio con sensores específicos para cada elemento o variable, hasta la interpretación de datos satelitales, pasando por los datos obtenidos de estaciones climáticas fijas que monitorean las 24 horas y que sirvieron para establecer la metodología utilizada en el trabajo doctoral, con base en la recopilación de datos climáticos en campo de tres sitios diferentes de la ciudad y en tres temporalidades diferentes en el lapso de un año calendario, comparando los datos de campo con los datos de las estaciones fijas y se pretendió hacer lo mismo con

los datos satelitales, situación ideal de este trabajo de investigación, pero por su reciente creación, no existieron los elementos ni la política adecuada para su obtención.

Se detectó por medio de la interpretación de datos la existencia de isla de calor urbano poco significativa, comparando datos de las tres estaciones analizadas, una urbana, suburbana y periférica, cuyas diferencias no son determinantes, detectando que ahora que el fenómeno no es tan intenso, aún se pueden prever y mitigar de manera efectiva por medio de la implementación de propuestas de mitigación indicadas, siendo muy importante para su aplicación y establecimiento la participación de la ciudadanía, el gobierno en sus diferentes modalidades y la iniciativa privada, en una amalgama verdaderamente organizada para crear leyes, reglamentos y dependencias que atiendan específicamente el tema tratado y no dejarlo crecer y ser preocupante como en otras entidades, esto con base en una buena gobernanza de desarrollo urbano metropolitano.

Actualmente la zona metropolitana del Valle de Toluca está conformada por 22 municipios conurbados a la zona de estudio, aunque solo la conforman tres de ellos, Zinacantepec, Toluca y Metepec, esto a que debido a que la estación de llegada, encierro y mantenimiento se ubica en los límites poniente de Toluca y oriente de Zinacantepec (a principio del documento se discutió sobre los límites municipales y el nombre Buenavista), y Metepec porque el principal punto de estudio del trabajo doctoral es la primera estación intermedia de abordaje y llegada, que se encuentra en los límites de Metepec y Toluca, esto es sin desestimar de ninguna forma a los otros 19 municipios que conforman la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), pero que no son tan determinantes en sus problemáticas, como densidad poblacional y zona urbana, como las tres anteriores.

La selección del lugar de estudio fue sustentada por la trayectoria del tren interurbano, la estación Pino Suárez (Terminal) figura como la más importante del sistema, toda vez que por su cercanía inmediata a la central camionera de Toluca, es a donde llegan los viajeros de varias regiones del Estado, sobre todo la región sur, convirtiéndola en punto neurálgico del proyecto y que una vez en función el sistema, detonará todo tipo de actividades humanas y efectos propios de una central de pasajeros, sus problemas de todo tipo, sobre todo de movilidad, ambientales y de entorno, específicamente donde se hace la propuesta de aplicación de estrategias para esa estación, y es donde deberán centrarse

las propuestas de mitigación, así como el trayecto urbano de Buenavista a la estación Tecnológico.

En un segundo análisis de casos de islas de calor urbano, se definió tanto el método particular de obtención de datos en campo como la decisión de recurrir a las estaciones fijas RAMA y Mariano Bárcena, así como se inició la perspectiva de alternativas inteligentes de solución, algunas de las cuales se propusieron en el capítulo cinco, no sin antes analizar el entorno y características físicas, constructivas, de imagen y las actividades de la población, no tiene los mismos efectos en el entorno la población transeúnte de la estación Pino Suárez que solo están de paso en movimiento, que la población flotante de la estación Centro Lerdo que llega por las mañanas a sus labores y abandona la zona por la tarde-noche.

Posterior a una descripción detallada de cada estación o punto de estudio y el recorrido de sus nodos, se procedió a la toma de datos de campo en los tres sitios (estaciones), así como en las tres temporalidades igual que la obtención de datos de las estaciones climáticas fijas, registrados todos en bitácoras de campo diseñadas exprofeso para ese fin y se pasaron los datos a tablas de Excel. De las tres estaciones fungieron una como suburbana (Buenavista), otra periférica (Pino Suárez) y la última urbana (Centro Lerdo), las diferentes temporalidades fueron octubre-noviembre de 2018 (temporalidad A), abril-mayo de 2019 (temporalidad B) y octubre-noviembre de 2019 (temporalidad C). Las travesías entre nodos en Buenavista y Pino Suárez se realizaron en bicicleta y las travesías en la estación Centro-Lerdo fueron caminando.

