



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Filosofía y Letras
Colegio de Geografía

Isla de calor en la Ciudad de Puebla

TESIS

Que para obtener el título de
LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA

Samantha Lemus Flores

ASESORA

Dra. Leticia Gómez Mendoza

Ciudad Universitaria, CD.MX. Octubre 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis queridos padres Guadalupe Flores y Benjamín Lemus, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy y por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ofrecerme todo lo necesario para convertirme en una profesional al servicio del país.

Un agradecimiento muy especial a mi tutora y guía de esta tesis Dra. Leticia Gómez Mendoza por haberme brindado la oportunidad de trabajar con ella, por su tiempo, apoyo, paciencia y transmitirme su conocimiento.

A CONACYT por la beca que me proporcionaron para la realización de este proyecto de tesis en el marco del proyecto número 238980 denominado "Estudio de Vulnerabilidad al Cambio Climático en destinos turísticos seleccionados" que se desarrolló en la Academia Nacional de Investigación. Otro agradecimiento a PAPIIME por el proyecto "Clima, naturaleza y sociedad" con la clave PE303514 por el apoyo para la culminación de este trabajo.

A Andrea Bolongaro Crevenna, Dulce María Nieto, Enrique Muñoz, René Santos, Susana Román y Vicente Torres por su extraordinaria colaboración en las campañas de medición, gracias por su tiempo y apoyo.

A Pablo Cordova por el apoyo, amor y compañía que me ha brindado.

A todos gracias.

Contenido

| | | |
|-----|--|-----|
| 1. | Resumen | 1 |
| 2. | Introducción | 3 |
| 2.1 | Objetivos | 5 |
| 2.2 | Hipótesis..... | 5 |
| 2.3 | Área de estudio | 6 |
| 2.4 | Marco de referencia..... | 17 |
| | Marco teórico..... | 17 |
| | Marco conceptual..... | 22 |
| 3. | Metodología | 26 |
| 3.1 | Diagnóstico climatológico | 27 |
| | Datos de estaciones climatológicas..... | 27 |
| | Normales climatológicas | 29 |
| | Gráficas de tendencia..... | 36 |
| | Distribución de la dirección del viento..... | 46 |
| | Ondas de calor..... | 48 |
| 3.2 | Campañas de medición | 52 |
| | Instrumental..... | 52 |
| | Método de transectos..... | 53 |
| 4. | Resultados | 65 |
| 4.1 | Variación diurna en primavera (25 de abril de 2015) | 65 |
| 4.2 | Variación diurna en verano (8 agosto 2015)..... | 70 |
| 4.3 | Variación diurna en invierno (14 enero de 2016) | 74 |
| 4.4 | Variación diurna de puntos de muestreo y estaciones de referencia | 78 |
| 4.5 | Matriz de datos de temperatura con datos de normales climatológicas 1951- 2010 y datos obtenidos en campo..... | 83 |
| 4.6 | Matriz de intensidad de isla de calor | 84 |
| 5. | Conclusiones y recomendaciones | 87 |
| 6. | Referencias | 91 |
| 7. | Anexos | 95 |
| 7.1 | Climogramas..... | 95 |
| 7.2 | Gráficas de tendencia..... | 100 |
| 7.3 | Tabla de resultados | 111 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Área de estudio..... | 7 |
| Figura 2. Crecimiento urbano..... | 8 |
| Figura 3. Vegetación y uso de suelo..... | 14 |
| Figura 4. Carta urbana de uso de suelo por la Dirección de Planeación Urbana de Puebla de Zaragoza. | 16 |
| Figura 5. Diagrama de metodología..... | 26 |
| Figura 6. Ubicación de estaciones..... | 28 |
| Figura 7. Estaciones de corto periodo de observación..... | 34 |
| Figura 8. Estaciones de largo periodo de observación..... | 35 |
| Figura 9. Tendencia de número de días con tormenta..... | 40 |
| Figura 10. Tendencia de la precipitación..... | 41 |
| Figura 11. Tendencia de número de días con niebla..... | 42 |
| Figura 12. Tendencia de número de días con granizo..... | 43 |
| Figura 13. Tendencia de temperatura..... | 44 |
| Figura 14. Distribución de la velocidad del viento en enero..... | 47 |
| Figura 15. Distribución de la velocidad del viento en abril..... | 47 |
| Figura 16. Distribución de la velocidad del viento en agosto..... | 48 |
| Figura 17. Distribución de la velocidad del viento anual..... | 48 |
| Figura 18. Número de días con temperaturas mayores a 30 °C (21035)..... | 50 |
| Figura 19. Meses con el número de días mayores a 30 °C (21035)..... | 50 |
| Figura 20. Número de días con temperaturas mayores a 30 °C (21034)..... | 51 |
| Figura 21. Meses con el número de días mayores a 30 °C (21034)..... | 51 |
| Figura 22. Transectos diseñados para captura de datos..... | 54 |
| Figura 23. Recorridos del automóvil A..... | 63 |
| Figura 24. Recorridos del automóvil B..... | 64 |
| Figura 25. Temperatura en primavera por la mañana..... | 67 |
| Figura 26. Temperatura en primavera por la tarde..... | 68 |
| Figura 27. Temperatura en primavera por la noche..... | 69 |
| Figura 28. Temperatura en verano por la mañana..... | 71 |
| Figura 29. Temperatura en verano por la tarde..... | 72 |
| Figura 30. Temperatura en verano por la noche..... | 73 |
| Figura 31. Temperatura en invierno por la mañana..... | 75 |
| Figura 32. Temperatura en invierno por la tarde..... | 76 |
| Figura 33. Temperatura en invierno por la noche..... | 77 |
| Figura 34. Variación diurna de los puntos de muestreo (vertical este y vertical oeste)..... | 80 |
| Figura 35. Variación diurna de los puntos de muestreo (horizontal norte y horizontal sur)..... | 81 |
| Figura 36. Variación del ciclo diurno con estaciones de referencia..... | 82 |
| Figura 37. Área de mayor calentamiento..... | 89 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Lista de estaciones climatológicas..... | 27 |
| Tabla 2. Lista de transectos y características..... | 55 |
| Tabla 3. Puntos del transecto vertical este..... | 56 |
| Tabla 4. Puntos del transecto vertical oeste..... | 57 |
| Tabla 5. Puntos del transecto horizontal norte..... | 58 |
| Tabla 6. Puntos del transecto horizontal sur..... | 60 |
| Tabla 7. Temperatura de estaciones y datos obtenidos en campo..... | 83 |
| Tabla 8. Datos de temperatura de las estaciones 21034 y 21035..... | 85 |
| Tabla 9. Datos de temperatura de las estaciones 21016 y 21035..... | 85 |
| Tabla 10. Intensidad de la isla de calor en la zona suroeste de la Ciudad de Puebla..... | 85 |
| Tabla 11. Intensidad de la isla de calor en la zona sureste de la Ciudad de Puebla..... | 86 |

1. Resumen

Las ciudades son ambientes en donde la actividad humana ha modificado el entorno y por tanto el clima local. El crecimiento de las ciudades en México, tanto por el desarrollo de actividades de bienes y servicios como la construcción de nuevas áreas de uso residencial, ha originado el fenómeno de la isla de calor que consiste en un área donde suelen presentarse temperaturas mayores a las de su entorno. Este contraste térmico entre la ciudad y el ambiente periurbano como efecto del cambio de balance radiativo, suelo urbano constituido por edificios y pavimentos, contaminación atmosférica y actividades antrópicas. Las islas de calor pueden tener implicaciones importantes para la salud y bienestar humano, gestión de energía y la planificación urbana. Este trabajo definió la distribución, variación estacional y diurna de la isla de calor en la Ciudad de Puebla. Se aplicó el método de recorridos sincrónicos en automóvil por la ciudad para cuatro transectos: dos para norte-sur y dos para este-oeste con un total de 29 puntos de medición de la temperatura, humedad relativa e intensidad del viento por medio de una estación meteorológica móvil. Los recorridos se realizaron una vez por estación del año, para primavera y verano de 2015 e invierno de 2016, para identificar la variación térmica anual de la isla de calor.

Los resultados confirman un calentamiento en la Ciudad de Puebla. En primavera la región más cálida se sitúa al centro y este de la ciudad, que pertenece al Centro Histórica, Las Golondrinas y la Zona Militar. En verano la zona con mayor calentamiento se localiza al noreste de la ciudad que corresponde al Centro Histórico, Gral. Ignacio Zaragoza y 10 de mayo. En invierno el calentamiento se ubica al centro y sureste de la ciudad en: Arboledas San Ignacio, La Joya, Centro histórico y Zona Militar, principalmente.

Las regiones más calientes coinciden con las zonas con mayor densidad de población, áreas construidas, mayor actividad económica, movilidad de la población, flujo vehicular y ausencia de áreas verdes.

La ciudad de Puebla ha presentado un importante crecimiento poblacional y expansión de la superficie urbana que inició a mediados del siglo XX, debido a la construcción de fraccionamientos, urbanización irregular, creación de vialidades, desarrollo de la industria y la integración de municipios conurbados.

2. Introducción

El crecimiento de las ciudades en México, tanto por el crecimiento de actividades de bienes y servicios como la construcción de nuevas áreas de uso residencial, ha originado el fenómeno de la isla de calor, que es un área donde suelen presentarse ligeramente temperaturas mayores a las de su entorno por lo general en zonas urbanas, cuya intensidad varía durante el día y a lo largo del año (Jáuregui, 1975). Este contraste térmico entre la ciudad y el ambiente periurbano como efecto del cambio de balance radiativo, suelo urbano constituido por edificios y pavimentos, contaminación atmosférica y actividades antrópicas (Jáuregui, 1975).

Las islas de calor pueden tener implicaciones importantes para la salud y bienestar humano, gestión de energía y la planificación urbana. Este trabajo definió la distribución, variación estacional y diurna de la isla de calor en la Ciudad de Puebla. Se aplicó el método de recorridos sincrónicos en automóvil por la ciudad para cuatro transectos: dos para norte-sur y dos para este-oeste con un total de 29 puntos de medición, se obtuvieron datos de temperatura, humedad relativa e intensidad del viento por medio de una estación meteorológica móvil. Los recorridos se realizaron para primavera y verano de 2015 e invierno de 2016 para identificar variación térmica anual de la isla de calor.

En el ámbito de la climatología urbana el estudio es relevante, ya que servirá para ampliar los estudios en islas de calor urbano en México y esto posteriormente podrá dar pie a nuevas investigaciones. Otro de los aportes del presente estudio es que se conocerá el clima urbano que presenta actualmente la ciudad de Puebla tras un acelerado crecimiento poblacional.

Se ha realizado un estudio previo sobre isla de calor en la zona de estudio por el Arq. Gabriel Balderas de la BUAP, enfocado principalmente a la temperatura superficial de la ciudad con imágenes satelitales LANDSAT del 2003 y ASTER del 2009. Los resultados confirman la existencia de una isla de calor superficial al comparar la ciudad con sus alrededores, además de identificar importantes contrastes térmicos en el interior de la ciudad y el desarrollo de una isla de calor nocturna. Sin embargo los resultados no han sido publicados, solamente se han presentado en congresos y coloquios.

El presente estudio pretende identificar la isla de calor en la ciudad, con el objetivo de evidenciar la existencia del fenómeno y caracterizarlo. Los principales beneficiados del estudio son los habitantes y turistas de la Ciudad de Puebla, ya que este análisis servirá de herramienta para la toma de decisiones en políticas urbanas, todo esto para mejorar la calidad de vida de los habitantes. El fenómeno de isla de calor también puede tener repercusiones en la salud de las personas y puede agudizar la incomodidad térmica en las estaciones del año más cálidas, por lo que los resultados de este estudio nos podrán indicar las temporadas del año y las zonas más favorables o desfavorables para el confort humano.

2.1 Objetivos

General:

Definir la isla de calor en la Ciudad de Puebla: Identificando su distribución y evaluando su intensidad.

Particulares:

- Describir la climatología de la ciudad
- Identificar eventos extremos del clima
- Analizar el comportamiento térmico diurno y estacional
- Evaluar el gradiente de temperatura N-S y E-W
- Describir los efectos de la población y suelo urbano en la temperatura de la ciudad
- Recomendar medidas de mitigación ante el fenómeno

2.2 Hipótesis

Una serie de indicios conducen a pensar en la existencia del fenómeno de isla de calor en la Ciudad de Puebla. Dichos indicios son la falta de áreas verdes y cuerpos de agua como amortiguadores de temperatura, la rápida expansión de la mancha urbana y del crecimiento poblacional. En la parte suroeste de la ciudad se podría pensar que hay mayor probabilidad de calentamiento por las actividades humanas debido al frecuente paso de camiones y vehículos que ingresan y salen de la ciudad a cualquier hora del día, provocando mayor tránsito vehicular.

2.3 Área de estudio

La Ciudad de Puebla, denominada oficialmente como Heroica Puebla de Zaragoza, se localiza en el altiplano central de México en la parte centro-oeste del estado, en la zona geográfica conocida como el Valle de Puebla. Es la capital y ciudad más poblada de Puebla y representa la cuarta ciudad más grande de México, después de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. También es el cuarto municipio más poblado del país, después de Iztapalapa, Ecatepec de Morelos y Tijuana. Puebla cuenta con una importante actividad turística y se ha posicionado desde 2013 en el 1º lugar en la categoría “Ciudades Coloniales” y el programa “La Ruta de los Dioses”. Puebla de Zaragoza fue declarada el 11 de diciembre de 1987, Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO, (Figura 1).

La ciudad de Puebla, fue proyectada por urbanistas de la época, los cuales eligieron el valle en donde actualmente se ubica la ciudad, debido a sus características topográficas favorables, ubicación estratégica, explotación de recursos como el agua, provista de los ríos Atoyac, Álcesela y San Francisco. En base a lo anterior, se proyecta la ciudad de Puebla con una traza rectangular con orientación de oriente a poniente y de sur a norte. Fue fundada el 16 de abril de 1531; en 1543 se le otorga en título de “Ciudad de los Ángeles” (Carral, 2004). La ciudad de Puebla, pertenece al modelo de ciudad “clásico” catalogado así por su trazo y organización. Los criterios funcionales en el diseño y trazo de la ciudad son la inclinación de las calles en relación a los vientos y los rayos solares. El trazado de Puebla es una malla homogénea, con manzanas rectangulares, que pertenecían a los asentamientos españoles, ya que del otro lado del río se encuentran los barrios donde vivían los indios. La ciudad de Puebla en el año 1543 era uno de los centros comerciales y manufactureros más importantes. En 1948 empieza la gran industria textil de seda, que después fue remplazada por la lana y algodón (Carral, 2004).

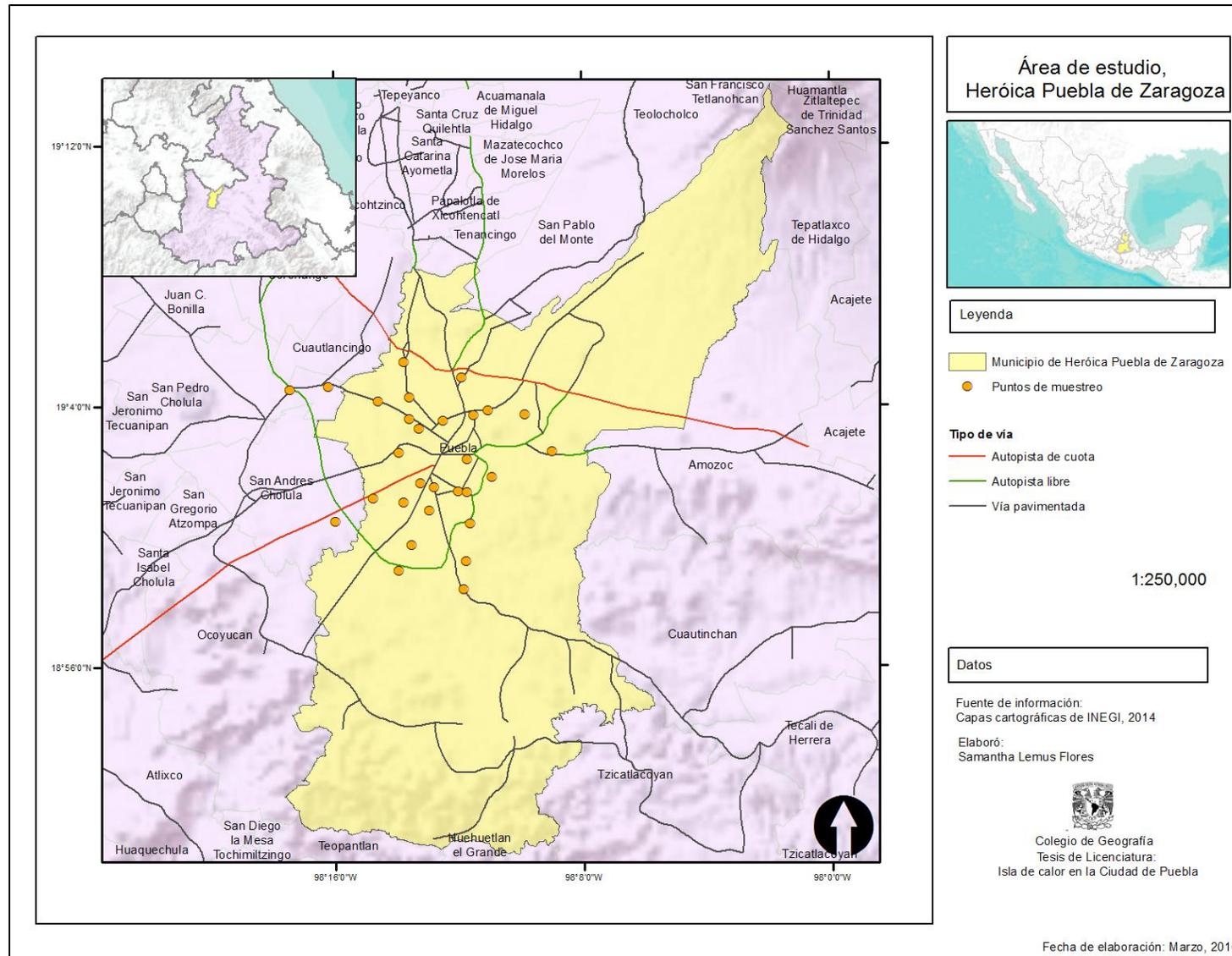


Figura 1. Área de estudio, Heroica Puebla de Zaragoza

La Ciudad de Puebla ha tenido un importante crecimiento urbano a partir de 1970, gracias al crecimiento poblacional, urbanización, desarrollo de infraestructura, servicios e industria (Figura 2). Con base en datos de los censos poblacionales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el municipio pasó de una población de 532 mil 744 habitantes y 22.83 km² de superficie urbana en 1970 (INEGI, 1970), a un millón 539 mil 819 habitantes y 223.94 km² en 2010 (INEGI, 2013), lo que representa un incremento de 2.89 veces la población y de 9.81 veces la superficie urbana.

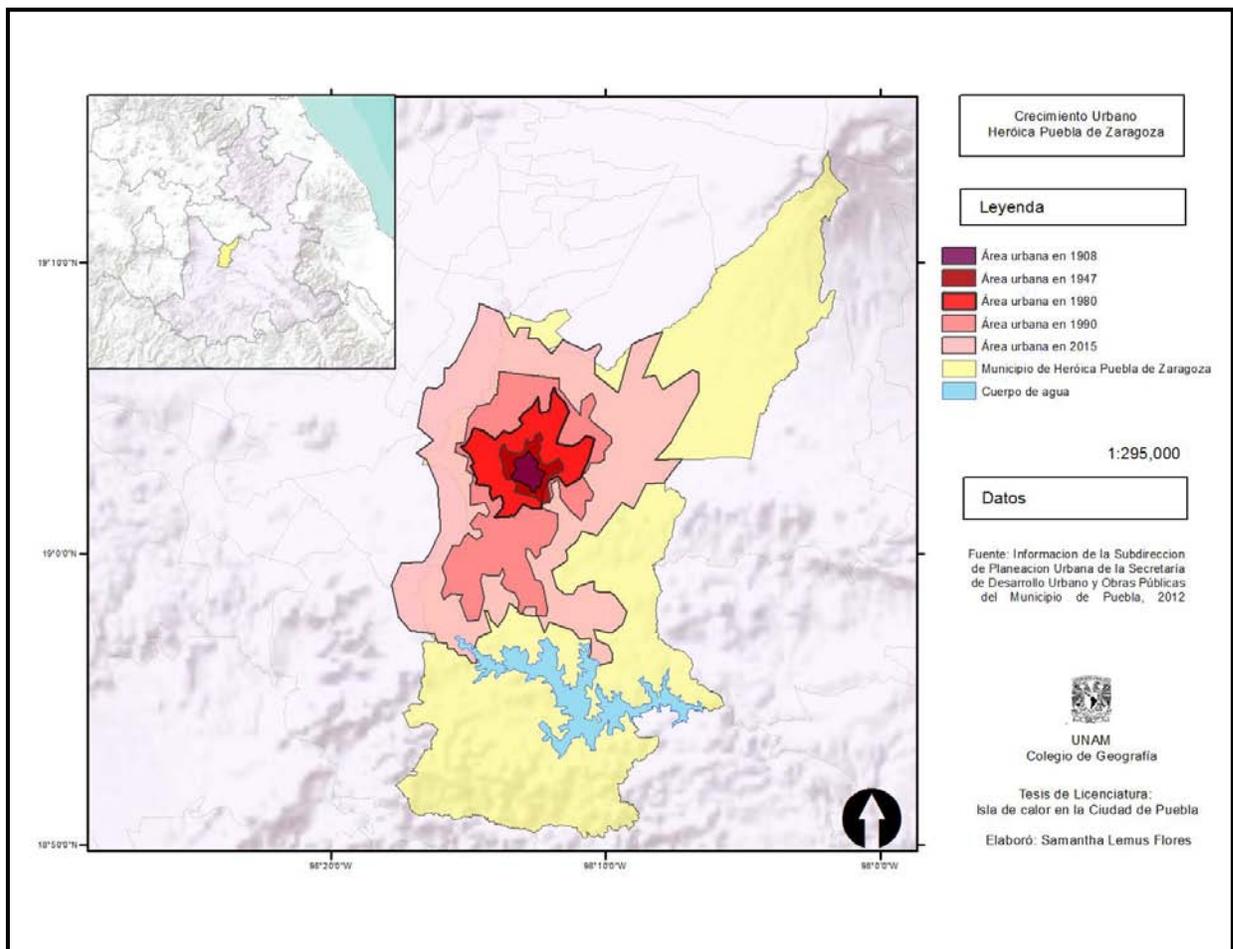


Figura 2. Crecimiento urbano, Heroica Puebla de Zaragoza

Puebla tiene una forma urbana “policéntrica”, lo cual evidencia una reducción de la vitalidad económica del centro histórico, especializado en comercio al por menor (Aguilar et. Pérez, 2008).

El municipio central y los conurbados, presentan tres importantes características según Aguilar y Pérez en 2008.

1. Una gran expansión urbana, explicada por el desplazamiento de actividades manufactureras y de comercio al por mayor, así como mayor demanda de vivienda en las zonas periféricas.
2. Una alta concentración de servicios a las empresas en un número reducido de áreas exteriores al centro histórico, lo cual apoya la tesis de una ciudad con forma urbana policéntrica.
3. El Distrito Central de Negocios localizado en el centro histórico de la ciudad de Puebla está en tránsito de perder su vitalidad a causa de una reducción de número de habitantes y migración de actividades económicas al exterior.

Lo anterior implica una expansión de la ciudad que trae consigo una mayor demanda de suelo urbano para uso residencial y para el emplazamiento de las actividades económicas, un incremento en el uso de transporte, público y particular, que impacta fuertemente al sistema vial intra e intermunicipal. También el incremento en el uso del automóvil particular así como contaminación y depredación de áreas destinadas a ser reservas ecológicas (Aguilar et. Pérez, 2008).

El municipio de Puebla elaboró su Plan de Acción Climática en el que se reconoce que la concentración de servicios ha propiciado un crecimiento urbano desordenado, altos déficits de vivienda, una infraestructura vial inconexa, desajustes en el uso del suelo, una actividad industrial dispersa, especulaciones con el suelo y baja oferta de empleos. Además, el desarrollo

económico de la Zona Metropolitana del Valle de Puebla debido a la explosión demográfica, la inmigración y las características propias de la zona ha propiciado un aumento en las actividades de trabajo, comerciales y de desplazamiento. Como consecuencia, existe un evidente aumento en el consumo de combustibles fósiles tanto en vehículos como en uso doméstico. A pesar de que la Zona Metropolitana del Valle de Puebla presenta en la actualidad niveles moderados de contaminación, eventualmente se han excedido las normas oficiales mexicanas en materia de ozono y partículas. La acumulación de gases de efecto invernadero debido al consumo de energía y a los factores antes mencionados, ha traído como consecuencia cambios que se manifiestan en la temperatura y en los patrones de precipitación.

El Plan de Acción Climática tiene como finalidad establecer políticas públicas para encontrar soluciones innovadoras para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros contaminantes del aire que alteran el clima global; así como determinar las medidas de adaptación ante los efectos del cambio climático. En este sentido, el PACMUN le permitirá al Municipio de Puebla:

- Identificar los problemas de gestión ambiental, específicamente relacionado a la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero.
- Contar con un inventario de emisiones de GEI por sector.
- Identificar las acciones para lograr la reducción de emisiones de GEI.
- Identificar la vulnerabilidad del municipio ante las amenazas del cambio climático tales como las lluvias torrenciales, frentes fríos, sequías; y los impactos derivados de dichas amenazas tales como: inundaciones, desbordamiento de ríos, deslaves, desabasto de agua ,vientos intensos, cambios bruscos de

temperatura, efectos en la salud de la población, aumento de vectores, enfermedades , entre otros.

- Identificar las políticas y medidas a implementar en materia de mitigación y adaptación al cambio climático de acuerdo a la situación de vulnerabilidad.
- Identificar los impactos del cambio climático en los diferentes sectores productivos del municipio y por tanto en la calidad de vida de las personas que habitan en el mismo.
- Fortalecer capacidades municipales para la implementación del PACMUN y para una adecuada toma de decisiones en el nivel municipal (Plan de acción climática, 2012).

En el plan Municipal de Desarrollo (2014- 2018) uno de los ejes principales es el Desarrollo Urbano Sustentable y Crecimiento Metropolitano, en el que se identifican aspectos sobre el desarrollo urbano del municipio. Se propone establecer mecanismos transversales de sustentabilidad con un enfoque metropolitano. Esto a través de un ordenamiento territorial cobijado por la infraestructura necesaria que permita mejorar inmediatamente las actuales condiciones relacionadas con el crecimiento y desarrollo urbano.

Principalmente se busca:

- Mantener la identidad de la ciudad a través de la preservación, regeneración y revitalización de su patrimonio histórico, arquitectónico, arqueológico, natural y cultural, mediante la aplicación de políticas públicas para la integración y ordenamiento del espacio urbano.
- Ciudad compacta, funcional y con uso mixto del suelo: incentivar la re-densificación y planeación urbanas para favorecer la proximidad entre la vivienda, el trabajo, la educación, la salud, el comercio, el ocio y la cultura. Lo

anterior a través de propuestas de aumento de densidades, uso mixto de suelo y desarrollo de infraestructuras que faciliten el acceso y la movilidad urbana para favorecer la integración territorial y social, así como una densidad equilibrada con verticalización proporcionada.

- Integridad ecológica y ambiental: la planeación urbana que establezca las medidas necesarias para reducir la contaminación ambiental; el uso racional de las fuentes de energía y de los recursos renovables y no renovables; en general que promueva e incentive la conservación, protección y regeneración del medio natural.

- Desarrollo Económico: aprovechar y consolidar el rol económico del municipio, de sus recursos naturales y antropogénicos, de su infraestructura y servicios para encaminarlos hacia una ciudad universitaria, comercial, turística e industrial; de innovación tecnológica y de mejoramiento global de los niveles de ingresos y del empleo (Plan Municipal de Desarrollo 2014-2018).

Estudiar el fenómeno de isla de calor en la ciudad de Puebla es trascendente, debido a que ésta zona es la cuarta ciudad con mayor número de habitantes y extensión territorial del país. Además, Puebla cuenta con una importante actividad turística y se ha posicionado desde 2013 en el 1º lugar de la categoría “Ciudades Coloniales” y el programa “La Ruta de los Dioses”.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) establece los sitios considerados Patrimonio de la Humanidad, los cuales se destacan por su importancia cultural o natural. México, hasta 2014, cuenta con 26 sitios Patrimonio Cultural, 5 de Patrimonio Natural y 1 Patrimonio Mixto, lo que coloca a México en el lugar número 6 con mayor cantidad de sitios a nivel mundial. Dentro del Patrimonio Cultural, el país cuenta con once ciudades denominadas Patrimonio de la Humanidad, en esta categoría México se posiciona en el lugar número 3 con mayor cantidad de

sitios a nivel mundial. Dentro de estas ciudades se encuentra el Centro Histórico de Puebla de Zaragoza, que fue declarada por la UNESCO, el 11 de diciembre de 1987, Patrimonio Cultural de la Humanidad (UNESCO, 2016).

Puebla es una ciudad con grandes atractivos históricos, culturales y arquitectónicos, ya que fue fundada en el año 1531, después de la conquista española y aún conserva sus rasgos urbanos y arquitectónicos originales. La ciudad de Puebla es atractiva para el turismo por ser una ciudad histórica y presenta importantes flujos de turistas motivados por conocer principalmente el patrimonio cultural. El potencial turístico de la Ciudad de Puebla, se debe principalmente a sus grandes edificios religiosos que datan de los siglos XVI y XVII, palacios, museos con obras de arte de importante valor, su gastronomía y artesanías, así como un gran número de casas cubiertas de azulejos. El estilo barroco de la ciudad es único en su género, gracias a la fusión local de los estilos arquitectónicos y artísticos de Europa y América. (Turismo en Puebla, 2016).

Por su cercanía a la capital del país, Puebla es la tercera ciudad de México con más turismo de negocios, congresos y convenciones, solo después del Distrito Federal y Cancún (Quintana Roo), según datos de la Secretaría de Turismo en 2013. La ciudad de Puebla es uno de los principales destinos turísticos en México, debido a que se encuentra en el lugar número siete de los destinos turísticos a nivel nacional. De aquí la importancia de hacer estudios y análisis en beneficio de la ciudad y de sus habitantes.

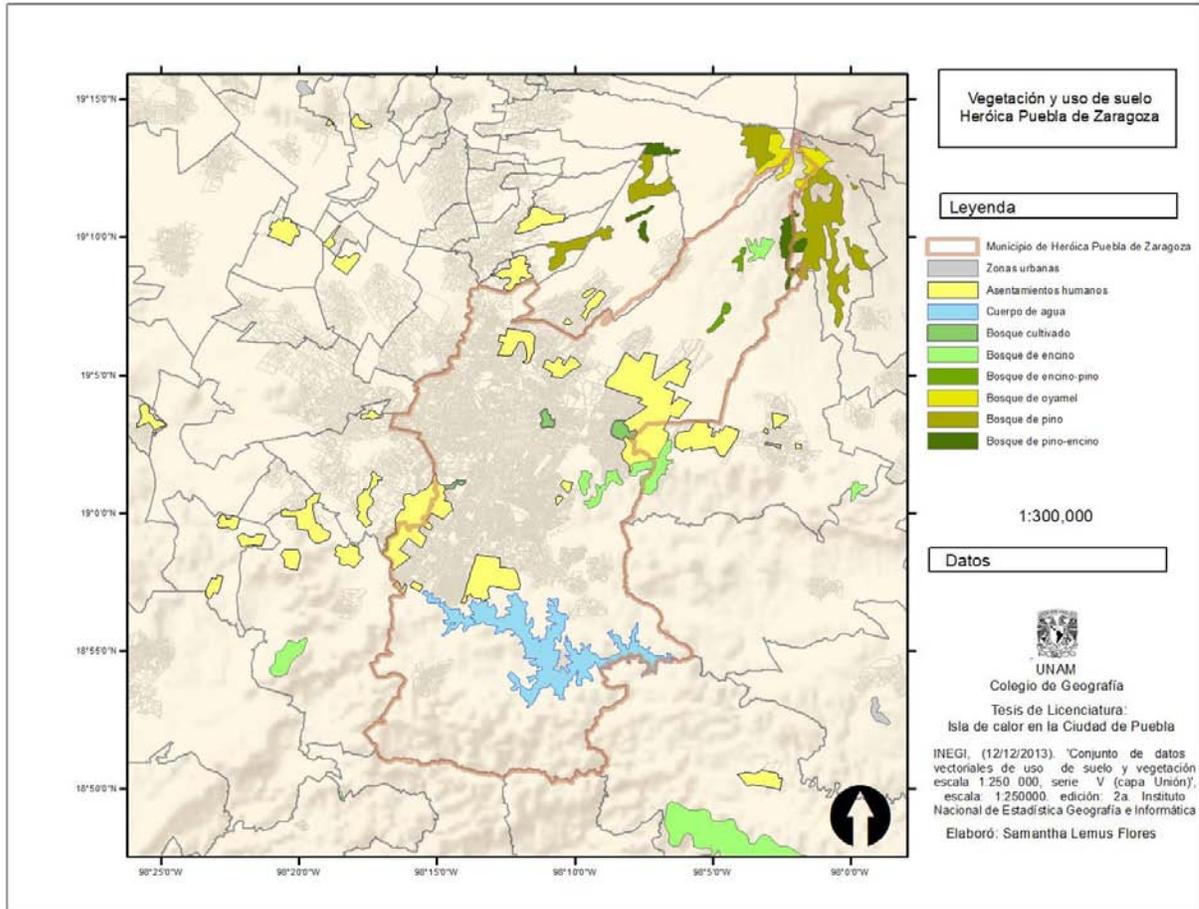


Figura 3. Vegetación y uso de suelo, Heroica Puebla de Zaragoza

La ciudad presenta una grave ausencia de áreas verdes ya que sólo hay 1.8 metros cuadrados de áreas verdes por habitante, aunque la norma internacional establece nueve metros cuadrados por habitante, además el rápido crecimiento urbano ha ocasionado la pérdida del 50% de las reservas de la ciudad (Gante et al., 2010). En los últimos años la superficie per cápita de áreas verdes disminuyó 5% gracias al crecimiento urbano y a la disminución de la calidad del agua, el municipio sólo cuenta con 13% del total de cuerpos de agua (Figura 3). Actualmente el municipio cuenta solo con 4 mil 220 hectáreas de zona boscosa y se pierde alrededor de 3 a 4% de las reservas al año por la falta de vigilancia y la rápida expansión de la

mancha urbana (Gante et al., 2010). El Departamento de Planeación Territorial a cargo de la Dirección de Planeación Urbana de Puebla de Zaragoza, publicó en 2007 la carta urbana de uso de suelo de la ciudad (Gobierno Municipal de Puebla, 2007), en la que detalladamente se indica la estructura urbana (Figura 4).

Según datos de (Desinventar, 2015), entre 2004 y 2014 se han presentado en la ciudad de Puebla cinco inundaciones importantes, principalmente en temporada de lluvias (junio, julio, septiembre) con daños en vialidades, viviendas y en la agricultura. Mientras que las lluvias torrenciales más severas fueron en 2004, afectando una gran cantidad de viviendas en el centro histórico de la ciudad. La ciudad de Puebla ha presentado inundaciones importantes como en septiembre del 2004, en donde el agua alcanzó 1m de altura. Se registró otra inundación en julio de 2007 en la Autopista México-Puebla en donde varios carriles quedaron bloqueados. En junio de 2008, viviendas y vialidades de 20 colonias y otras localidades resultaron afectadas por las inundaciones. En julio de 2010, en San Miguel Canoa, al menos 150 hectáreas de cultivos de maíz resultaron devastadas por las lluvias. En junio de 2012, se inundaron varias vialidades por el desbordamiento del río San Francisco debido a las intensas lluvias. En 2004, las lluvias torrenciales tuvieron gran impacto en el Centro Histórico de la ciudad debido a que se derrumbaron varias casas y se evacuó alrededor de 400 personas cuyas casas resultaron afectadas a causa de las fuertes lluvias.