Una vez seleccionadas las estaciones y los nodos en cada una de ellas, se ubicaron satelitalmente con GPS (*Global Positioning System*) y asignando a cada nodo coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) con el fin de ubicarlos en ArcGis, sistema de información geográfica SIG de código abierto para Microsoft, Windows y Android, sin embargo, por la recién inauguración del sistema de posicionamiento para la obtención de información sobre la superficie terrestre LANOT (Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra) en junio de 2019, solo se ubicaron las tres estaciones pues la Facultad de Geografía apoyó pobremente la obtención de datos para el proyecto de investigación, situación muy lamentable, ya que precisamente una de las propuestas y

aportaciones del trabajo doctoral es la interrelación de los tres tipos de obtención de datos, travesías de campo, datos de estación fija y datos de obtención satelital.

Los resultados fueron procesados inicialmente con gráficas de distribución normal donde r^2 refleja la bondad del ajuste del modelo a la variable explicativa, posteriormente se realizaron ejercicios de regresión lineal donde r refleja, con base a la gráfica de valores de correlación, que hubo pocos resultados malos (de 1 a 3), la mayoría fueron resultados regulares (3 a 7) y pocos fueron buenos (7 a 9.99), por esto se deduce que la intensidad de isla de calor detectada entre estaciones es baja, sobre todo en la correlación de las estaciones Buenavista -Centro Lerdo en la variable de temperatura superficial para 2019 C, no así en Pino Suárez- Centro Lerdo cuyos resultados de temperatura ambiental fueron regulares.

Las estrategias de mitigación se mencionan de acuerdo al documento del Instituto de Sanidad y Salud Pública de Quebec, en Canadá, "*Urban Heat Island Mitigation Strategies*", que es de aplicación global, en las propuestas generales, pero fueron seleccionadas las propuestas adecuadas a cada estación y el trayecto del tren analizando el entorno, los tipos de construcción, anchura de vialidades, factores de cielo abierto, índice de vegetación y circulación y aparcamiento de vehículos automotores junto a otros factores en cada estación, no sin antes hacer una propuesta de mitigación a lo largo del trayecto del tren, considerando que el suelo donde se ubican los pilotes que sostienen al tren, pasará a ser derecho de vía federal y sería óptimo utilizarlo en beneficio del mismo, con las propuestas señaladas en el documento.

Finalmente como parte del resultado de análisis de Gobernanza y Gestión de Proyectos, se propone la creación de una dependencia que funja como herramienta administrativa-normativa-vigilante basada en una participación tripartita Municipio-Estado-Federación encargada de vigilar entre otros asuntos, que las islas de calor urbano no se conviertan en un problema ambiental y ecológico sin control como ha sucedido en otras ciudades en desarrollo a nivel global, baste recordar dos asuntos, que la población mundial desde hace muchas décadas está en constante crecimiento y que esta población radicará en su mayoría, en zonas urbanas.

GLOSARIO

Aforestación: Es la creación de una cubierta forestal basada en la plantación de árboles donde anteriormente no existía bosque.

Albedo: Es la relación expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre ella misma.

Atmósfera: Capa de gas que rodea a un cuerpo celeste, que son atraídos por la gravedad del cuerpo y se mantienen en ella si la gravedad es suficiente y la temperatura de la atmósfera es baja.

Atmósfera terrestre: Es la capa gaseosa de la tierra, por lo que es la más extensa y menos densa del planeta. La constituyen varios gases que varían su cantidad de acuerdo con la presión que ejercen en diferentes alturas, recibiendo esta mezcla de gases el nombre de aire, cuya masa atmosférica en aproximadamente 75% se encuentra en los primeros 11 kilómetros de altura de la superficie y está compuesta principalmente de 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y por argón, dióxido de carbono y vapor de agua.

Capa límite: También llamada capa convectiva, se considera por la actividad de la mezcla turbulenta que se manifiesta en la atmósfera y que suelen asociarse al crecimiento de capas en condiciones de inestabilidad o condiciones diurnas, cuando las condiciones son estables o neutras, se dice que están asociadas a la capa límite, la cual generalmente llega a la capa inferior de las nubes.

Ciudad: Es un espacio adaptado a un uso específico del suelo para el desarrollo e interacción de diferentes actividades humanas.

Clasificación del suelo: Determinación del planteamiento urbanístico consistente en diferenciar tres grandes tipos de uso del suelo en el municipio, diferenciados según su proceso de urbanización: Suelo urbano, suelo urbanizable y suelo no urbanizable.

Clima: Es la estadística del tiempo atmosférico normalmente en un periodo de treinta años, evaluando patrones de variación en temperatura, humedad, precipitación, presión atmosférica, viento y otras variables meteorológicas.

Clima urbano: Condiciones de clima que poseen las áreas urbanas en contraste con las que se pudieran dar en el área rural.

Confort higrotérmico: Existe el confort higrotérmico cuando no tienen que intervenir los mecanismos regulares del cuerpo para una actividad sedentaria y con un ligero arropamiento.

Comunidad: Grupo de seres humanos que comparten elementos en común como idioma, costumbres, ubicación geográfica, visión del mundo, valores, etcétera.