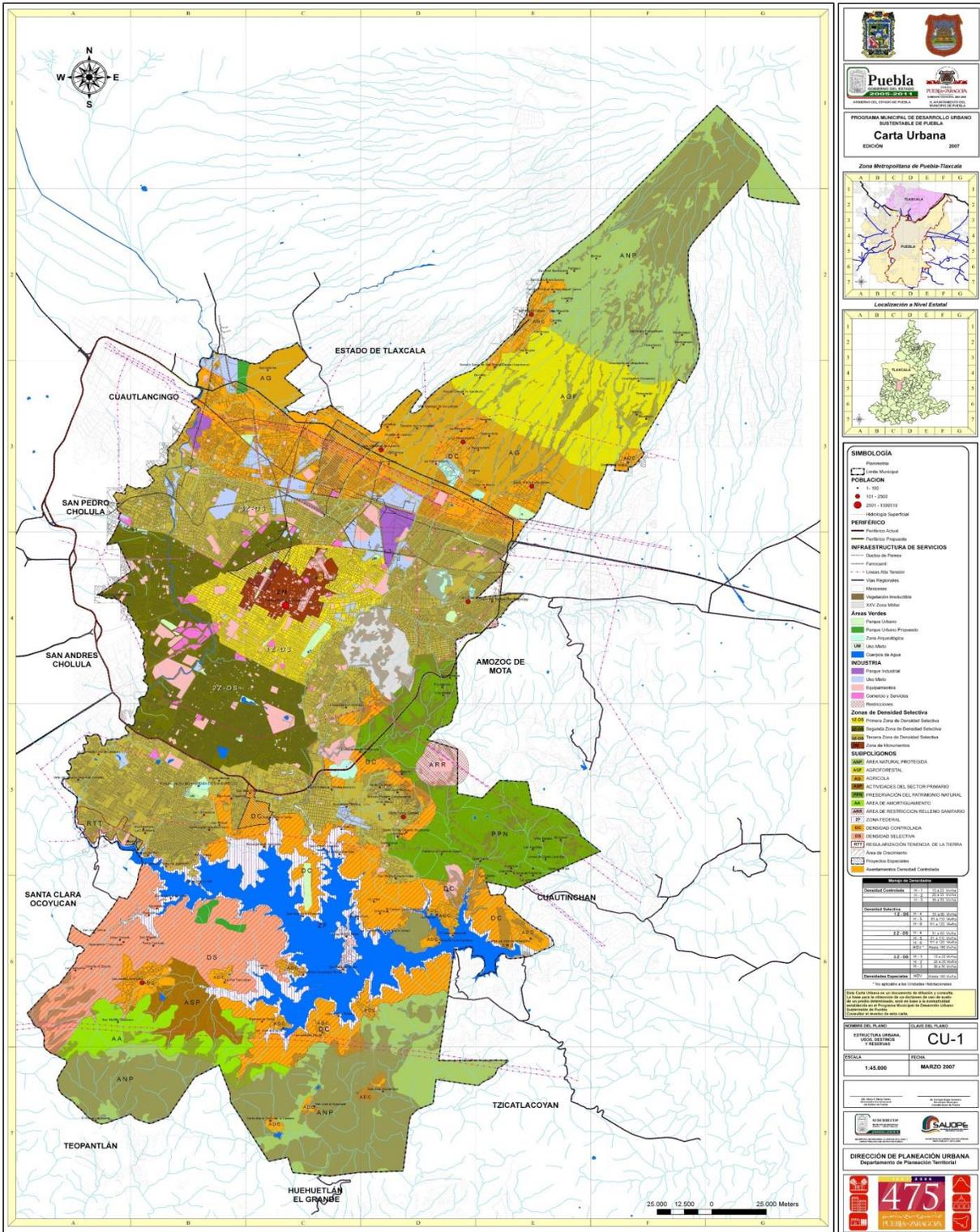


Figura 4. Carta Urbana de uso de suelo por la Dirección de Planeación Urbana de Puebla de Zaragoza

2.4 Marco de referencia

Marco teórico

Los estudios en clima urbano no son tan recientes, si nos remontamos varios siglos atrás, los griegos y romanos realizaron los primeros estudios y hallazgos acerca del clima urbano. El primer científico que se encargó de estudiar los cambios sufridos en la naturaleza a consecuencia de las ciudades fue Hipócrates, en su obra "De los aires, de las aguas y de los lugares" (S.V a. C.), relacionó la diferencia entre el aire de una ciudad al de sus periferias (Bonafon, 1808).

En la Edad Media, el incremento de la población, el diseño de las ciudades amuralladas y la falta de recolección de basura, provoca cambios notables en la composición del aire. Un ejemplo claro de lo anterior es el caso de Londres, la cual presentaba una atmosfera altamente contaminada por la quema de carbón en la ciudad, que posteriormente se tuvo que recurrir a la prohibición de dicha actividad (Landsberg, 1969). Otro estudio de los inicios del clima urbano sobre isla de calor urbana, fue el caso del francés Emilien Renou (1815-1902) que identifica un calentamiento en el centro de París, respecto a la periferia (Jáuregui, 1993).

En 1899 , el climatólogo mexicano Manuel Moreno y Anda, publica "Una comparación de los climas de México y Tacubaya", en el que utilizando los datos de dos estaciones, una urbana (Observatorio Meteorológico Central) y otro rural (Observatorio Astronómico de Tacubaya), determinó los contrastes ciudad-campo que caracterizan a la llamada isla de calor urbano, de 1895 a 1896 (Jáuregui, 1992). Este fue el primer estudio sobre clima urbano en México que se tiene registro.

Gracias a la implementación de redes de observación meteorológicas que a finales del S. XIX generaron los datos meteorológicos, se impulsó y mejoró el análisis de clima urbano. Sin embargo, la utilización de estos datos meteorológicos nos da la diferencia de puntos muy concretos en donde están colocadas las estaciones, pero no de otros puntos de la ciudad. Para resolver esto, en 1927, Schmidt en Viena y Peppler en Karlsruhe, introdujeron vehículos de motor con aparatos de medida con los que obtenían diversos datos de temperatura de varios puntos de la ciudad mediante recorridos (Jáuregui, 1979).

En 1968, se celebró el primer Simposio Internacional sobre Climas Urbanos, organizado por la Organización Meteorológica Mundial. En 1970, se impulsaron los estudios en climatología urbana y se reconoció la isla de calor en distintas ciudades (W.M.O., 1970).

Estudios realizados sobre islas de calor, determinan que dependiendo del tamaño de la ciudad, el tamaño de la población y urbanización, una ciudad puede presentar una o varias islas de calor, por lo que la urbanización impacta notablemente en el clima de las ciudades. A medida que las ciudades crecen en extensión, aumenta el contraste térmico urbano/rural (Oke, 1973).

Una de las teorías establece que las principales razones por las que se da este calentamiento en las ciudades es: 1) que los materiales de las construcciones son impermeables, de tal forma que la humedad no está disponible para disipar el calor del sol. 2) el poco albedo de los materiales y la distribución de las edificaciones, así como el pavimento, retienen más energía del sol (Runnalls y Oke, 2000). Para Jáuregui (1992) la isla de calor urbana, surge como resultado de la alteración de la cobertura de suelo natural por la de materiales no porosos, como el asfalto y hormigón que modifican el balance energético entre la atmosfera y la superficie. Otro aspecto que influye en las islas de calor, es la

generación de energía de residuos utilizados por transporte e industria que contribuyen a este calentamiento.

Existen dos principales causas hipotéticas de las que depende el surgimiento de islas de calor: controles de superficie y controles atmosféricos. Los controles de superficie son las propiedades térmicas de absorción de los materiales que componen la ciudad, mientras que los controles atmosféricos son el viento y las nubes (Oke, 1982). Una isla de calor se origina, cuando los patrones de las isothermas graficadas en un mapa superficial de tiempo se observan como contornos topográficos de una isla alrededor de un área urbanizada (Stull, 1988). Otra de las causas sugeridas es el efecto invernadero y el calor antropogénico (Oke et al., 1991).

La isla de calor se identifica con mayor intensidad cuando el cielo está despejado y los vientos en calma. De acuerdo a estudios en diversas ciudades, la intensidad máxima de la isla de calor se observa más durante la noche que en el día y puede ser modificada por las nubes y el viento (Kim y Baik, 2002).

Las simulaciones de las islas de calor urbanas en la noche por Oke et al. (1991) revelan que las posibles causas son la combinación de efectos de geometría (factor de vista del cielo) y propiedades térmicas, que producen un mayor desarrollo de las islas de calor después de la puesta del sol, mientras que durante el día el proceso se ve influenciado por el flujo de calor sensible por el aumento de absorción de radiación de onda corta y las fuentes de calor antropogénico.

Algunos de los resultados que obtuvo Jáuregui (1997) para la Ciudad de México, fue que las islas de calor nocturnas son más frecuentes e intensas. Se dan con mayor frecuencia durante la estación seca, cuando es probable que disminuya la temperatura en zonas rurales, los suelos estén secos y la baja humedad atmosférica cause velocidades de enfriamiento rápido en la zona

rural durante la noche. Lo anterior contrasta con latitudes medias en donde la divergencia urbano/rural tiene velocidades de enfriamiento, que producen un contraste térmico máximo antes de la media noche. Jáuregui (1997) indica que las condiciones sinópticas durante la noche intensifican en mayor medida la isla de calor.

Una isla de calor puede minimizar el periodo frío e incrementar el de verano, por lo que la temperatura urbana reduce el uso de calefacción en invierno, mientras que en verano el uso de refrigeración incrementa. Con esto se aumenta la demanda energética trayendo consecuencias ambientales y económicas. No solo se altera la temperatura de la ciudad, también la de sus periferias, por lo que altera el clima regional (Jáuregui et al., 2008).

Estudios que se han hecho sobre el fenómeno isla de calor han arrojado resultados muy diferentes respecto a la intensidad del fenómeno, dependiendo el tamaño de la ciudad, presencia o ausencia de cuerpos de agua y vegetación, entre otras características. Para algunos autores, la isla de calor urbana puede significar alrededor de 2°C de incremento en la temperatura del centro de la ciudad respecto de sus alrededores, para urbes de cien mil o más habitantes (Yan et al., 2010). Aunque Jáuregui (2000) encontró hasta 10°C de diferencia para la ciudad de México. Estudios realizados en el ámbito de la climatología física aplicados en isla de calor en áreas urbanas tropicales, muestran que, si bien hay algunas diferencias, la respuesta general del sistema es muy similar a la de las ciudades templadas (Oke et al., 1992).

Las islas de calor están ligadas con el clima de la región y puede mostrar ciclos diurnos y estacionales. En áreas urbanas, puede generar el incremento de la temperatura hasta 10°C (Jáuregui, 2000). En el caso de Seúl, Corea, durante el periodo de 1973 a 1996, el promedio máximo de la isla de calor fue mayor en otoño e invierno que en verano. De manera similar a otros estudios previos en otras ciudades, la intensidad máxima de la isla de calor se observa más durante

la noche que en el día y puede verse modificada por las condiciones de nubes y viento (Kim, 2002).

Jáuregui (1997), describió la climatología de la superficie donde se presenta la isla de calor en la Ciudad de México de 1996 a 1997, se utilizaron dos estaciones automatizadas que se instalaron en una zona urbana y en una zona rural. Los resultados mostraron que la isla de calor nocturna es más frecuente que durante el día. Fue de 7.8°C la intensidad nocturna máxima observada en un mes seco y estuvo caracterizada por noche de cielo despejado. La isla de calor a mediodía presentó una frecuencia del 13% y una intensidad de 3 a 5°C durante la estación húmeda. Por la tarde la isla de calor tuvo una intensidad de 4 a 5°C en promedio de contraste térmico en las áreas urbanas y rurales se midió en 5°C en un día en la mitad de una estación seca y en los meses húmedos alrededor de 1 a 3°C.

Otra ciudad con presencia de isla de calor es Tucson, Arizona, la cual ha experimentado un rápido crecimiento urbano en las últimas décadas debido al cambio en el uso de suelo que ha producido impactos ambientales. Un estudio de datos de temperatura entre la zona rural y urbana, muestra la presencia de una isla de calor con una diferencia de temperatura promedio de 2°C en la ciudad. El estudio se realizó por la Universidad de Tucson, utilizando datos de siete estaciones que registraron la temperatura de la zona. Para poder determinar la intensidad de la isla de calor se utilizó equipo montado en vehículos a una altura de 1.5 metros del nivel del suelo, partiendo de la universidad a la periferia de la ciudad. Los datos obtenidos se compararon con datos de una estación ubicada a 40 kilómetros de la ciudad (Comrie, 2000).

Marco conceptual

La superficie terrestre es en donde la mayor parte de la energía radiada se absorbe, refleja, emite y en donde ocurren las principales transformaciones de ésta (por ejemplo el paso de energía radiante a térmica, o de sensible a latente) y de la masa (cambio de estado físico del agua); también es en donde se interceptan las precipitaciones y en donde ocurre la mayor resistencia del viento (Oke, 1987).

El grado de entendimiento de un sistema climático depende de qué tan bien se conocen los procesos internos del mismo, como el intercambio de masa o energía, y en grado mayor cuando se conocen los efectos térmicos de los factores energéticos (Oke, 1982). La energía de un sistema que tiene relevancia climática, como el sistema Tierra-Atmósfera, existe en cuatro formas (radiativa, térmica, cinética y potencial) y su transmisión puede ser por tres modos (conducción, convección y radiación). Así, la energía puede ser particionada en diferentes flujos, y convertida en distintas combinaciones de formas de energía y de modos de transporte. Para lo cual es importante conocer algunas propiedades físicas del sistema, como su habilidad de absorción, transmisión, reflexión y de emisión de radiación, en su habilidad de conducción y convección de calor, y en la de almacenar energía (Oke, 1987).

La superficie terrestre se define técnicamente como un plano que separa dos medios diferentes. No contiene energía ni masa, pero es el sitio de transición, es decir, en donde se realizan los intercambios y conversiones de masa y energía (Oke, 1987). El balance de energía superficial debe considerar todas aquellas fuentes de energía o calor presentes, como las antropogénicas. Un factor a tomar en cuenta son las actividades antropogénicas que emiten energía. La mayoría de éstas suceden en la capa superficial o capa límite de la atmósfera, cuya altura está alrededor de 100 m, aun cuando esta altura puede variar, por

la turbulencia. Otro factor, tal vez el más importante, son los distintos usos del suelo que determinan la capacidad para absorber o reflejar la radiación incidente proveniente del sol o de otros elementos atmosféricos; estos factores junto con otros contribuyen a que los balances energéticos de zonas urbanas y rurales difieran entre sí, aun cuando se trate de zonas aledañas. Considerando las distintas aportaciones al balance energético superficial la ecuación puede expresarse de la siguiente forma:

$$Q^* + Q_F = Q_E + Q_H + Q_G + \Delta Q_A$$

Donde Q^* , es la radiación neta; Q_F , el calor antropogénico; y Q_E , el flujo de calor latente turbulento; Q_H , el flujo de calor sensible turbulento; Q_G , el calor sensible almacenado; ΔQ_A el calor neto de advección (Shahmohamadi et al., 2011).

El uso de suelo en una zona rural o semiurbana corresponde mayormente a áreas con vegetación, las cuales se conoce que sirven como reguladoras de la temperatura del aire. A este efecto se le conoce como efecto oasis (Jáuregui y Martínez, 2000). Los efectos meteorológicos a nivel micro y meso-escala han sido extensivamente estudiados con distintos propósitos. La mayoría de los estudios ponen énfasis en las diferencias entre el microclima de áreas con vegetación y áreas sin este componente, particularmente en la temperatura del aire (Taha, 1991). Una de las razones por las que la temperatura es menor en un área con vegetación es que el albedo es mayor que para áreas pavimentadas, ya que el primero es de 0.2 y para zonas urbanas está entre 0.08 y 0.15 (Taha, 1991).

En una zona rural la densidad de flujo radiativo superficial (Q^*) que está dominado durante el día por el intercambio de radiación de onda corta, y durante la noche únicamente por radiación de onda larga. El excedente (déficit) de energía radiante superficial es disipada (suministrada) por

conducción de calor al (desde) suelo (Q_G) y por convección del calor sensible y latente a (desde) el aire Q_H , Q_E y respectivamente). El intercambio de calor entre el suelo y el aire depende de muchos factores, incluida la naturaleza de la superficie, las propiedades termales del suelo y el estado de la atmósfera (especialmente el nivel de turbulencia). Una superficie que cuente con una cubierta de vegetación baja, puede llegar a aportar en el día entre el 80 a 90% del excedente radiativo, durante la noche, el déficit radiativo es equilibrado mayormente por conducción del calor almacenado en el suelo que únicamente representa del 10 al 50% de su capacidad y que extrae de la atmósfera debido a la relativamente baja turbulencia atmosférica (Oke, 1982)

La división entre las formas de calor sensible y latente (Razón de Bowen, β del transporte turbulento depende en gran medida de la disponibilidad de vapor superficial. Cuando la superficie está mojada, la tasa de evapotranspiración está a todo su potencial y depende únicamente de la disponibilidad de energía y de la temperatura. Cuando la superficie está húmeda, la razón de evapotranspiración decae un 80% de su potencial, a esta condición se le conoce como equilibrio de evaporación y los valores típicos rurales para β (basado en los valores energéticos diarios) están en un rango de 0.4-0.8. Siendo posible encontrar valores para en algunas zonas rurales de hasta 1.5 o mayores en latitudes medias (Bailey y Davies, 1981).

La presencia de edificios en un área modifica las características radiativas, termales, de humedad y aerodinámicas del ambiente circundante. Es por esto que el proceso de urbanización causa cambios radicales en la naturaleza de la superficie y en las propiedades atmosféricas de la región. En una región considerada urbana, la superficie que predomina es el concreto o pavimento, que tiene un albedo menor al de la vegetación (Oke, 1987).

El proceso de urbanización en el cual las ciudades se ven forzadas a modificar radicalmente su entorno natural: como la expansión gradual de suelo urbano,

actividades humanas, incremento de la población, disminución de áreas verdes, entre otras causas, trae como consecuencia alteraciones en el clima local. La isla de calor es el efecto más claro del impacto de las actividades humanas en el clima a nivel local, y se define como la diferencia térmica entre el área urbana y su periferia (Jáuregui, 2000). Éste fenómeno ocurre generalmente en zonas urbanas, y durante la noche presentan dificultad de disipación, cuando las zonas rurales se enfrían por falta de acumulación de calor. El centro de la ciudad, constituido por edificaciones y asfalto, libera por la noche el calor acumulado en el día y trae consigo vientos locales del exterior al interior de la ciudad (Jáuregui, 1992). Las islas de calor están relacionadas con las propiedades térmicas de los materiales de construcción, bajo albedo, pocas áreas verdes, crecimiento poblacional, calor antropogénico, geometría urbana, cambio de uso de suelo, calefacción y establecimiento de industrias (Kleerekoper et al., 2012).

Uno de los factores que agudizan la isla de calor es el albedo, que es la capacidad de la superficie terrestre de reflejar la radiación solar. Se sabe que un color más oscuro absorbe mayor calor a diferencia de un color más claro que refleja la radiación. En la ciudad, los tonos oscuros brindados por el asfalto y otras construcciones retienen mayor calor a diferencia de las zonas rurales que están construidas en mayor medida por áreas verdes.

El fenómeno isla de calor se puede clasificar en dos tipos (Sarricolea y Romero, 2015): la isla de calor urbana, que corresponde a la temperatura más alta registrada en la capa de aire que cubre la ciudad, debido a la gran cantidad de calor que absorben las construcciones edáficas por la insolación directa, que posteriormente devuelven a la atmosfera, y la isla de calor urbana superficial que es la temperatura más alta de emisión que logran distintas estructuras urbanas y son observados directamente por sensores infrarrojos, generalmente se obtienen rasgos térmicos más marcados.