Impacto ambiental: Efecto que genera la actividad humana sobre el medio ambiente.

Isla de calor urbano: Fenómeno de origen térmico que se produce en áreas urbanas consistente en una temperatura que tiende a ser mayor por las noches, existente en un conglomerado de edificación masiva y sus áreas circundantes.

Radiación solar: Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, el cual se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía, esta radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie terrestre, ya que las ondas ultravioletas que más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera.

Vulnerabilidad: Cualidad que tiene alguien o algo para ser herido.

Zona urbana: Es toda concentración de personas que sea superior a 2,000 habitantes en un área que les ofrezca oportunidades de trabajo y servicios, para su mejor sostenimiento y calidad de vida.

TABLA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Gráfica de generación de Isla de Calor Urbano (ICU).	5
Figura 1.2. Gases de efecto invernadero.	8
Figura 1.3. Tabla de gases de efecto invernadero considerados por el Protocolo de Kioto.	9
Figura 1.4. Imagen de los sectores más vulnerables ante el cambio climático en México.	13
Figura 1.5. Gráfica representativa de días fuera de norma de contaminantes en el Valle de Toluca.	16
Figura 2.1. Factores contribuyentes de UHI.....	25
Figura 2.2. Tabla de escalas de estudio de isla de calor urbano UHI.	27
Figura 2.3. Tabla de casos según área, método y tipo.	28
Figura 2.4. Área metropolitana de Adelaida.....	28
Figura 2.5. Sensor <i>Extech®</i> y vehículo de recorrido para registro de datos.	30
Figura 2.6. Tabla de Isla de Calor Urbana ICU superficial y atmosférica.	35
Figura 2.7. Relación de islas de calor urbano de superficie ICUS y atmosféricas ICUA.....	36
Figura 2.8. Mapa de estudio de Gran Valparaíso.	37
Figura 2.9. Temperaturas superficiales cálidas en verano e invierno.....	39
Figura 2.10. Imagen del sensor <i>HOBO® Pro v2</i>	41
Figura 2.11. Plano de la ciudad de Tampico con los recorridos en color rojo.	42
Figura 2.12. Tabla referente a la temperatura media y mensual en 2003.	44
Figura 2.13. Tabla referente a las ICU por mes y por estación del año.	45
Figura 2.14. Gráfica de temperatura y precipitación media mensual en Toluca.....	48
Figura 2.15. Tabla de indicadores, equipo, software, escala y metodología de casos de estudio.	49
Figura 3.1. Ubicación de estaciones de monitoreo de la RAMA.....	56
Figura 3.2. Equipo y sensores de monitoreo atmosférico.....	58
Figura 3.3. Ubicación de estación climática fija de RAMA en Prepa Ángel María Garibay Kintana.....	59
Figura 3.4. Estaciones y tiempo de recorridos del tren interurbano.....	61
Figura 3.5. Imagen de proceso constructivo de rieles en Buenavista.	63
Figura 3.6. Pruebas iniciales de trenes del trayecto.	63
Figura 3.7. Construcción en primera etapa.	64
Figura 3.8. Construcción de estación Buenavista.	64
Figura 3.9. Construcción del acceso en Buenavista.	65
Figura 3.10. Obra suspendida en Buenavista.	65
Figura 3.11. Vista de encierro y talleres en Buenavista.	65
Figura 3.12. Colado de carriles en estación Buenavista.....	66
Figura 3.13. Llegada de tren de prueba.	66
Figura 3.14. Aerofoto de estación Terminal (Pino Suárez).	67
Figura 3.15. Perfil de UHI considerando los tres sitios.	75
Figura 3.16. Localización de todas las áreas de estudio.	77

Figura 3.17. Tabla de la selección de materiales de construcción de los sitios.	78
Figura 3.18. Comparación de temperatura en la superficie de muros lado este.	79
Figura 3.19. Comparación de temperatura en superficie de ventana lado este.	79
Figura 3.20. Comparación de temperatura en los muros de lado oeste.	80
Figura 3.21. Comparación de temperatura en ventana lado oeste.	81
Figura 3.22. Comparación de temperatura del aire en cada sitio.	82
Figura 3.23. Comparación de humedad relativa en cada sitio.	83
Figura 3.24. Termómetro de rayos infrarrojo Infra-Red.	92
Figura 3.25. Termómetro <i>Recorder</i> TR-73U.	92
Figura 3.26. Anemómetro de cazoletas marca Lutron.	93
Figura 3.27. GPS marca GARMIN®.	93
Figura 4.1. Tabla de datos de localización de nodos y sus coordenadas UTM.	97
Figura 4.2. Ubicación de nodos en estación Zinacantepec-Buenavista.	99
Figura 4.3. Ubicación de nodos en estación Terminal-Pino Suárez.	101
Figura 4.4. Ubicación de nodos en estación Centro-Lerdo.	103
Figura 4.5. Ubicación en la ciudad de los tres sitios de estudio.	103
Figura 4.6. Gráfica de temperatura superficial Buenavista oct-nov 2018.	106
Figura 4.7. Gráfica de temperatura aire Buenavista oct-nov 2018.	106
Figura 4.8. Gráfica de humedad relativa Buenavista oct-nov 2018.	107
Figura 4.9. Gráfica de viento Buenavista oct-nov 2018.	108
Figura 4.10. Gráfica de temperatura superficial Pino Suárez oct-nov 2018.	109
Figura 4.11. Gráfica de temperatura del aire en Pino Suárez oct-nov 2018.	109
Figura 4.12. Gráfica de humedad relativa en Pino Suarez oct-nov. 2018.	110
Figura 4.13. Gráfica de viento en Pino Suárez oct-nov 2018.	111
Figura 4.14. Gráfica de temperatura superficial Centro-Lerdo oct-nov 2018.	111
Figura 4.15. Gráfica de temperatura del aire Centro-Lerdo oct-nov 2018.	112
Figura 4.16. Gráfica de humedad relativa Centro-Lerdo oct-nov 2018.	113
Figura 4.17. Gráfica de viento Centro-Lerdo oct-nov 2018.	113
Figura 4.18. Gráfica de temperatura superficial Buenavista abril-mayo 2019.	114
Figura 4.19 Gráfica de temperatura del aire Buenavista abril-mayo 2019.	114
Figura 4.20. Gráfica de Humedad en Buenavista abril-mayo 2019.	115
Figura 4.21. Gráfica de viento en Buenavista abril-mayo 2019.	115
Figura 4.22 Gráfica de temperatura superficial en Pino Suárez abril-mayo 2019.	116
Figura 4.23. Gráfica de temperatura del aire en Pino Suárez abril-mayo 2019.	116
Figura 4.24. Gráfica de humedad relativa en Pino Suárez abril-mayo 2019.	117
Figura 4.25. Gráfica de viento en Pino Suárez abril-mayo 2019.	117
Figura 4.26. Gráfica de temperatura superficial en Centro Lerdo abril-mayo 2019.	118
Figura 4.27. Gráfica de temperatura del aire en Pino Suárez abril-mayo 2019.	118
Figura 4.28. Gráfica de humedad relativa en Centro Lerdo abril-mayo 2019.	119
Figura 4.29. Gráfica de viento en Centro Lerdo abril-mayo 2019.	119
Figura 4.30. Gráfica de temperatura superficial Buenavista 2019.	120
Figura 4.31. Gráfica de temperatura del aire en Buenavista oct-nov 2019.	120

Figura 4.32. Gráfica de Humedad Relativa oct-nov 2019.	121
Figura 4.33. Gráfica de viento en Buenavista oct-nov2019.	121
Figura 4.34. Gráfica de temperatura superficial en Pino Suárez 2019.	122
Figura 4.35. Gráfica de temperatura del aire en Pino Suárez oct-nov 2019.....	122
Figura 4.36. Gráfica de Humedad Relativa oct-nov 2019.	123
Figura 4.37. Gráfica de Viento en Pino Suárez oct-nov 2019.....	123
Figura 4.38. Gráfica de temperatura superficial en Centro Lerdo oct-nov. 2019.....	124
Figura 4.39. Gráfica de temperatura del aire en Centro Lerdo oct- nov 2019.	124
Figura 4.40. Gráfica de Humedad Relativa en Centro Lerdo oct-nov 2019.....	125
Figura 4.41. Gráfica de viento en Centro Lerdo oct-nov 2019.	125
Figura 4.42 Gráfica de concentración de temperatura superficial oct-nov 2018.	126
Figura 4.43. Gráfica de concentración Temperatura del aire oct-nov 2018.....	126
Figura 4.44. Gráfica de concentración de humedad relativa oct-nov 2018.	127
Figura 4.45. Gráfica de concentración de viento oct-nov 2018.....	127
Figura 4.46. Gráfica de concentración de Temperatura superficial abril-mayo 2019.	128
Figura 4.47. Gráfica de concentración temperatura del aire abril-mayo 2019.....	128
Figura 4.48 Gráfica de concentración de humedad relativa abril-mayo 2019.	129
Figura 4.49. Gráfica de concentración viento abril-mayo 2019.....	129
Figura 4.50. Gráfica de concentración de temperatura superficial oct-nov 2019.	130
Figura 4.51. Gráfica de concentración de temperatura del aire oct-nov 2019.....	130
Figura 4.52. Gráfica de concentración de Humedad relativa oct-nov 2019.....	131
Figura 4.53. Gráfica de concentración de viento oct-nov 2019.....	131
Figura 4.54. Cuadro de diferencias de temperatura superficial oct-nov 2018.	132
Figura 4.55. Cuadro de diferencia de temperatura superficial abril-mayo 2019.	132
Figura 4.56. Cuadro de diferencias de temperatura superficial oct-nov 2019.	133
Figura 4.57. Cuadro de diferencia de temperatura del aire octubre-noviembre 2018.	134
Figura 4.58. Cuadro de diferencia de temperatura del aire abril-mayo de 2019.	134
Figura 4.59. Cuadro de diferencia de temperatura del aire oct-nov 2019.	134
Figura 4.60. Cuadro de diferencia de humedad oct-nov 2018.....	135
Figura 4.61. Cuadro de diferencias de humedad abril-mayo 2019.....	135
Figura 4.62. Cuadro de diferencias de humedad oct-nov 2019.....	136
Figura 4.63. Cuadro de diferencias de viento oct-nov 2018.	137
Figura 4.64. Cuadro de diferencias de viento abril-mayo de 2019.	137
Figura 4.65. Cuadro de diferencias de viento oct-nov 2019.	137
Figura 4.66. Gráfica de temperatura del aire promedio 2018.	138
Figura 4.67. Gráfica de temperatura del aire promedio 2019.	139
Figura 4.68. Gráfica de temperatura del aire comparativa 2018-2019.	139
Figura 4.69. Gráfica de humedad relativa promedio 2018.....	140
Figura 4.70. Gráfica de humedad relativa promedio 2019.....	141
Figura 4.71. Gráfica de humedad relativa comparativa 2018-2019.....	141
Figura 4.72. Gráfica de viento promedio 2018.	142
Figura 4.73. Gráfica de viento promedio 2019.....	143