3 Metodología

Para la identificación de la isla de calor, fue necesario realizar estudios de campo y estudios de gabinete para conjuntar toda la información de temperatura de la zona de estudio.

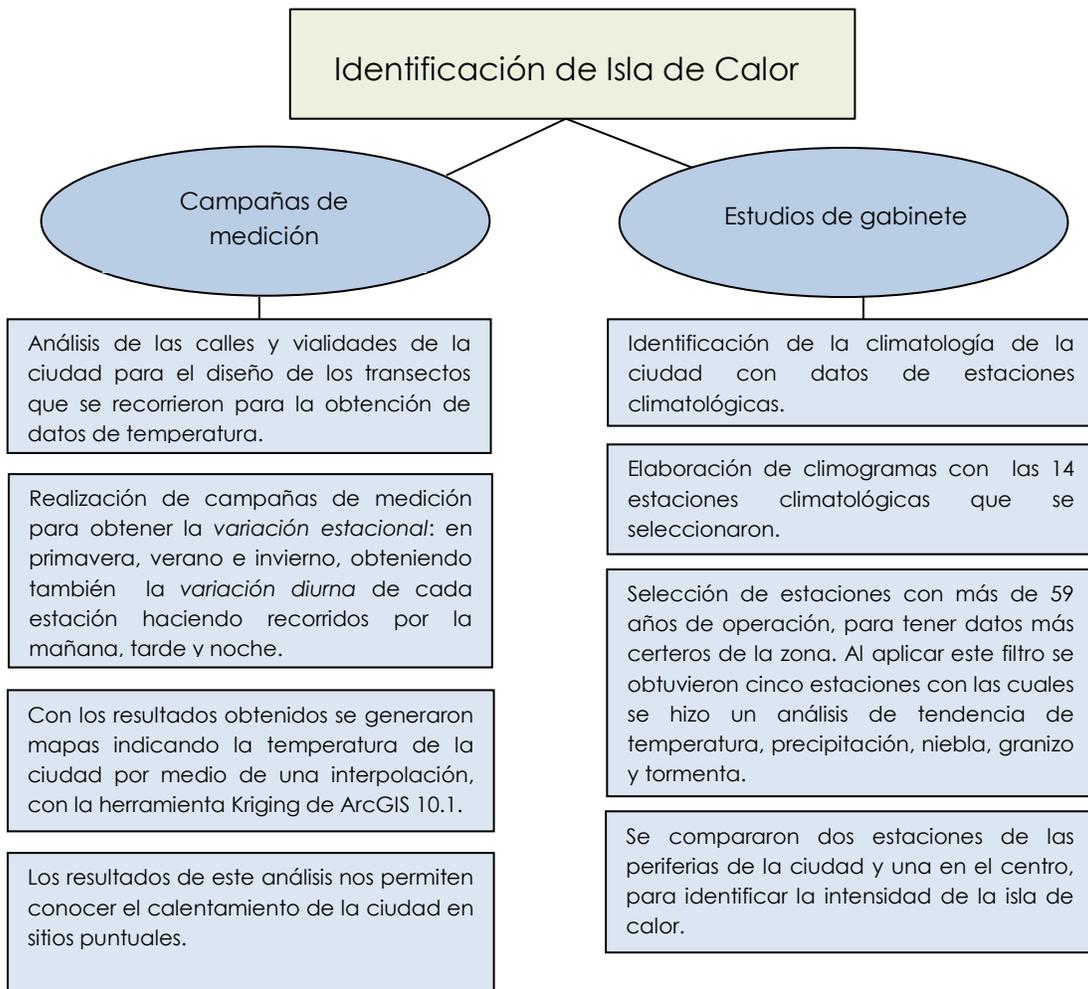


Figura 5. Diagrama de metodología

3.1 Diagnóstico climatológico

Datos de estaciones climatológicas

Para definir la climatología de la ciudad, se identificaron las estaciones que se encontraran dentro de la ciudad y sus alrededores. Dichas estaciones son 24 las cuales se enlistan a continuación con su respectiva ubicación, nombre de la estación, número de años con datos y porcentaje de datos completos.

Tabla 1. Lista de estaciones climatológicas

| Clave | Nombre | Municipio | Estado | Lat | Long | Altitud | % datos |
|-------|----------------------------|---------------|----------|-----------|--------|------------|---------|
| 21012 | Atlixco | Atlixco | Puebla | 18.918611 | -98.45 | 1,904 msnm | 69.70 |
| 21016 | Balcon Diablo | Tzicatlacoyan | Puebla | 18.918056 | -98.12 | 2,120 msnm | 96.20 |
| 21034 | Echeverría | Puebla | Puebla | 18.983889 | -98.28 | 2,066 msnm | 82.50 |
| 21035 | Puebla | Puebla | Puebla | 18.983611 | -98.20 | 2,122 msnm | 98.30 |
| 21046 | Hejotzingo | Huejotzingo | Puebla | 19.1619 | -98.41 | 2,454 | 69.40 |
| 21071 | San Baltasar Tetela | Puebla | Puebla | 18.9 | -98.17 | 2,060 msnm | 81.70 |
| 21136 | Acajete | Acajete | Puebla | 19.12 | -97.97 | 2,479 msnm | 52.00 |
| 21148 | San Miguel Canoa | Puebla | Puebla | 19.1322 | -98.08 | 2,583 | 76.70 |
| 21163 | El Batan | Puebla | Puebla | 18.9797 | -98.18 | 2,108 | 88.90 |
| 21164 | C.A.E. San Juan Tetla | Chiautzingo | Puebla | 19.2153 | -98.50 | 3,392 | 81.80 |
| 21167 | San Andres Calpan | Calpan | Puebla | 19.1056 | -98.46 | 2,317 | 92.50 |
| 21214 | San Juan Tetla Siete Norte | Chiautzingo | Puebla | 19.1739 | -98.58 | 3,393 | 85.10 |
| 21235 | San Isidro Huilotepec | Atlixco | Puebla | 18.8839 | -98.38 | 1,815 | 53.60 |
| 29050 | Teolochoolco | Teolochoolco | Tlaxcala | 19.2433 | -98.19 | 2,320 | 65.70 |

Fuente: SMN, CONAGUA

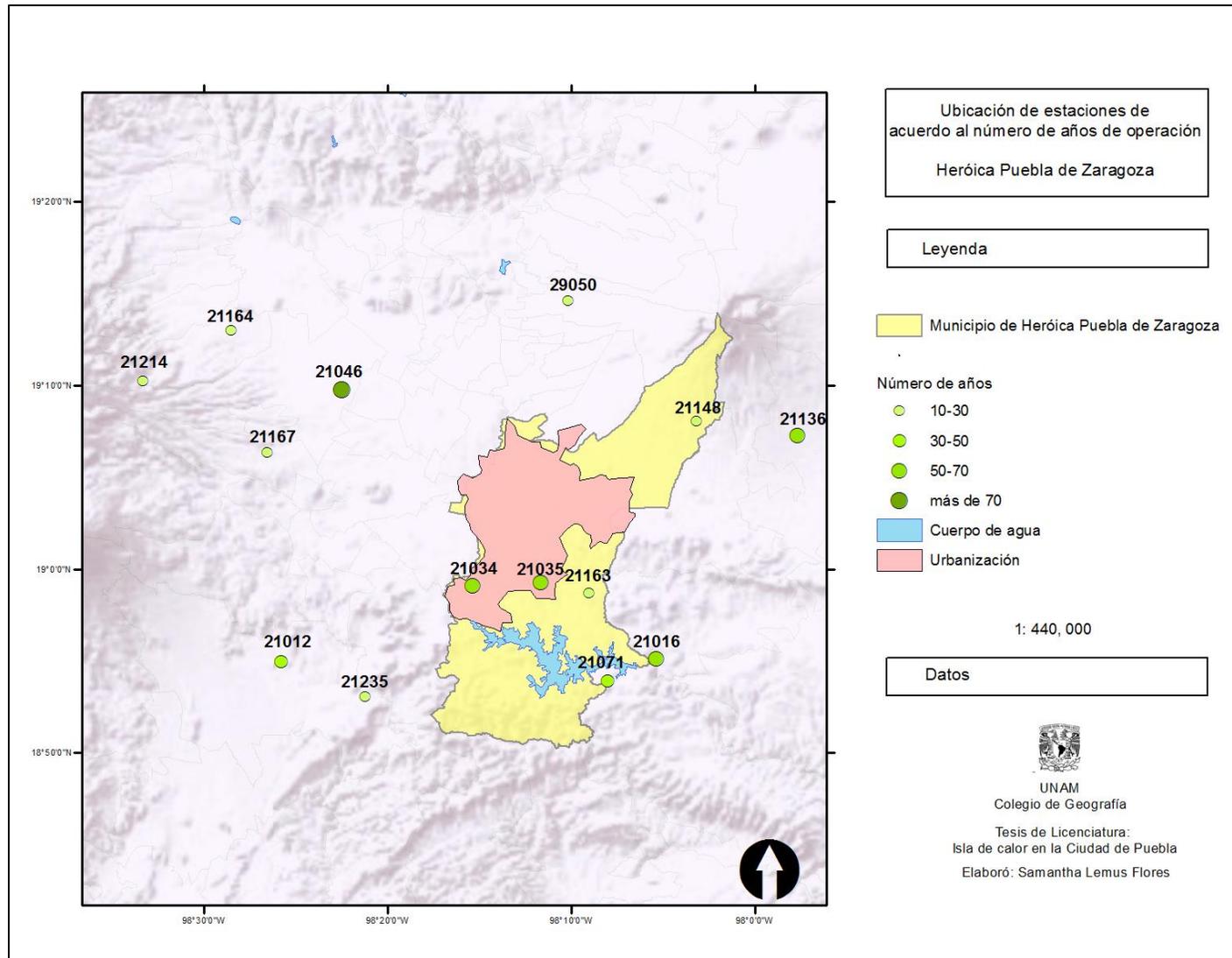


Figura 6. Ubicación de estaciones

Normales climatológicas

Con los datos de normales climatológicas (1951-2010) se diseñaron Climogramas para hacer el diagnóstico climatológico. Sólo 14 estaciones cuentan con normales climatológicas de 1951 a 2010, 13 de ellas en el estado de Puebla (Atlixco, Balcón Diablo, Echeverría, Puebla, Hejotzingo, San Baltasar Tetela, Acajete, San Miguel Canoa, el Batán, C.A.E. San Juan Tetla, San Andrés Calpan, San Juan Tetla Sierra Norte y San Isidro Huilotepec) y 1 en Tlaxcala (Teolocholco).

Atlixco, Puebla (21012)

El rango de temperatura máxima se encuentra entre los 24 y 29°C a lo largo del año, el valor más alto se registra en el mes de mayo y el más bajo en enero. La temperatura media anual se encuentra entre los 16 y 21°C, el valor más alto se presenta en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 7 y 14°C, el valor más alto se registra en el mes de junio y el más bajo en enero. La precipitación presenta canícula en el mes de julio con una disminución aproximada de 30 mm. El mes más lluvioso es agosto con 180 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

Balcón diablo, Puebla (21016)

La temperatura máxima oscila entre los 23 y 27°C a lo largo del año, el valor más alto se presenta en el mes de abril y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 13 y 19°C durante el año, el valor más alto se registra en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 4 y 12°C, el valor más alto se presenta en el mes de junio y el más bajo en enero. La precipitación presenta canícula en los meses de julio y agosto con una disminución aproximada de 30 mm. Los meses más lluviosos

son junio y septiembre con 140 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

Echeverría, Puebla (21034)

La temperatura máxima oscila entre los 22 y 26°C a lo largo del año, el valor más alto se presenta en el mes de abril y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 11 y 18°C durante el año, el valor más alto se presenta en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre 1 y 11°C, el valor más alto se registra en el mes de junio y el más bajo en enero. La precipitación presenta canícula en el mes de julio con una disminución aproximada de 10 mm. El mes más lluvioso es junio con 180 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

Puebla, Puebla (21035)

La temperatura máxima oscila entre los 23 y 28°C a lo largo del año, el valor más alto se presenta en el mes de mayo y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 14 y 20°C durante el año, el valor más alto se registra en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 5 y 12°C, el valor más alto se presenta en el mes de junio y el más bajo en enero. La precipitación presenta canícula en los meses de julio y agosto con una disminución aproximada de 35 mm. Los meses más lluviosos son junio y septiembre con 190 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

Hejotzingo, Puebla (21046)

La temperatura máxima oscila entre los 22 y 27°C a lo largo del año, el valor más alto se registra en el mes de mayo y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 13 y 19°C durante el año, el valor más alto se presenta en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 3 y 11°C, el valor más alto se registra en el

mes de junio y el más bajo en enero. La precipitación va de los 150 a los 170 mm en los meses de junio a septiembre. Los meses más lluviosos son julio y agosto con 165 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

San Baltasar Tetela, Puebla (21071)

La temperatura máxima oscila entre los 23 y 28°C a lo largo del año, el valor más alto se presenta en el mes de mayo y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 14 y 20°C durante el año, el valor más alto se registra en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 5 y 13°C, el valor más alto se presenta en el mes de junio y el más bajo en enero. La precipitación presenta canícula en los meses de julio y agosto con una disminución aproximada de 20 mm. El mes más lluvioso es septiembre con 140 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

Acajete, Puebla (21136)

La temperatura máxima oscila entre los 21 y 26°C a lo largo del año, el valor más alto se da en el mes de abril y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 13 y 17°C durante el año, el valor más alto se presenta en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 4 y 8°C, el valor más alto se registra en el mes de junio y el más bajo en enero. La precipitación presenta canícula en los meses de julio y agosto con una disminución aproximada de 30 mm. El mes más lluvioso es junio con 165 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

San Miguel Canoa, Puebla (21148)

La temperatura máxima oscila entre los 19 y 24°C a lo largo del año, el valor más alto se registra en el mes de abril y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 11 y 15°C durante el año, el valor más alto se registra en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura

mínima oscila entre los 4 y 8°C, el valor más alto se da en el mes de junio y el más bajo en enero. La precipitación presenta canícula en los meses de julio y agosto con una disminución aproximada de 40 mm. El mes más lluvioso es junio con 180 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

El Batán, Puebla (21163)

La temperatura máxima oscila entre los 24 y 29°C a lo largo del año, el valor más alto se registra en el mes de abril y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 14 y 19°C durante el año, el valor más alto se presenta en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 5 y 12°C, el valor más alto se observa en el mes de junio y el más bajo en enero. La precipitación presenta canícula en el mes de julio con una disminución aproximada de 50 mm. El mes más lluvioso es junio con 200 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

C.A.E. San Juan Tetla, Puebla (21164)

La temperatura máxima oscila entre los 12 y 16°C a lo largo del año, el valor más alto se registra en el mes de abril y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 6 y 10°C durante el año, el valor más alto se presenta en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 0 y 4°C, el valor más alto se registra en el mes de junio y el más bajo en enero. El mes más lluvioso es agosto con 200 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

San Andrés Calpan, Puebla (21167)

La temperatura máxima oscila entre los 20 y 25°C a lo largo del año, el valor más alto se presenta en el mes de abril y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 12 y 17°C durante el año, el valor más alto se registra en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 3 y 10°C, el valor más alto se presenta en el mes de junio

y el más bajo en enero. Los meses más lluviosos son junio, julio, agosto y septiembre con 160 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

San Juan Tetla Siete Norte, Puebla (21214)

La temperatura máxima oscila entre los 15 y 20°C a lo largo del año, el valor más alto se registra en el mes de mayo y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 7 y 14°C durante el año, el valor más alto se presenta en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 0 y 6°C, el valor más alto se registra en el mes de septiembre y el más bajo en enero. Los meses más lluviosos son julio y agosto con 160 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

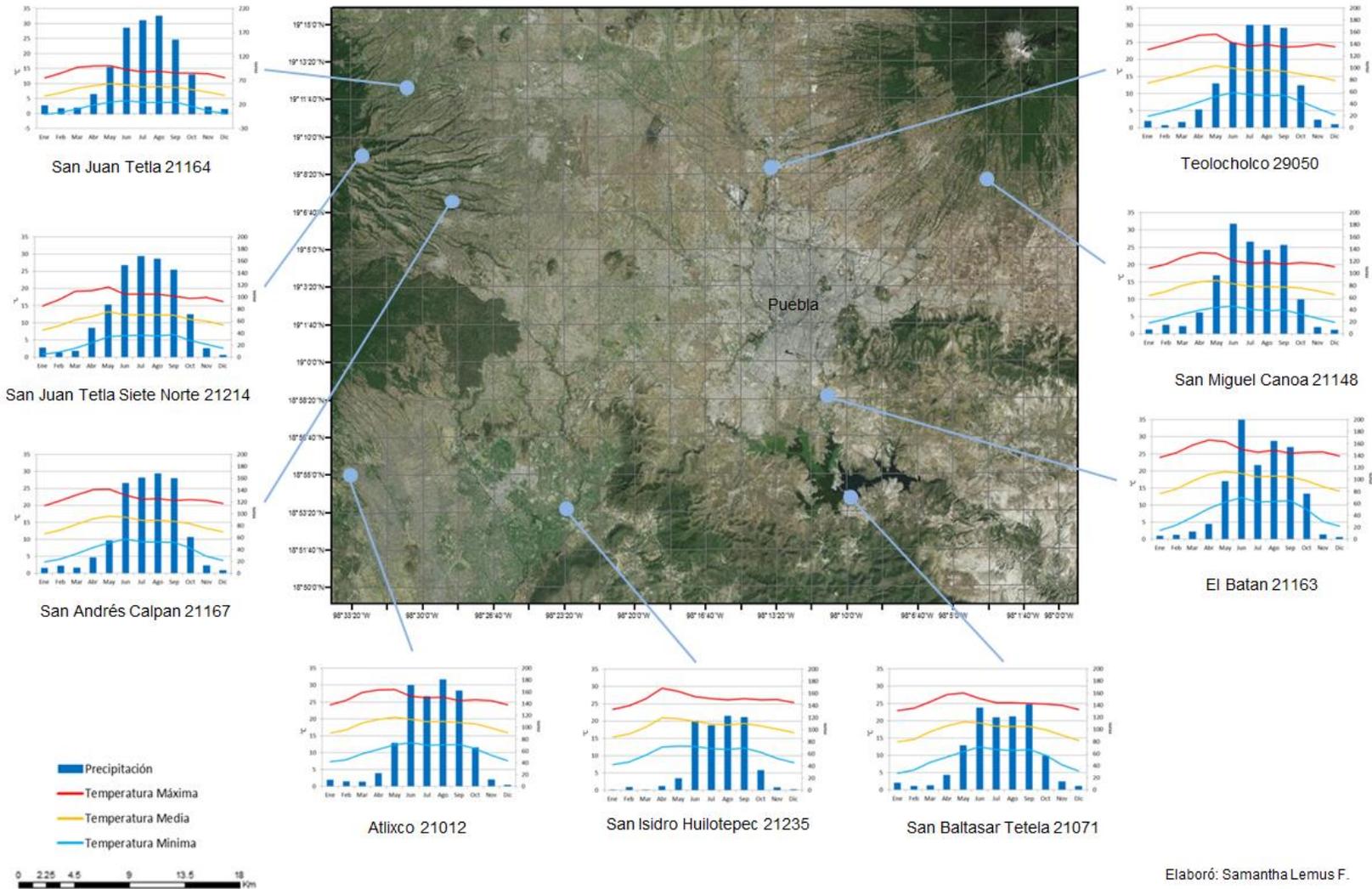
San Isidro Huilotepec, Puebla (21235)

La temperatura máxima oscila entre los 24 y 30°C a lo largo del año, el valor más alto se presenta en el mes de abril y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 15 y 21°C durante el año, el valor más alto se registra en el mes de abril mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 7 y 13°C, el valor más alto se presenta en el mes de junio y el más bajo en enero. La precipitación presenta canícula en el mes de julio con una disminución aproximada de 10 mm. Los meses más lluviosos son agosto y septiembre con 120 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

Teolochoico, Tlaxcala (29050)

La temperatura máxima oscila entre los 23 y 27°C a lo largo del año, el valor más alto se registra en el mes de mayo y el más bajo en enero. La temperatura media se encuentra entre los 14 y 19°C durante el año, el valor más alto se presenta en el mes de mayo mientras que el más bajo en enero. La temperatura mínima oscila entre los 4 y 10°C, el valor más alto se registra en el mes de junio y el más bajo en enero. Los meses más lluviosos son julio y agosto con 170 mm y el mes con menor precipitación es diciembre.