Figura 4.74. Gráfica de viento comparativa 2018-2019.....	143
Figura 4.75. Gráfica de Temperatura del Aire M. Bárcena promedio 2019.....	144
Figura 4.76. Gráfica de Humedad Relativa M. Bárcena promedio 2019.....	145
Figura 4.77. Gráfica de Viento M. Bárcena promedio 2019.....	145
Figura 4.78. Gráfica Temperatura del Aire Ceboruco comparativa RAMA-Bárcena 2019.....	146
Figura 4.79. Gráfica Humedad relativa Ceboruco comparativa RAMA-Bárcena 2019.....	146
Figura 4.80. Gráfica Viento Ceboruco comparativa RAMA-Bárcena 2019.....	147
Figura 4.81. Curva de normalidad de temperatura superficial Pino Suárez.....	149
Figura 4.82. Diagrama de tendencia temperatura superficial Pino Suárez.....	149
Figura 4.83. Curva de normalidad de temperatura del aire Pino Suarez.....	150
Figura 4.84. Diagrama de tendencia temperatura del aire Pino Suarez.....	150
Figura 4.85. Curva de normalidad de humedad relativa Pino Suárez.....	151
Figura 4.86. Diagrama de tendencia humedad relativa Pino Suárez.....	151
Figura 4.87. Curva de normalidad de viento Pino Suárez.....	152
Figura 4.88. Diagrama de tendencia viento Pino Suárez.....	152
Figura 4.89. Imagen Landsat 26 de octubre 2019, ubicación de estaciones y RAMA.....	155
Figura 4.90. Imagen Landsat 9 de noviembre 2019.....	155
Figura 4.91. Imagen Landsat 14 de noviembre 2019.....	156
Figura 4.92. Gráfica de correlación entre variables.....	157
Figura 4.93. Tabla de temporalidades de toma de datos.....	157
Figura 4.94. Comparativa de temperatura ambiental de campo en Buenavista 2018 A-2019 C.....	158
Figura 4.95. Comparativa de temperatura de campo en Pino Suárez 2018 A-2019 C.....	159
Figura 4.96. Comparativa de temperatura de campo en Centro Lerdo 2018 A-2019 C.....	159
Figura 4.97. Comparativa de humedad de campo en Buenavista 2018 A-2019 C.....	160
Figura 4.98. Comparativa de humedad de campo en Pino Suarez 2018 A-2019 C.....	160
Figura 4.99. Comparativa de humedad de campo en Centro Lerdo 2018 A-2019 C.....	161
Figura 4.100. Comparativa de viento en Buenavista 2018 A-2019 C.....	161
Figura 4.101. Comparativa de viento en Pino Suárez 2018 A-2019 C.....	162
Figura 4.102. Comparativa de viento en Centro Lerdo 2018 A-2019 C.....	162
Figura 4.103. Comparativa de temperatura ambiental RAMA-Bárcena de 2019 B.....	163
Figura 4.104.- Comparativa de humedad RAMA-Bárcena de 2019 B.....	164
Figura 4.105. Comparativa de viento RAMA-Bárcena 2019 B.....	164
Figura 4.106. Comparativa Temperatura Ambiental Campo-Bárcena de Buenavista 2019 C.....	165
Figura 4.107. Comparativa Temperatura ambiental Campo-Bárcena en Pino Suárez 2019 C.....	166
Figura 4.108. Comparativa Temperatura Ambiental Campo-Bárcena en Centro Lerdo 2019 C.....	166
Figura 4.109. Comparativa de Humedad Campo- Bárcena en Buenavista 2019 C.....	167
Figura 4.110. Comparativa de Humedad Campo-Bárcena en Pino Suárez 2019 C.....	167
Figura 4.111. Comparativa de Humedad Campo-Bárcena en Centro Lerdo 2019 C.....	168
Figura 4.112. Comparativa de Viento Campo-Bárcena en Buenavista 2019 C.....	168
Figura 4.113. Comparativa de Viento Campo-Bárcena en Pino Suárez 2019 C.....	169
Figura 4.114. Comparativa de Viento Campo-Bárcena en Centro Lerdo 2019 C.....	169
Figura 4.115. Comparativa de Temperatura Superficial en Buenavista-Pino Suárez 2019 C.....	170