Climogramas Heróica Puebla de Zaragoza



Elaboró: Samantha Lemus F.

Figura 7. Estaciones de corto periodo de observación

Climogramas Heróica Puebla de Zaragoza

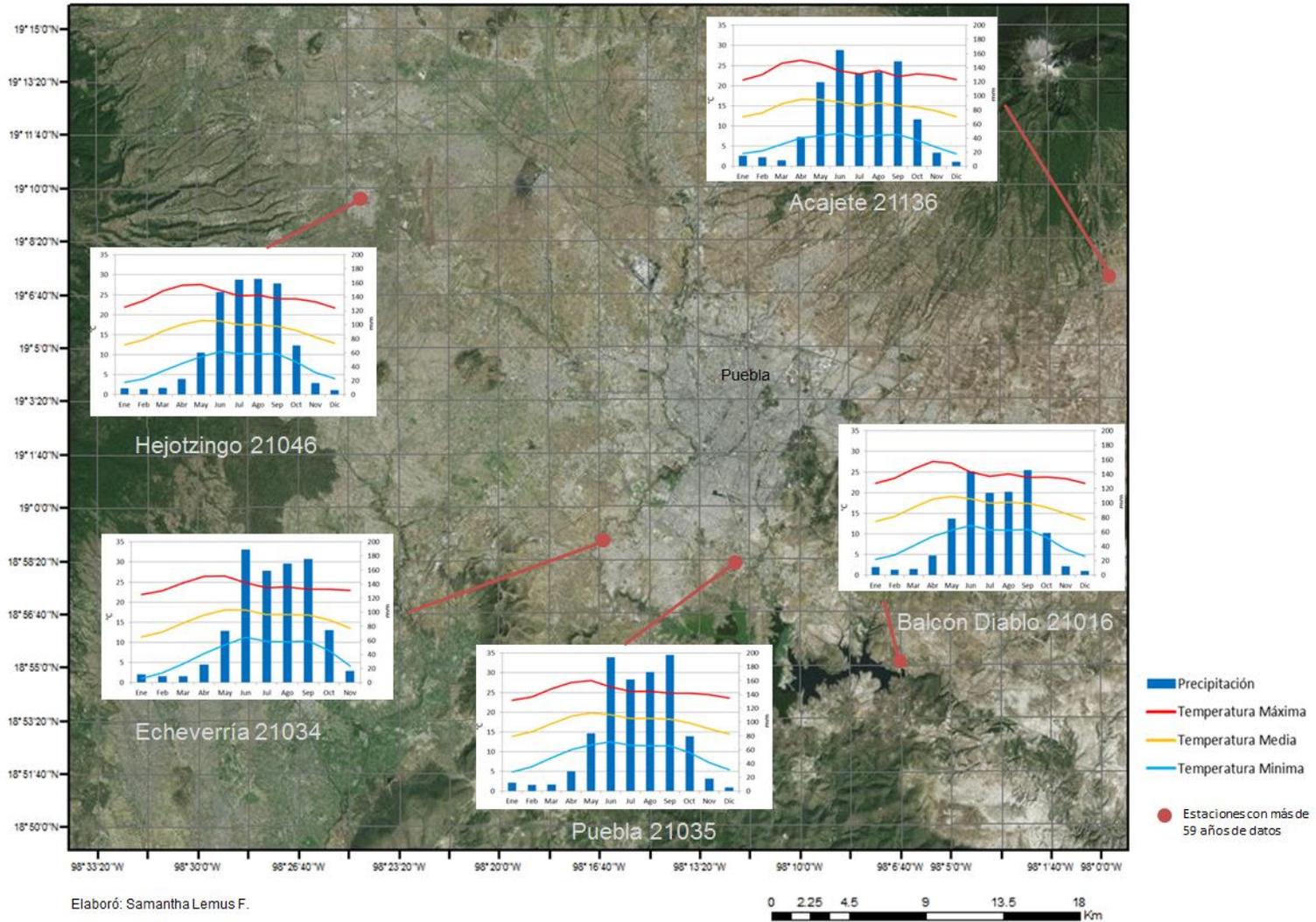


Figura 8. Estaciones de largo periodo de observación

El comportamiento de la precipitación indica que las estaciones Echeverría y Puebla alcanzan los 180 mm de precipitación, aproximadamente 40 mm más que las demás estaciones. Hay una canícula evidente en todas las estaciones excepto en Hejotzingo, en los meses de julio y agosto, la intensidad de esta canícula es de 20 mm aproximadamente. Las estaciones Chapulco, Puebla y Balcón Diablo son más cálidas respecto a las demás estaciones, la temperatura máxima oscila entre los 24 y 29°C, la temperatura media se encuentra entre los 15 y 20°C mientras que la temperatura mínima va de los 5 a los 13°C. Las estaciones más frías: Hejotzingo, Echeverría y Acajete presentan temperatura máxima entre 22 y 27°C, la temperatura media oscila entre los 11 y 18°C, la mínima se encuentra entre los 0 y 10 °C.

Gráficas de tendencia

Con los datos anuales de las estaciones de más de 59 años de operación (Hejotzingo, Puebla, Acajete, Echeverría y Balcón Diablo) se elaboraron gráficas de tendencia, número de días con tormenta, niebla, granizo, precipitación total y tendencia de temperatura para identificar los extremos anuales.

Balcón Diablo, Tzicatlacoyan (21016)

Para la estación 21016, se identificó el año 2006 con un mayor número de días con tormenta llegando casi a 50, la media aproximada de días con tormenta por año es entre 10 y 15 para ésta estación. El comportamiento de la precipitación en la estación Balcón Diablo, oscila entre los 60 y 80 mm por año. En 1958 se registró el valor más alto en ésta estación de 100 mm. Existe una tendencia de disminución de la precipitación en esta región para los últimos años. La media de días con niebla en la estación 21016 es de 5 a 10, sin embargo los datos indican que hay una tendencia de disminución de días con

niebla en los últimos años. La media de días con granizo en ésta región es de 1 a 4 días por año, sin embargo para los últimos años ha disminuido la frecuencia de este evento en la región. La temperatura máxima oscila los 25°C de 1943 al 2008, sin embargo existe una ligera disminución en las ultimas décadas de aproximadamente 1°C. La temperatura media se ha mantenido en 16°C aproximadamente al igual que la temperatura mínima en 8°C.

Echeverría, Puebla (21034)

Para la estación 21034 los días con tormenta han disminuido en los últimos años presentándose de 1 a 5 días por año en promedio. 1981 fue el año con mayor número de días con éste evento en la región, alcanzando los 44 días para ese año. El comportamiento de la precipitación total en esta zona no presenta muchas variaciones, va de los 60 a 80 mm anuales en promedio. Los últimos años no han sufrido una significativa variación respecto a la media. En el último periodo los días con niebla en la estación 21034 han sido menores a 5 días por año. Sin embargo los años 1953, 1983 y 1999 superaron los 18 días con éste evento. El promedio de días con granizo para esta estación es de 1 a 3 días por año, de 2010 a 2012 no se registró granizo en esta región. La temperatura máxima para la estación 21034 es aproximadamente de 24°C y no muestra una variación significativa de 1943 a la fecha, sin embargo la temperatura media aproximadamente de 15°C tiene una ligera tendencia al incremento en los últimos años de alrededor de 0.5°C. La temperatura mínima que oscila los 6°C también presenta un aumento de aproximadamente 1.5°C en el último periodo.

Puebla, Puebla (21035)

El promedio de días con tormenta para la estación 21035 es de 20 a 30 días por año, sin embargo en la última década se ha presentado una disminución de días con tormenta de 10 a 12 días por año. El comportamiento de la precipitación total en esta zona no presenta muchas variaciones, va de los 80 a 100 mm anuales en promedio. Los últimos años no han sufrido una variación

significativa respecto a la media. Para esta región los días con niebla son muy pocos o nulos, en los últimos años no se observa incremento o disminución del fenómeno. El promedio de días con granizo para la estación 21035 es de 1 a 4 días por año, en los últimos años hay una disminución del número de días a máximo 2 días de granizo por año. La temperatura máxima en esta región es de aproximadamente 25°C y existe una alza en la temperatura en los últimos años de aproximadamente 0.5°C, la temperatura media parece mantenerse igual. Sin embargo la temperatura mínima presenta un incremento de alrededor de 0.5°C en los últimos años.

Hejotzingo, Huejotzingo (21046)

Para la estación 21046, los días con tormenta al año han disminuido desde 1990 a últimas décadas, llegándose a presentar como máximo 5 eventos. El comportamiento de la precipitación total en esta zona no presenta muchas variaciones, la media es de 60 mm anuales en promedio. Los últimos años no han sufrido una variación significativa respecto a la media. Para esta región los días con niebla son muy pocos o nulos, en los últimos años no se observa incremento o disminución del fenómeno. La media para la estación 21046 alcanza los 2 días con granizo, este fenómeno no afecta notablemente a esta zona ya que la ocurrencia es poca. La temperatura máxima en esta región sufrió una alza en la temperatura en los últimos años de aproximadamente 2°C, la temperatura media también pareció aumentar 1°C. Sin embargo la temperatura mínima se mantuvo igual en los registros.

Acajete, Acajete (21136)

Para Acajete, los días con tormenta incrementaron en los últimos años, desde 2007 a la fecha. De la historia de los registros de dicha estación la media era de 2 a 3 días de tormenta por año, sin embargo los últimos años alcanzan los 7 días. La media de precipitación total para la estación 21136 es de 60 mm anuales, se puede decir que ese valor se ha mantenido desde los primeros registros hasta la

fecha. Sin embargo se identifica un evento extremo que supero los 250mm en el año1972. En los últimos años se ha incrementado el número de días con niebla en Acajete superando los 5 días y llegando hasta 18 de 2009 a la fecha. Para la estación 21136 no se presentó granizo desde 1964, sin embargo de 2007 a 2010 la ocurrencia del fenómeno incremento de 1 a 3 eventos por año. La tendencia de la temperatura máxima es hacia la disminución, de 1942 a la fecha la temperatura disminuyo de 2 a 3 grados, la temperatura media también disminuyo alrededor de 1.5°C al igual que la temperatura mínima con una reducción de 2°C.