Figura 4.116. Comparativa de Temperatura Superficial en Buenavista- Pino Suárez 2019 C.....	171
Figura 4.117. Comparativa de Temperatura Superficial en Buenavista-Centro 2018 A.....	171
Figura 4.118. Comparativa de Temperatura Superficial en Buenavista-Centro 2019 C.	172
Figura 4.119. Comparativa de Temperatura Superficial en Pino Suárez-Centro Lerdo 2018 A.....	172
Figura 4.120. Comparativa de Temperatura Superficial de Pino Suárez-Centro Lerdo 2019 C.	173
Figura 4.121. Comparativa de Temperatura Superficial en Buenavista 2018 A-2019 C.....	174
Figura 4.122. Comparativa de Temperatura Superficial en Pino Suárez 2018 A-2019 C.....	174
Figura 4.123. Comparativa de Temperatura Superficial en Centro Lerdo 2018 A-2019 C.....	175
Figura 5.1. Naturalización alrededor del edificio.	183
Figura 5.2. Algunas ventajas de muros vivos.....	184
Figura 5.3. Tipos de fachadas verde.....	184
Figura 5.4. Tabla comparativa de techos verdes extensivos e intensivos.....	187
Figura 5.5. Tabla de factores de emisividad y albedos de varios materiales.	188
Figura 5.6. Tabla comparativa de pavimentos reflectantes y permeables.....	193
Figura 5.7. Gráfica de tipos de ventilación mecánica controlada.....	204
Figura 5.8. Imagen de intercambiador de calor geotérmico, “pozo canadiense”.....	205
Figura 5.9. Tabla de ganancia de refrigeración según velocidad de corriente de viento.	206
Figura 5.10. Tabla normativa de Usos del Suelo.	207
Figura 5.11. Imagen aérea de la zona centro de Toluca.	212
Figura 5.12. Gráfica de espacios verdes/Hab. en América.....	214
Figura 5.13. Imagen de columnas naturalizadas.	214
Figura 5.14. Gráfico de ejes de gobernanza metropolitana.	219

REFERENCIAS

- Akbari, H., Pomerantz, M. y Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Sol Energy*. 70, 295-310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X).
- Akbary, H y Taha, H. (1992). The impact of trees and White surfaces on residential heating and cool energy use in four Canadian cities. *Energy*. 17(2):141-149. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(92\)90063-6](https://doi.org/10.1016/0360-5442(92)90063-6)
- Arnfiel, A. John (2002). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchange of energy and water and the urban heat island. *International Journal Climatology* .23(1):1 26. DOI: [10.1002/joc.859](https://doi.org/10.1002/joc.859).
- Backtröm, M., Viklander, M. (2000) Integrated stormwater management in cold climates, *Journal of Environmental Science and Health, Part C*.35(8):1237-1249.
- Boulfroy, E. (2009) Aménagement des ressources forestières. *Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO)*. Entretien téléphonique le 11 mai 2009.
- Déoux, S., Déoux, P. (2004) Guide del "Habitat Sain. Medieco Editions, 537 p.
- Déoux, S., Déoux, P. (2004) Guide de l'Habitat Sain. Medieco Editions, 537 p.
- Dimoudi, A., Nicolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimating análisis and benefits. *Energy and buildings*. 35 (1): 67-76.
- Cladera J.R., Ramos A. B. (2015). Planificación urbana y Cambio climático. *International Conference on Regional Science*. Universidad Politécna de Cataluña.
- Coutts, A.M., Beringer, J., Tapper, N. (2008) Changing urban climate and CO2 emissions: implications for the development of policies for sustainable cities, *Urban Policy and Research, In Press*.
- CSIRO, 2014. State and the climate Aspendale VIC. *CSIRO and Australian Bureau of Meteorology*.
- Endreny, T. (2008) Naturalizing urban watershed hydrology to mitigate urban heat-island effects, *Hydrological processes*, 22 (3): 461-463.
- Erell, E. (2011). Designing the spaces between buildings. *Urban Microclimate*. ISBN-13: 978-1844074679

- Fischetti, M. (2008) Green roofs, living cover, *Scientific American*, 298: 104-105.
- Fuentes Pérez, Carlos Alberto. (2014). Isla de calor urbano en Tampico, México. Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *SciELO Analytics*.
- Gagné, A., Dufour, S., Saulnier, M., St-Louis, M. (2008) *Le guide des options écologiques, une exclusivité de l'APCHO: des options claires pour construire vert*. Association provinciale des constructeurs d'habitations du Québec (APCHQ9, 47 p.
- Galindo, A.S., Victoria, R. (2012). "La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: Beneficios, problemáticas y soluciones para el Valle de Toluca". *REDALyC. Revista Quivera*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gartland, L. (2008). Heat islands understanding and mitigating heat in urban areas. *Heart Scan. Abigdon, Oxon, New York*.
- Gilbert, J.K., Clausen, J.C. (2006) Stormwater runoff quality and quality from asphalt, paver and crushed stone driveways in Connecticut, *Water research*, 40(4): 826-832.
- Gobierno del Estado de México. (2013). Programa estatal de acción ante el cambio climático en el Estado de México.
- Guiguere, M. (2009). Review of literatura of Urban Heat Island Mitigation Strategies. *Institute Nacional de sante public*, Québec, Canadá.
- Ihara, T. (2006) Energy conservation and urban heat island mitigation effects by solar reflective coating to an automobile. *International wordshop on countermeasures to urban heat island (Tokyo, Japan) August 3rd, 2006*, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 35, Accesible au: http://iea.org/Textbase/work/2006/heat/5f_Ihara.pdf. Consulté le 12février 2009.
- Jáuregui, E. (2008). Efectos de la urbanización en el clima del Valle de México. *Momento Económico*. (41-42): 6-7. ISSN 0186-2901.
- Johansson, E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor termal confort in a hot dry climate: a study in Fez, *Morocco*. *Build Environ*.
- Johnston, J. Newton, J. (2004) Building green: a guide to using plants on roofs, Wells and pavements. *Ecology Unit*, London, p95.
- Karatasou, S., Santamouris, M. Geros, V. (2006) Urban Building Climatology. In: Santamouris, M. (Ed.), *Environmental Design of Urban Buildings: An Integrated Approach*. Earth scan, London, pp. 95–119.
- Kingsbury, N., Dunnett, N. (2008) Planting green roofs and living walls. *Timber Press, Inc*. Portland, Oregon.
- Lakshmi, V., Zehrhuhs, D., Jackson, T. (2000) Observations of land surface temperature and its relationship to soil moisture during SGO99, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2000. IEEE 2000 International. 3:1256-1258.
- Laplace, X. (2009) *Spécialiste des toitures végétales*. Entretien telephonique le 9 avril 2009.

- Levy, A.W. (1978) CBD-192-F. *Éclairage intérieur et économie de l'énergie*. Conseil national de recherche du Canada. Accessible au: http://irc.ncr-cnrc.gc.ca/pubs/cbd/cbd192_f.html. Consulté le 12 novembre 2008.
- Liébard, A., DeHerde, A. (2005) *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques: concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Le Moniteur, Paris, 776 p.
- Liu, K., Bass, B. (2005) *Performance of green systems* National Research Council Canada, Ottawa, 18 p.
- McPherson, E.G., Muchnick. J. (2005). Effect of Street tree shade on asphalt concrete pavement performance. *Journal of arboriculture*, 31(6): 303-310.
- McPherson, E.G. (1994) Cooling urban heat island with sustainable landscapes. In: *The ecological city: preserving and restoring urban biodiversity*, Rowntree, R. A., Platt, R.H., Huick, P.C., The University of Massachusetts, Amherst, pp.151-171.
- Memon Rizwan Ahmed (2007). A review of the generation, determination and mitigation of urban heat island. *Journal and environment, science*, 2008.
- Memon, R.A.; Leung, D.Y.C. y Liu, C.-H. (2009): An investigation of urban heat island intensity (UHII) as an indicator of urban heating. *Atmospheric Research*.
- Mounen, P., Defraeye, T., Dorer, V., Blocken, B., Carmeliet, B. (2012). Urban Physics: effects of the micro-climate on confort health and energy demand. *Arch. Research*.
- Morales, C., Madrigal, D. y González, L. A. (2008). P.307. "Isla de calor en Toluca", México. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Moreno, M. C. (1993). "Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor". Barcelona. Oikos-Tau.
- Nicolopoulou, M. (2004) *Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: une approche bioclimatique*. Center for Renewable Energy Sources, 64p.
- Nikolopoulou, M. (2011) *Urban Open Spaces and Adaptation to climate change*. Urban Ecology, Climate Change.
- ONU-Hábitat-Toluca. *Por un mejor futuro urbano, Índice básico de ciudades prósperas*, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano del Gobierno del Estado de México, 2016.
- Oke, T.R. (1978). *Boundary layer climates. Second edition*. Heartscan from Routledge.
- Oke, T. R. (1989). The micrometeorology of the urban forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.
- Oke, T.R. (2006). *Initial guidance to obtain representative Meteorological Observations at Urban Sites*. Vancouver, Canada: World Meteorological Organisation.