Tendencia de número de días con Tormentas Heróica Puebla de Zaragoza

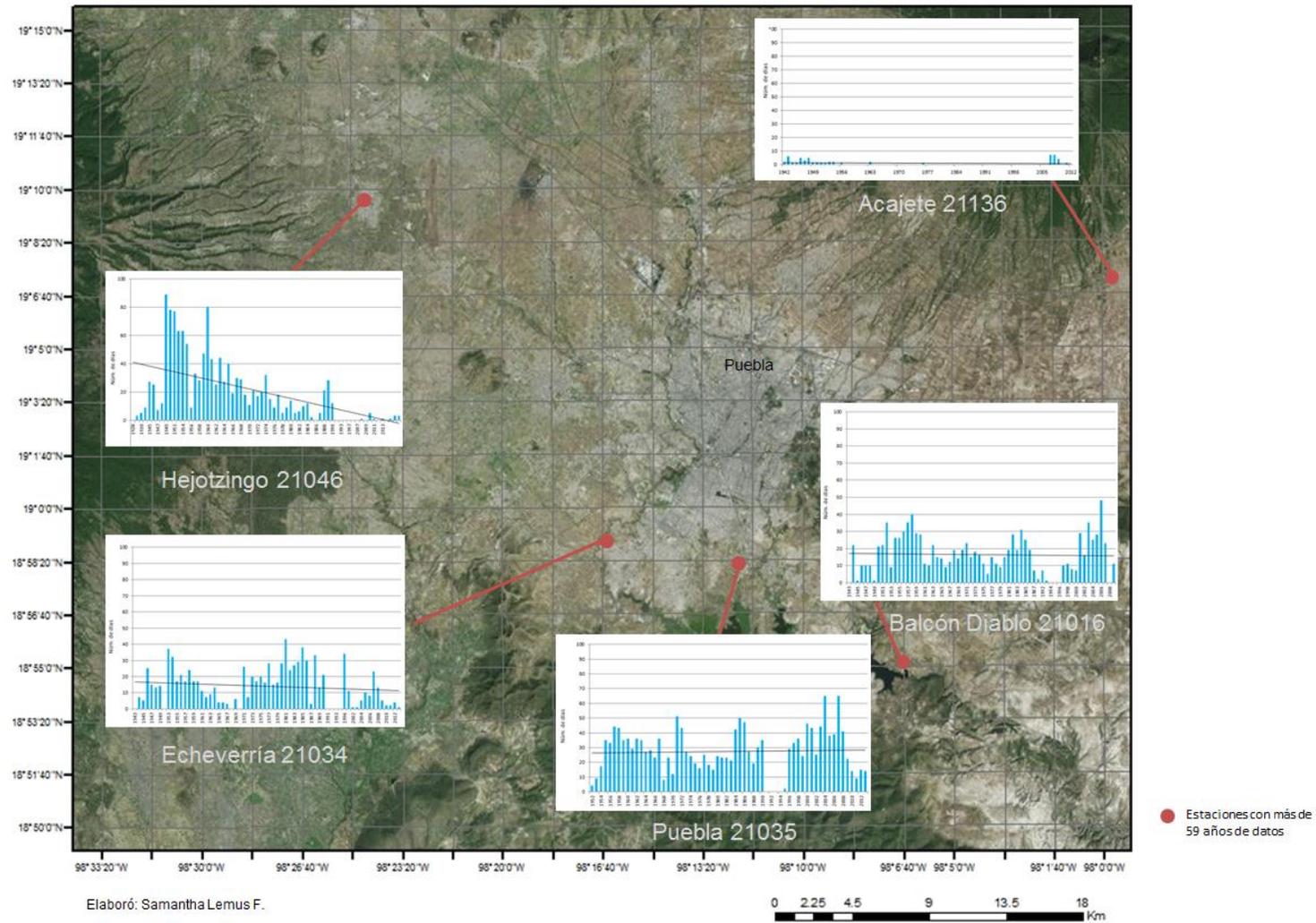


Figura 9. Tendencia de días con tormenta

Tendencia de Precipitación Heróica Puebla de Zaragoza

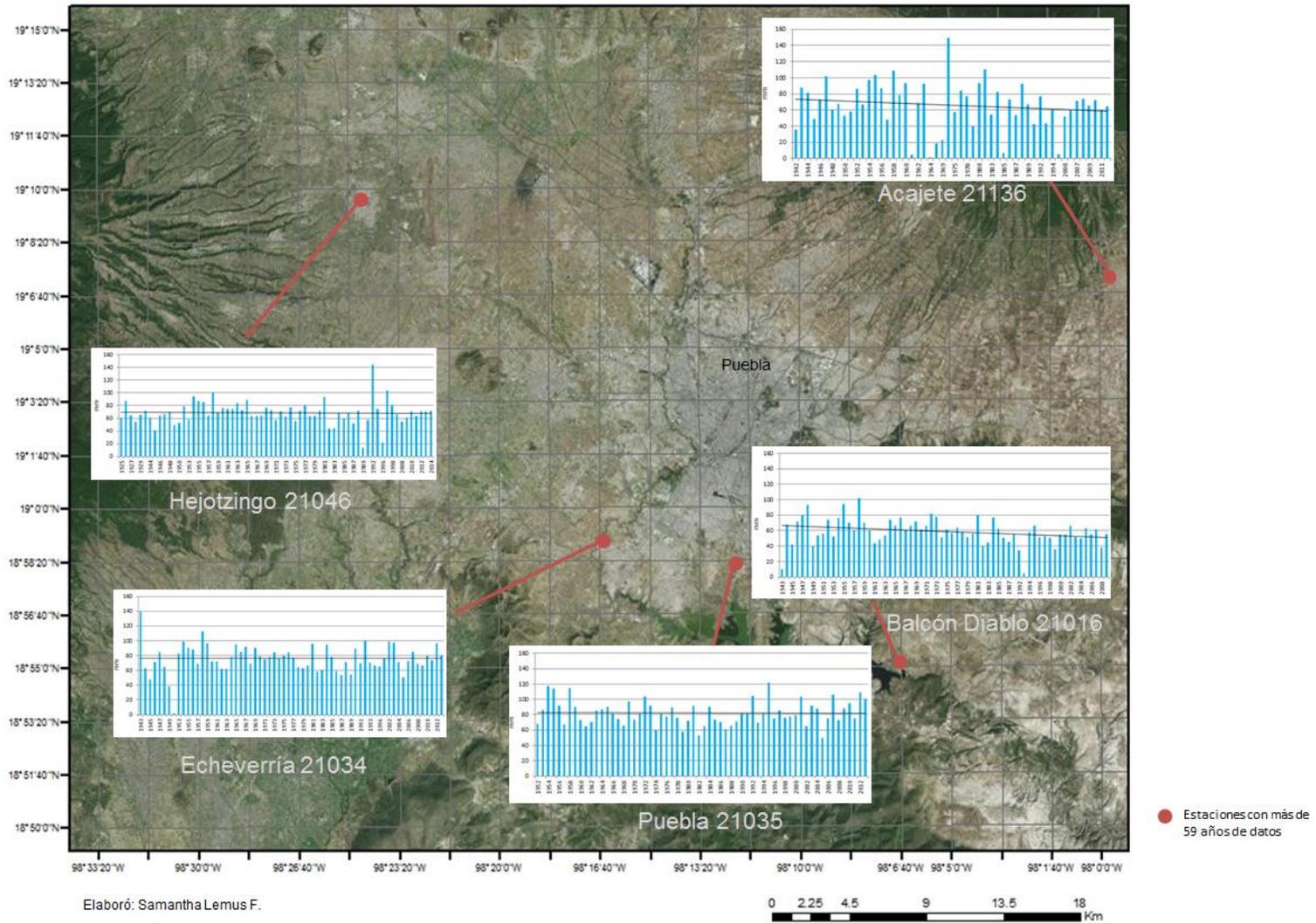


Figura 10. Tendencia de precipitación

Tendencia de número de días con Niebla Heróica Puebla de Zaragoza

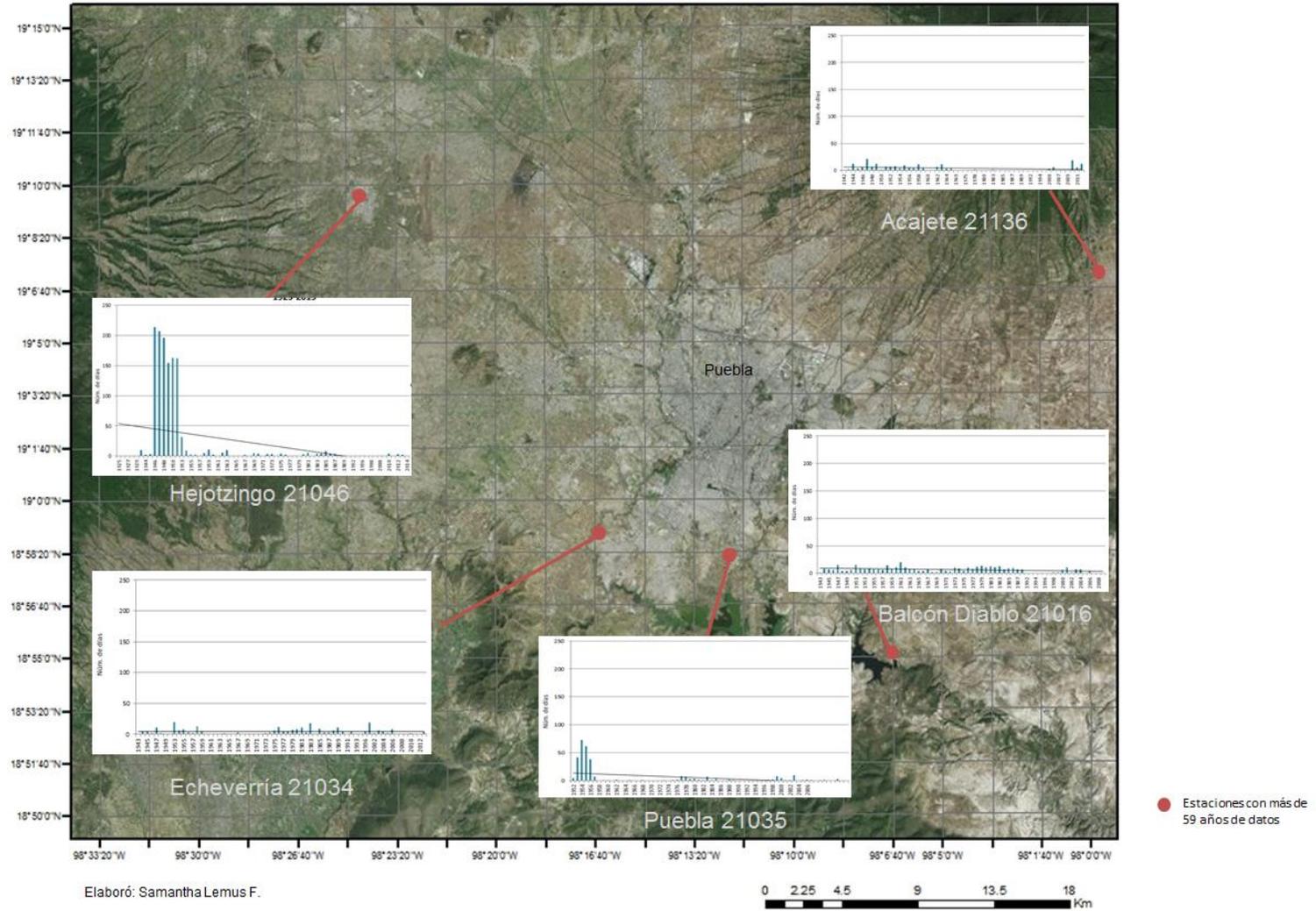


Figura 11. Tendencia de días con niebla

Tendencia de número de días con Granizo Heróica Puebla de Zaragoza

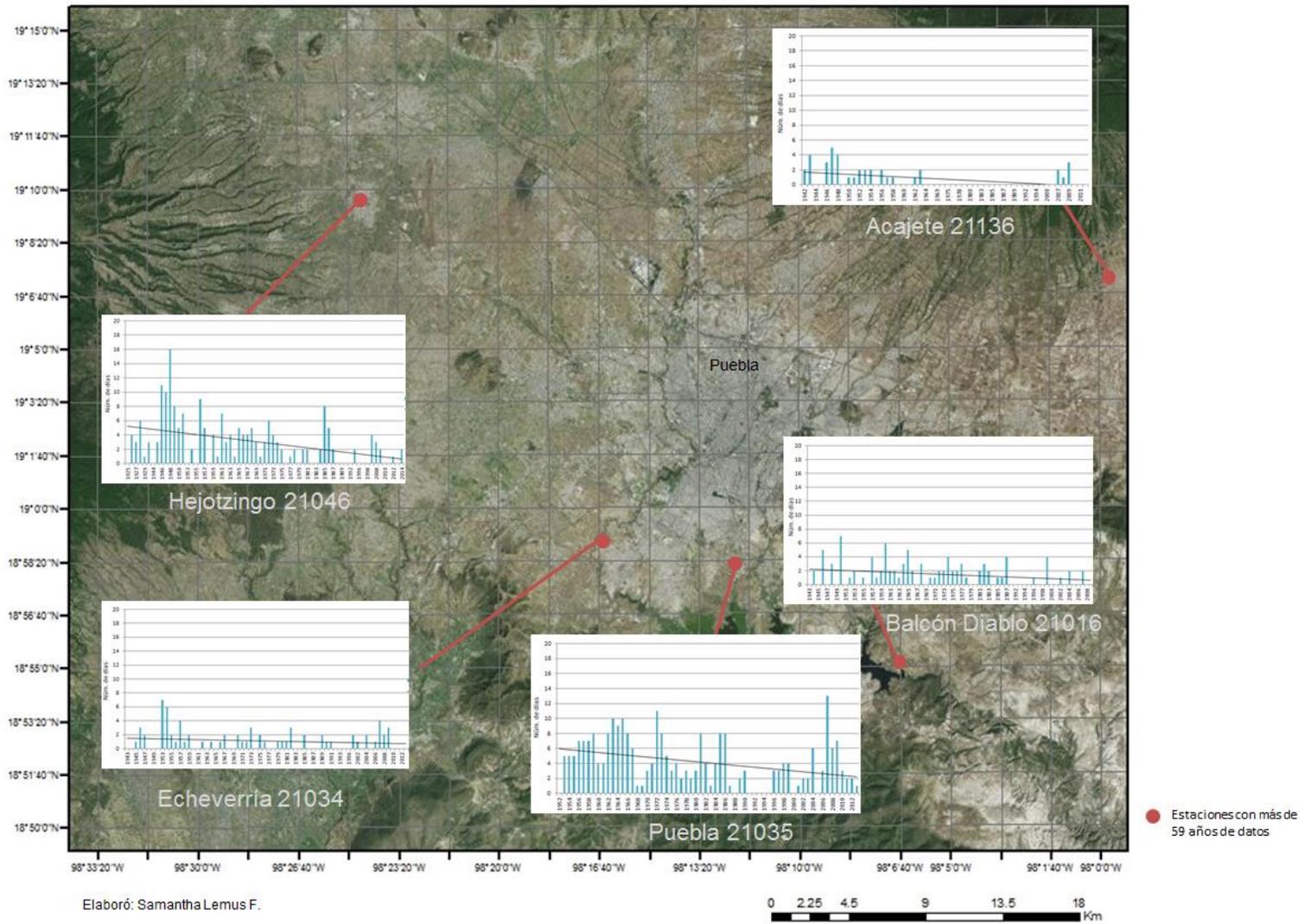


Figura 12. Tendencia de días con granizo

Tendencia de Temperatura Heróica Puebla de Zaragoza

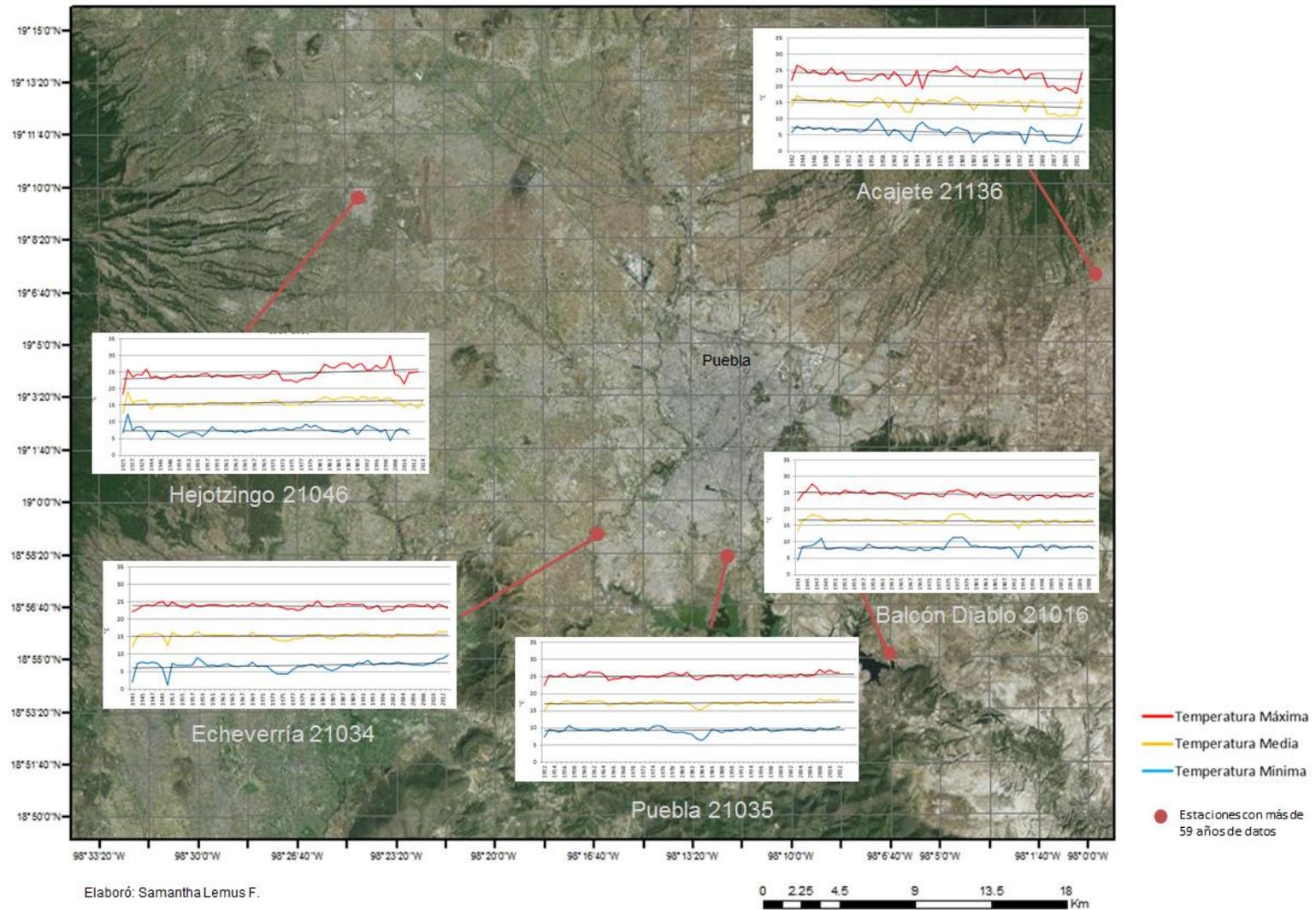


Figura 13. Tendencia de temperatura

Para la estación de Puebla, el número de días con tormenta parece aumentar alrededor de 5 días por año, las estaciones Balcón Diablo y Acajete mantienen sus valores de 17 y 1 día con tormenta respectivamente. Las estaciones Hejotzingo y Echeverría presentan disminución en sus registros de días con tormenta, aproximadamente 8 días menos por año.

La tendencia de la precipitación en las estaciones Echeverría, Hejotzingo y Puebla se mantienen y no se presentan cambios, las estaciones Balcón Diablo y Acajete presentan disminución en la precipitación de aproximadamente 10 mm. Las estaciones Balcón Diablo, Echeverría y Acajete se mantienen con los mismos valores de días con niebla los cuales son menos de 10 días por año. Para las estaciones Hejotzingo y Puebla hay una disminución del número de días al año de aproximadamente 8 días por año. Para cuatro de las cinco estaciones la tendencia del número de días con granizo disminuye alrededor de 5 días por año. Las estaciones Puebla, Hejotzingo presentan un ligero aumento en la tendencia de temperatura de 1 a 3°C, mientras que las estaciones Echeverría y Balcón Diablo se mantienen con sus valores de temperatura. La estación Acajete registra una disminución de sus temperatura de aproximadamente 2°C.

Distribución de la dirección del viento

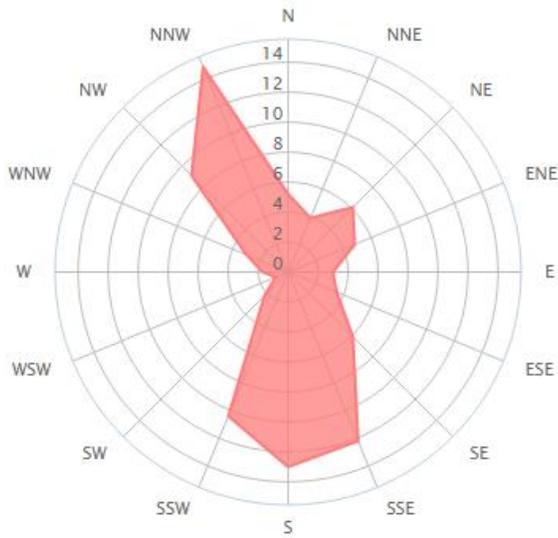
Con los datos meteorológicos históricos se obtuvo la estadística del viento para la Ciudad de Puebla, en la que los vientos dominantes proceden del noroeste por la mañana, mientras que por las tardes cambia a sursuroeste. Estos vientos se ven influidos por la presencia de los volcanes que rodean el Valle de Puebla (Iztaccíhuatl, Popocatepetl y La Malinche). La velocidad media anual es de 11.5 Km/h y la dirección dominante es el norte.

Los siguientes diagramas ejemplifican la distribución del viento, indicando el porcentaje de viento dominante, dirección dominante y velocidad media del viento. Se muestra un diagrama para cada mes de medición en campo (enero, abril y agosto) y un diagrama anual. La estadística está basada en datos de viento de 2011 a 2014.

El porcentaje de viento dominante en el mes de enero es: 14.8% nornoroeste, 12.2% sursureste y 10.4% sursuroeste. La velocidad media del viento es 13.5 Km/h y la dirección del viento dominante es sursureste. Para el mes de abril el porcentaje de viento dominante es: 16.1% sur, 12.2% sursureste y 7.4% noroeste. La velocidad media del viento es 13.7 Km/h y la dirección del viento dominante es norte. En el mes de agosto el porcentaje de viento dominante es 14.6% nornoroeste, 9.9% sursureste y 9% sureste. La velocidad media del viento es 10 Km/h y su dirección es sursureste. Anualmente, el porcentaje de viento dominante es: 13.4% sur, 12.2% nornoroeste y 11.7% sursureste. La velocidad media del viento es 11.1 Km/h y la dirección dominante es norte.