- Oke, T.R. (2006b). Towards better scientific communication in urban Climate Theory. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1): 179-190. doi: 10.1007/s00704-005-0153-0
- Oliva, J. P., Courgey, S. (2006) La conception bioclimatique: des maison économes et confortables en neuf et en réhabilitation. *Terre vivante*, 240 p.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnet, N., Gaffins, S., Köhler, M., Lui, K.K.Y., Rowe, B. (2007) Green roofs as urban ecosytems: ecological structures, *functions and services*, *Bio science*, 57(10):823-833.
- Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca.2018
- Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2019, pág.162.
- Peña, Peña, M. y H. Romero. (2006). Relación espacial y estadística entre las islas de calor de superficie, coberturas vegetales, reflectividad contenido de humedad del suelo, en la ciudad de Santiago y su entorno rural. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas 2005*. Santiago de Chile, 2006: 107-117.
- Pérez, C.A., Ramírez, J.R. (2018). Planeación, Gobernanza y Sustentabilidad, Retos y desafíos desde el enfoque territorial, Universidad Autónoma del Estado de México, Juan Pablos Editor.
- Pomerantz, M. (1999) Benefits of cooler pavements. *Heat Island Group*. Accessible au: <http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/Pavements/Overview/>. Consulté le 17 november 2008.
- Pro-Aire 2018_2030. Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de México, Secretaría del Medio Ambiente, noviembre, 2018.
- Rizwan, A.M, Dennis. Y.C, Liu, Chunho. (2007). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal and Environmental Sciences. ScienceDirect*.
- Rosenfeld, A. H, Romm, J. J., Akbari, H., Lloyd, A.C. (1997) Painting the town white and green. *Technology, Rev*.
- Rosenfeld, A. H., Romm, J.J., Akbari, H., Pomerantz, M. (1998) Cool communities: strategies for heat islands mitigation and smog reduction, *Energy and Buildings*, 28: 54-56.
- Salomon, T., Aubert, C. (2004). La fraicheur sans clim. *Terre Vivante*, París,160p.
- Santamouris, M. (2001) Energy and climate in the urban built Environment. *Earthscan, Publishers*, 412 p.
- Santamouris, M. (2013). *Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island, A review of the actual developments*. *Renew. Sust. Energy. Rev*.26
- Sarricolea, P. y H. Romero. (2006). Cambios de uso y coberturas del suelo entre 1998 y 2004 y sus efectos sobre la configuración de la isla de calor urbana de superficie de Santiago. *Anales de la Sociedad chilena de ciencias*.

- Sarricolea, P. 2008. Análisis de la sustentabilidad del crecimiento urbano de la ciudad de Santiago y sus efectos sobre la configuración de las temperaturas superficiales. *Tesis para optar al grado de magíster en geografía con mención en recursos territoriales. Universidad de Chile.*
- Smeesters, E. (2008) Un jardin pluvial pour retenir et filtrer l'eau de pluie, *La Maison du 21e siècle*, automne, pp.74.
- Stewart, I. D. (2000). Influence of meteorological conditions on the intensity and form of the urban heat island effect in Regina. *Can. Geogr.*44(3),271–285.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1541-0064.2000.tb00709.x>.
- SCT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014. Proyecto técnico del Tren Interurbano México-Toluca.
- Stone, B. (2012). City and the coming climate: Climate change in the places we live. *Cambridge University Press*, New York.
- Svensson, Marie K. 2006. Sky view factor analysis- implications for urban air temperature differences. *Meteorological Applications*.
- Taha, H. (1997) Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat, *Energy and Buildings*, 39(11):1167-1174.
- Watkins, R., Palmer, J., Kolokotroni, M. (2007). Increased temperature and Intensification of the urban heat island: implications for human comfort and urban design. *Built Environment*. 33:85-96.
- Yamada, K., Funaki, T., Honda, S., Sugihara, M. (2001). Study of diffuse source pollution management for land use and drainage system planning. *Water Sci Technol*.44: 203-208.