Distribución de la dirección del viento en %

Figura 14 Enero

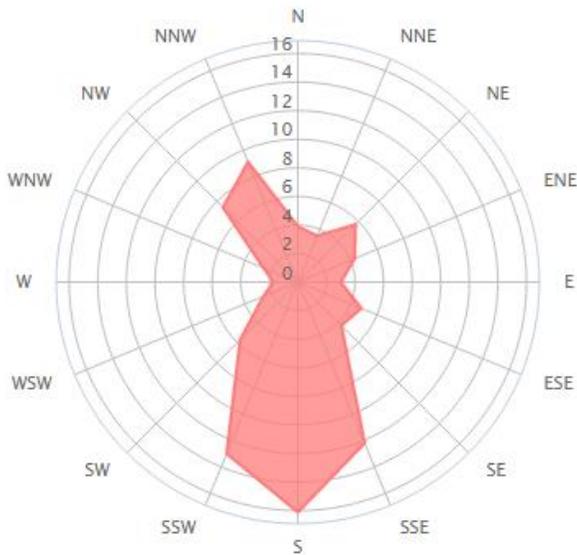


Vel. Media del viento 13.5 Km/h

Viento dominante (%)

| | |
|-----|------|
| N | 5.2 |
| NNE | 3.9 |
| NE | 6.1 |
| ENE | 4.8 |
| E | 3 |
| ESE | 3.5 |
| SE | 6.1 |
| SSE | 12.2 |
| S | 13 |
| SSW | 10.4 |
| SW | 2.2 |
| WAW | 0.9 |
| W | 1.7 |
| WNW | 3 |
| NW | 9.1 |
| NNW | 14.8 |

Figura 15 Abril

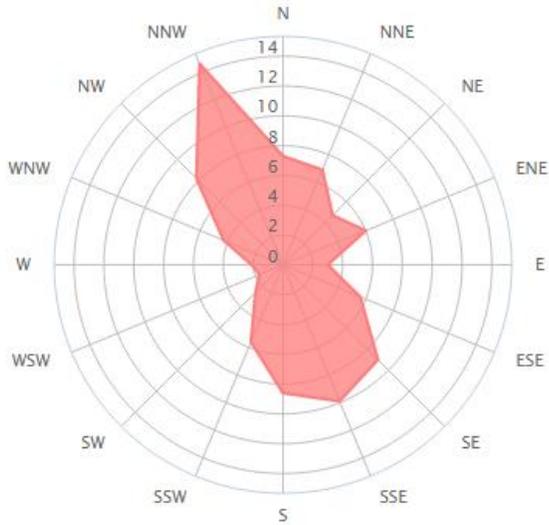


Vel. Media del viento 13.7 km/h

Viento dominante (%)

| | |
|-----|------|
| N | 3.9 |
| NNE | 3.5 |
| NE | 5.7 |
| ENE | 4.3 |
| E | 3 |
| ESE | 4.8 |
| SE | 4.3 |
| SSE | 12.2 |
| S | 16.1 |
| SSW | 13 |
| SW | 5.7 |
| WAW | 2.6 |
| W | 1.7 |
| WNW | 2.6 |
| NW | 7.4 |
| NNW | 9.1 |

Figura 16 Agosto

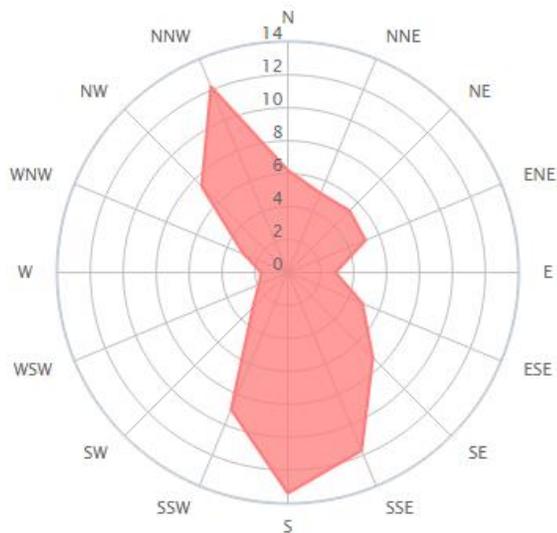


Vel. Media del viento 10 km/h

Viento dominante (%)

| | |
|-----|------|
| N | 7.3 |
| NNE | 6.9 |
| NE | 4.7 |
| ENE | 6 |
| E | 3 |
| ESE | 5.6 |
| SE | 9 |
| SSE | 9.9 |
| S | 8.6 |
| SSW | 5.6 |
| SW | 2.6 |
| WAW | 1.7 |
| W | 2.1 |
| WNW | 4.3 |
| NW | 8.2 |
| NNW | 14.6 |

Figura 17 Anual



Vel. Media del viento 11.1 km/h

Viento dominante (%)

| | |
|-----|------|
| N | 6.2 |
| NNE | 5.2 |
| NE | 5.3 |
| ENE | 5.1 |
| E | 2.9 |
| ESE | 4.9 |
| SE | 7.3 |
| SSE | 11.7 |
| S | 13.4 |
| SSW | 9 |
| SW | 3 |
| WAW | 1.9 |
| W | 1.6 |
| WNW | 2.9 |
| NW | 7.4 |
| NNW | 12.2 |

Ondas de calor

La Organización Meteorológica Mundial define una onda de calor como un estado en el que la temperatura máxima supera la temperatura máxima promedio en un transcurso de 5 días consecutivos.

Para la ciudad de Puebla se analizaron los datos de las estaciones Puebla (21035) y Echeverría (21034), para la primera estación el año con mayor número de días con temperaturas mayores a 30°C fue 2009 y la tendencia es hacia el incremento de ondas de calor para los siguientes años. Para la estación Echeverría el año con mayor número de días con temperaturas superiores a 30°C fue 2003, sin embargo en esta zona el número de días con temperaturas mayores a 30°C tiende a disminuir. Para ambas estaciones, los meses con mayor número de días con temperaturas mayores a 30°C son de marzo a junio, siendo mayo el mes con mayor número de días cálidos. Los gráficos de número de días con temperaturas mayores a 30°C tienen una línea media móvil cada 5 años.

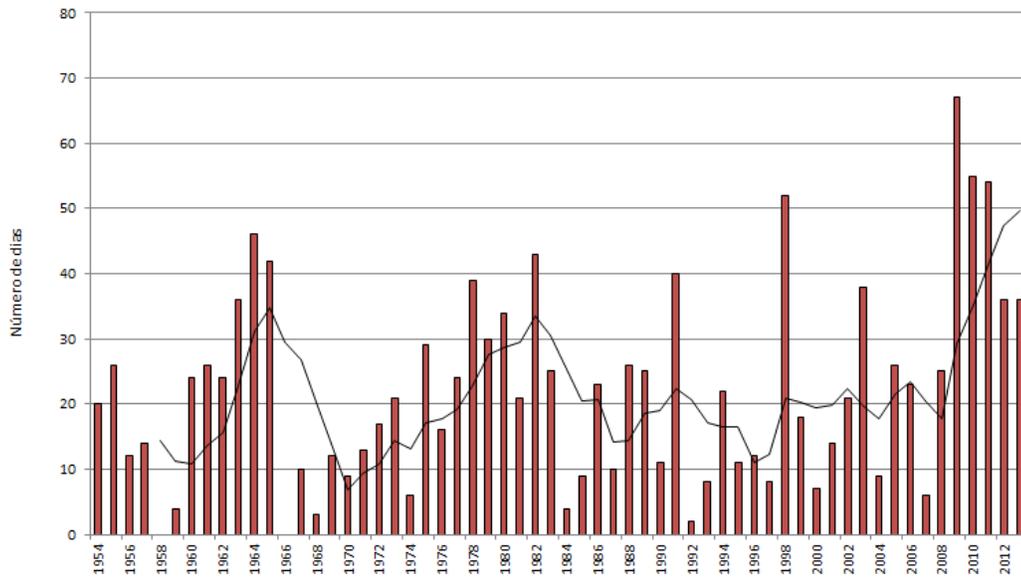


Figura 18. Número de días con temperaturas mayores a 30°C (21035)

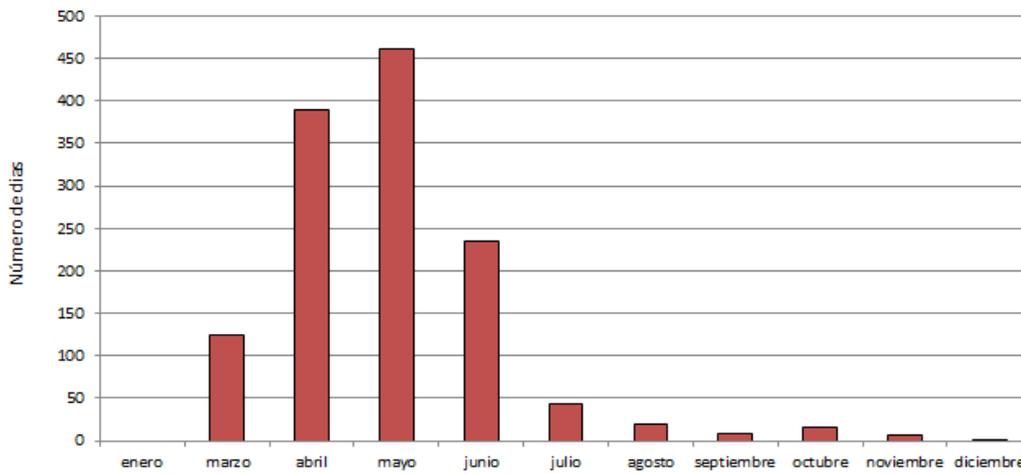


Figura 19. Meses con el número de días con temperaturas mayores a 30°C (21035)

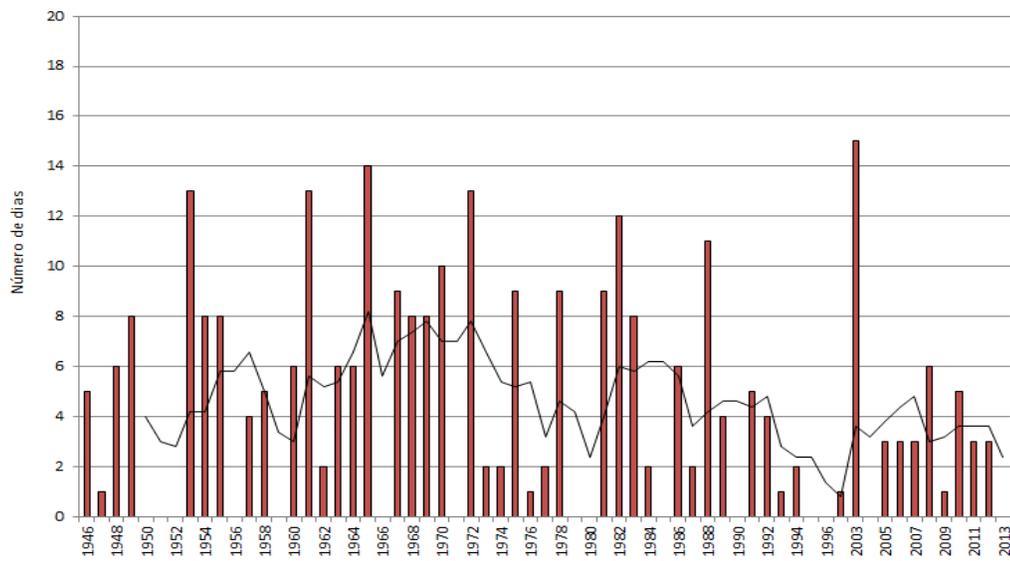


Figura 20. Número de días con temperaturas mayores a 30°C (21034)

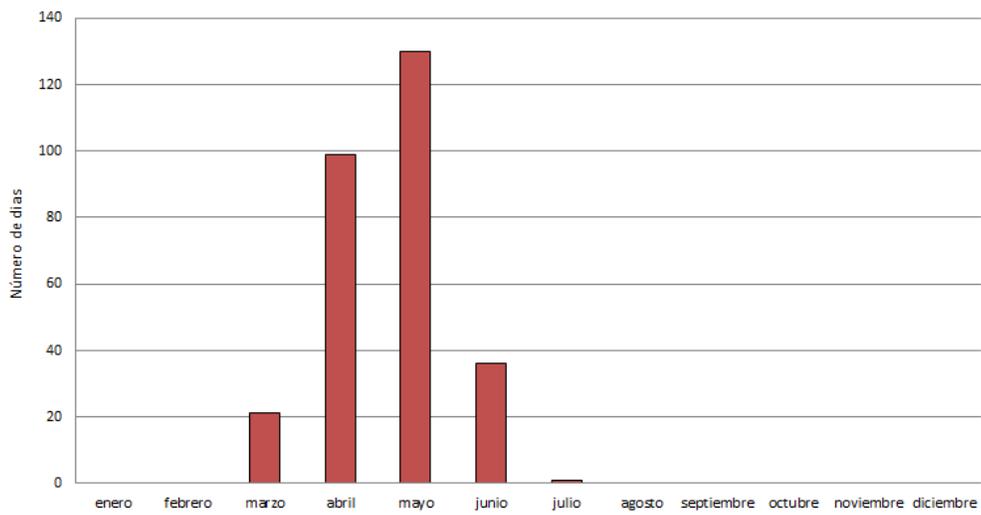


Figura 21. Meses con el número de días con temperaturas mayores a 30°C (21034)

3.2 Campañas de medición

Instrumental

Para las campañas de medición, los instrumentos utilizados fueron los siguientes:

- 2 Estaciones meteorológicas portátiles (Kestrel 4000 Weather Meter)
- 2 GPS
- 2 Automóviles
- Computadora portátil
- Carta topográfica de la zona de estudio
- Software de almacenamiento de datos (Kestrel Communicator)
- Sistema de información geográfica (ArcGis 10.1)

Kestrel 4000 Wheater Meter

El instrumento es capaz de almacenar hasta 2000 puntos de datos meteorológicos, permitiendo tener un seguimiento de los cambios en la atmosfera a través del tiempo. Permite también funciones gráficas y tecnología de interfaz con la computadora. El aparato mide la presión barométrica, tendencia de la presión, altitud, humedad relativa, punto de rocío, temperatura de bulbo húmedo y velocidad del viento. Funciona con 2 baterías AAA.



Método de transectos

Para identificar el fenómeno se realizó una investigación de campo, con la ayuda del método de transectos. Éste método, iniciado en 1927 por Schmidt en Viena y también por Pepler en Karlsruhe, surge con la necesidad de obtener datos, principalmente de temperatura, de diversos puntos de una ciudad y consiste en hacer recorridos con vehículos y estaciones meteorológicas portátiles a lo largo y ancho de la ciudad para obtener valores de sitios tanto del centro como de la periferia de la ciudad.

Primero, se hizo investigación de gabinete identificando con imágenes satelitales actualizadas las posibles rutas o transectos para hacer las mediciones. Los criterios para la elección de transectos fueron principalmente, que fueran avenidas rápidas con el fin de perder el menor tiempo posible, el sentido de circulación debía ser el mismo durante todo el recorrido, los transectos debían cruzar la ciudad verticalmente u horizontalmente y tener facilidad para estacionarse en algunos puntos de los transectos para la toma de datos. Después del análisis de imágenes satelitales con los criterios mencionados, se diseñaron cuatro transectos, dos que cruzan de oeste a este y dos que cruzan de norte a sur. Posteriormente se realizó una práctica pre exploratoria para verificar que los recorridos cumplieran con los criterios, esta práctica ayudó a mejorar los transectos debido a que algunos tuvieron que ser modificados por la realización de obras públicas en avenidas y por la presencia de carriles exclusivos para transporte público.

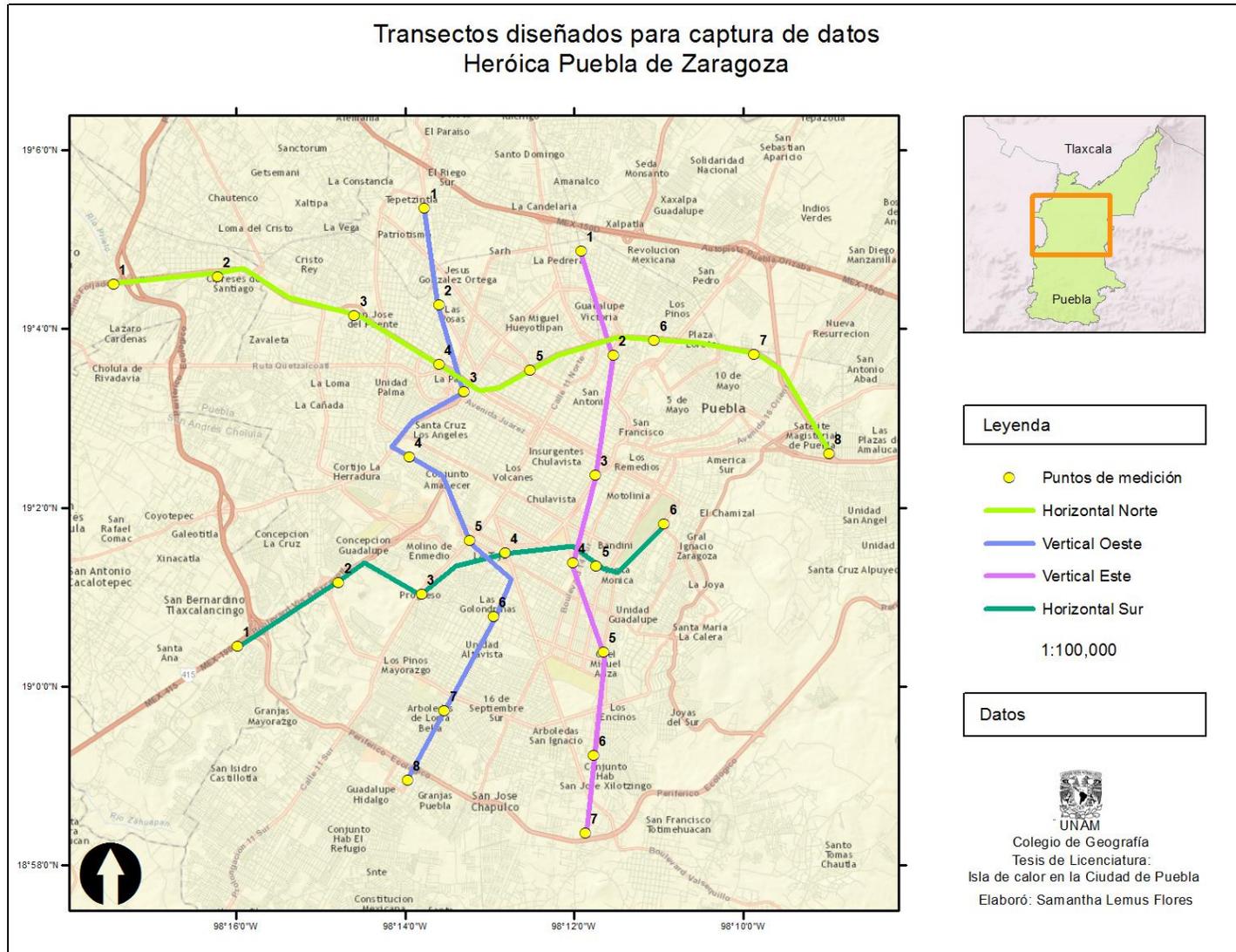


Figura 22. Transectos diseñados para captura de datos

Tabla 2. Lista de transectos y características

| <i>Transectos</i> | <i>Dirección</i> | <i>Número de puntos</i> | <i>Distancia (Km)</i> | <i>Tiempo promedio del recorrido*</i> |
|-------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Vertical este | norte-sur | 7 | 12 | 40 min. |
| Vertical oeste | norte-sur | 8 | 14 | 50 min. |
| Horizontal norte | oeste-este | 8 | 14 | 55 min. |
| Horizontal sur | oeste-este | 6 | 10 | 30 min. |

Los transectos verticales van de norte a sur, uno de ellos es el vertical oeste (VO) el cual tiene 8 puntos de medición situados cada 2 km y mide aproximadamente 14 Km que se recorren en 40 minutos. El transecto vertical este (VE) tiene 7 puntos de medición situados cada 2 Km, mide aproximadamente 12 Km y se recorre en 30 minutos. Los transectos horizontales van de oeste a este, el horizontal norte (HN) tiene 8 puntos situados cada 2 Km y mide aproximadamente 14 Km y se recorre en 40 minutos. El transecto horizontal sur (HS) tiene 6 puntos de medición situados cada 2 Km y mide aproximadamente 10 Km que se recorren en 35 minutos.

La distancia entre los puntos de medición es de 2 km, con el fin de abarcar distancia sin perder los cambios de temperatura y ahorrar tiempo debido a que el criterio máximo de flexibilidad por recorrido en estudios previos es de 1 hora. El tiempo en recorrer los transectos varía dependiendo la hora en la que se haga la medición, el recorrido de la mañana es el más rápido de transitar debido a que las calles y avenidas están libres de autos, a diferencia de los recorridos por la tarde y noche en los cuales nos enfrentamos con las horas de mayor tránsito vehicular, lo cual retarda las mediciones.

Tabla 3. Puntos del transecto vertical este

| Puntos | Coordenadas | Referencias | Características de uso de suelo | Apariencia |
|--------|---------------------|---|--|---|
| 1 | 19.081, -98.19861 | Héroe de Nacozari 7245, Heroica Puebla de Zaragoza | Zona con poca infraestructura y alto tránsito de camiones de carga. |  |
| 2 | 19.0616, -98.192 | Boulevard Héroes del 5 de Mayo 4009, Heroica Puebla de Zaragoza | Zona habitacional y poco tránsito vehicular. |  |
| 3 | 19.0394, -98.19583 | Boulevard Héroes del 5 de Mayo 708, Puebla | Avenida grande, con muchos autos estacionados y transporte público haciendo paradas continuas. |  |
| 4 | 19.02305, -98.20027 | Mártires del 2 de Octubre 1001, Heroica Puebla de Zaragoza | Edificios con mayor altura y zona de comercio. |  |
| 5 | 19.00638, -98.19416 | Av. Río Papagayo 5943, Puebla | Zona habitacional y tránsito fluido. |  |
| 6 | 18.9872, -98.1961 | J. María Lafragua 8347, Puebla | Zonas habitacionales y de comercio, tránsito fluido. |  |

| | | | | |
|---|------------------|---|---|---|
| 7 | 18.9727, -98.197 | J. María Lafragua, San Francisco Totimehuacan | Zona de fábricas y terrenos baldíos. |  |
|---|------------------|---|---|---|

Tabla 4. Puntos del transecto vertical oeste

| <i>Puntos</i> | <i>Coordenadas</i> | <i>Referencias</i> | <i>Características de uso de suelo</i> | <i>Apariencia</i> |
|---------------|--------------------|---|---|---|
| 1 | 19.08916, -98.2294 | Boulevard Hermanos Serdán 791, Puebla | Buena infraestructura, vía rápida y poco tránsito vehicular. |  |
| 2 | 19.071, -98.226 | Boulevard Hermanos Serdán 269, Puebla | Zona de comercio y servicios, avenida rápida. |  |
| 3 | 19.055, -98.2216 | Boulevard Norte, Puebla | Edificios con mayor altura, zona de comercio. |  |
| 4 | 19.0427, -98.2325 | Circuito Juan Pablo II 3319, Puebla | Zona de comercio con alto tránsito vehicular. |  |

| | | | | |
|---|---------------------|---|--|--|
| 5 | 19.0272, -98.2205 | Circuito Juan Pablo II 1135-1143, Reforma Agua Azul | Zona habitacional con alto tránsito vehicular. |  |
| 6 | 19.01305, -98.21583 | 16 de Septiembre 5987, Heroica Puebla de Zaragoza | Zona de comercio y fábricas, alto tránsito vehicular. |  |
| 7 | 18.995, -98.225 | 16 de Septiembre, Puebla | Continuo flujo de vehículos de transporte público, comercio. |  |
| 8 | 18.9825, -98.2327 | Prolongación 16 de Septiembre, Granjas Puebla | Vía rápida, poca vegetación y terrenos baldíos. |  |

Tabla 5. Puntos del transecto horizontal norte

| Puntos | Coordenadas | Referencias | Características de uso de suelo | Apariencia |
|--------|---------------------|---|--|---|
| 1 | 19.075, -98.29083 | Boulevard Forjadores de Puebla 1006, Tlatempa | Poco tránsito vehicular y poca urbanización. |  |
| 2 | 19.07638, -98.27027 | Boulevard Forjadores de Puebla 404, Santiago Momoxpan | Áreas verdes y zonas de comercio. |  |

| | | | | |
|---|-------------------|---|--|---|
| 3 | 19.06916, -98.243 | Boulevard Forjadores de Puebla, Bello Horizonte | Áreas verdes, tránsito vehicular moderado. |  |
| 4 | 19.06, -98.226 | Reforma 3909, Puebla | Continuo flujo de transporte público. |  |
| 5 | 19.058, -98.20861 | Diagonal Defensores de la Republica 227, Heróica Puebla de Zaragoza | Zona de comercio, alto tránsito vehicular. |  |
| 6 | 19.064, -98.18416 | Diagonal Defensores de la Republica 758, Adolfo López Mateos | Poco tránsito vehicular. |  |
| 7 | 19.06194, -98.164 | Diagonal Defensores de la Republica 1120, Remetería | Vía rápida con poco tránsito vehicular. |  |
| 8 | 19.043, -98.14972 | Agustín Arrieta 5636, Heroica Puebla de Zaragoza | Zona habitacional y de comercio. |  |

Tabla 6. Puntos del transecto horizontal sur

| <i>Puntos</i> | <i>Coordenadas</i> | <i>Referencias</i> | <i>Características de uso de suelo</i> | <i>Apariencia</i> |
|---------------|---------------------|---|--|---|
| 1 | 19.0075 , -98.26638 | Vía Atlixcáyotl 5413, Tlaxcalancingo | Edificios con mayor altura, avenida grande con alto tránsito vehicular. |  |
| 2 | 19.0194, -98.24638 | Vía Atlixcáyotl 2210, Heroica Puebla de Zaragoza | Edificios con mayor altura, presencia de áreas verdes. |  |
| 3 | 19.0172, -98.23 | Avenida las Margaritas, Puebla | Presencia de áreas verdes. |  |
| 4 | 19.025 , -98.21361 | Boulevard Capitán Carlos Camacho Espíritu, Heroica Puebla de Zaragoza | Avenida con alto tránsito vehicular. |  |
| 5 | 19.0225 , -98.195 | Calle 39 Oriente 1803, Heroica Puebla de Zaragoza | Zona habitacional y algunos comercios. |  |
| 6 | 19.03027, -98.182 | Calle 13 Oriente 3008, Heroica Puebla de Zaragoza | Zona habitacional, constante tránsito de camiones de carga y transporte público. |  |

Los recorridos se realizaron para primavera y verano de 2015, así como para invierno de 2016 para identificar la variación térmica anual de la isla de calor. Se hicieron tres recorridos durante cada día de medición, para identificar la marcha diaria de temperatura, que fue en primavera: 25 de abril de 2015, para verano: 8 de agosto de 2015 e invierno: 14 enero de 2016. Esos días fueron seleccionados ya que según el pronóstico del tiempo, eran días típicos de su estación, procurando no presentar nublados, precipitaciones o cualquier otro sistema atmosférico que pudiera alterar las mediciones. Dichos recorridos se realizaron de la siguiente manera: el transecto de la mañana se tomó entre las 6 am y 7 am con el fin de obtener la temperatura mínima, el transecto de la tarde se realizó entre las 2 pm y 3 pm para obtener la temperatura máxima, el último recorrido de la noche se hizo entre las 8 pm y 9 pm. Estos horarios se definieron de acuerdo a los datos horarios de estaciones meteorológicas de la ciudad revisadas previamente, que nos indicaron las horas ideales para obtener la máxima y mínima temperatura. Los recorridos fueron de forma sincrónica, es decir, se utilizaron 2 automóviles y 2 estaciones.

El automóvil A, realizó los transectos vertical oeste y horizontal norte, al mismo tiempo el automóvil B hizo los recorridos vertical este y horizontal sur. Previamente se calibraron las dos estaciones y se pusieron a prueba para comprobar que arrojaran el mismo resultado. El automóvil (A) inició su recorrido en el punto 1 del transecto vertical oeste, al finalizar el muestreo de los 8 puntos, tomó el periférico ecológico y recorrió 13 kilómetros, lo cual le llevó alrededor de 30 minutos para llegar al punto 1 del transecto horizontal norte y obtener los datos de los 8 puntos de dicho transecto. El automóvil (B) comenzó en el punto 1 del transecto vertical oeste, registró los datos de los 7 puntos y tomó el periférico ecológico 9 kilómetros los cuales se recorrieron en 20 minutos aproximadamente, hasta el primer punto del transecto horizontal sur para registrar los 6 datos del transecto. Cada toma de datos lleva de 2 a 3 minutos, esto debido a que es el tiempo que tarda la estación en estabilizarse y dar la

medición más precisa. El muestreo se inicia identificando en qué dirección se dirige el viento para poder colocar el dispositivo en esa dirección y así activar el sensor de viento, en el momento en el que se estabilizan tanto la humedad, temperatura y velocidad del viento se guarda el dato obtenido y se prosigue con el siguiente punto a medir.

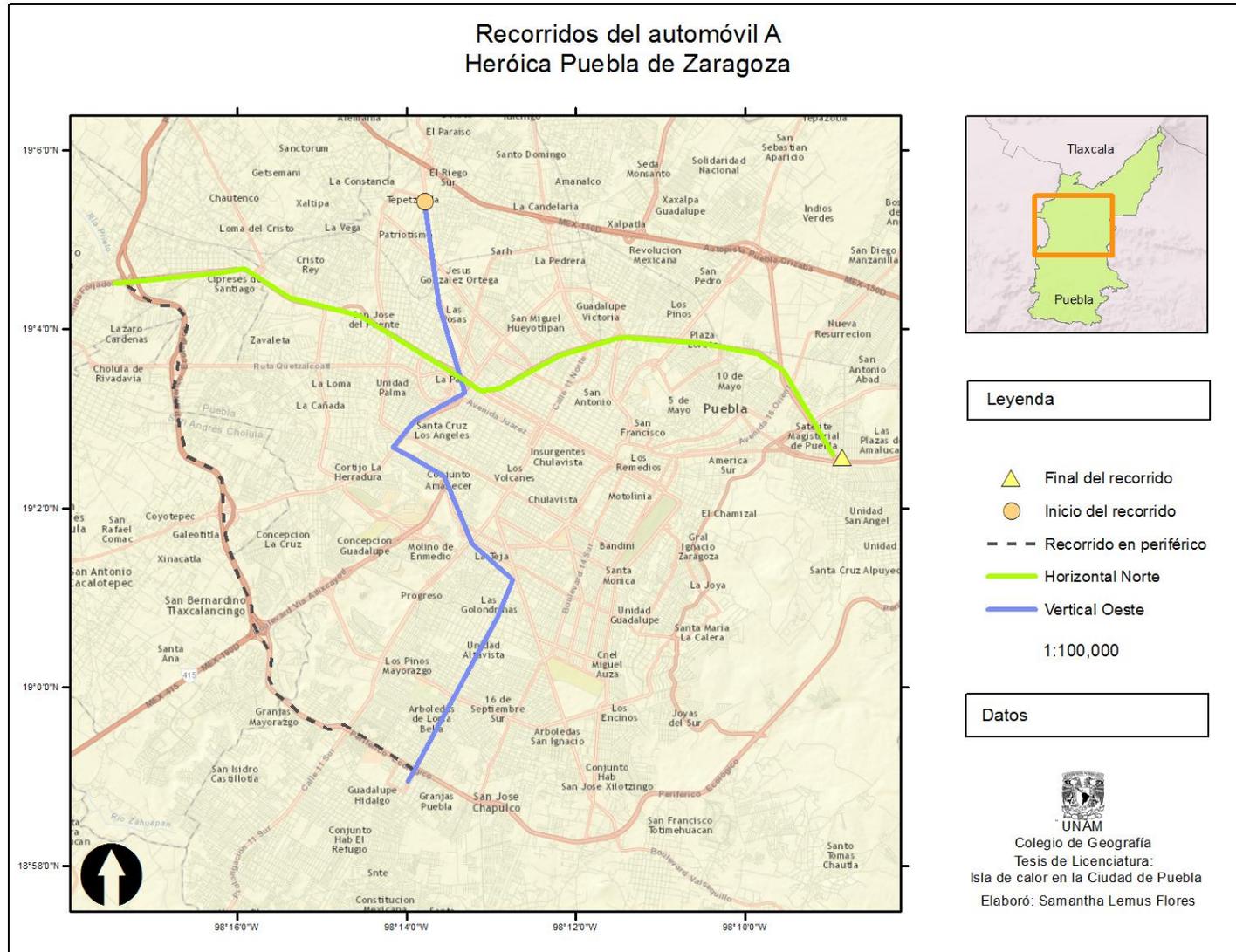


Figura 23. Recorridos del automóvil A

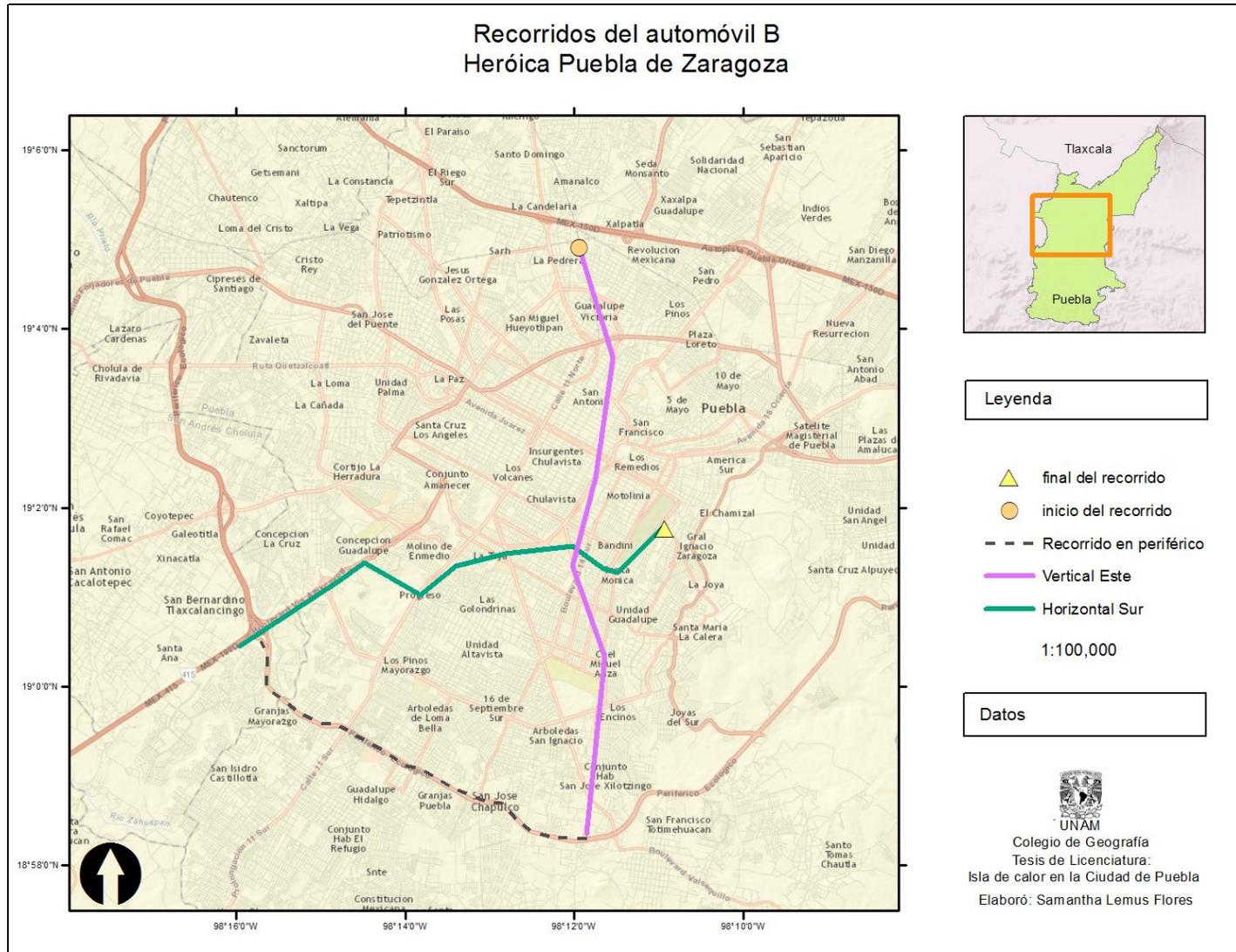


Figura 24. Recorridos del automóvil B

4 Resultados

4.1 Variación diurna en primavera (25 de abril de 2015)

Por la mañana, la temperatura mínima registrada fue de 16.1°C en la zona de Campestre del Valle y la máxima alcanzó los 25°C en Ignacio Zaragoza. La parte oeste y sur de la ciudad registró temperaturas de entre 16 y 20°C, las regiones más frías dentro de esta calificación son: Álvaro Obregón, Santa Anna y San Isidro Castillotla. La región del centro y el este de la ciudad presentaron temperaturas mayores a los 21°C, las regiones más calientes por la mañana son: Las Golondrinas, Los Encinos, Conjunto Amanecer, Centro Histórico, La Joya, 10 de Mayo, Gral. Ignacio Zaragoza y la zona más cálida que es la Zona Militar.

Por la tarde, la temperatura más baja fue de 27.9°C en La Paz y la temperatura máxima llegó a los 32.7°C en las periferias de 10 de Mayo. La región norte de la ciudad presentó temperaturas de entre 28 y 29.6°C, principalmente en La Paz, Las Posas y Las Cuartillas. La zona este y centro-sur de la ciudad registraron temperaturas mayores a 30°C correspondiente a Campestre Paraíso, Álvaro Obregón, San Isidro Castillotla, Coatepec, El patrimonio, Arboledas San Ignacio, Las Golondrinas, Conjunto Amanecer y Gral. Ignacio Zaragoza. En la noche, la temperatura más baja registrada fue de 23.6°C en 10 de Mayo y la temperatura más alta se obtuvo en la zona centro y sureste con temperaturas mayores a 26°C. La zona noreste de la ciudad es la más fría durante la noche, principalmente en Las Posas y 10 de Mayo, Gral. Ignacio Zaragoza, Las Cuartillas con temperaturas de entre 24 y 25°C,

En primavera (25 de abril de 2015) las regiones que presentan mayor calentamiento se sitúan al centro de la Ciudad de Puebla principalmente en Las Golondrinas, Centro Histórico y Conjunto Amanecer, estos sitios

corresponden con las zonas de primera zona de densidad, zona de monumentos e industria de equipamientos según la carta urbana de la ciudad realizada por la Dirección de Planeación Urbana en 2007. En la parte este de la ciudad se desarrolla otra región cálida que corresponde a Zona Militar y Gral. Ignacio Zaragoza y pertenecen a la tercera zona de densidad, primera zona de densidad, industria mixta, industria de equipamientos y parque industrial (Gobierno Municipal de Puebla, 2007).

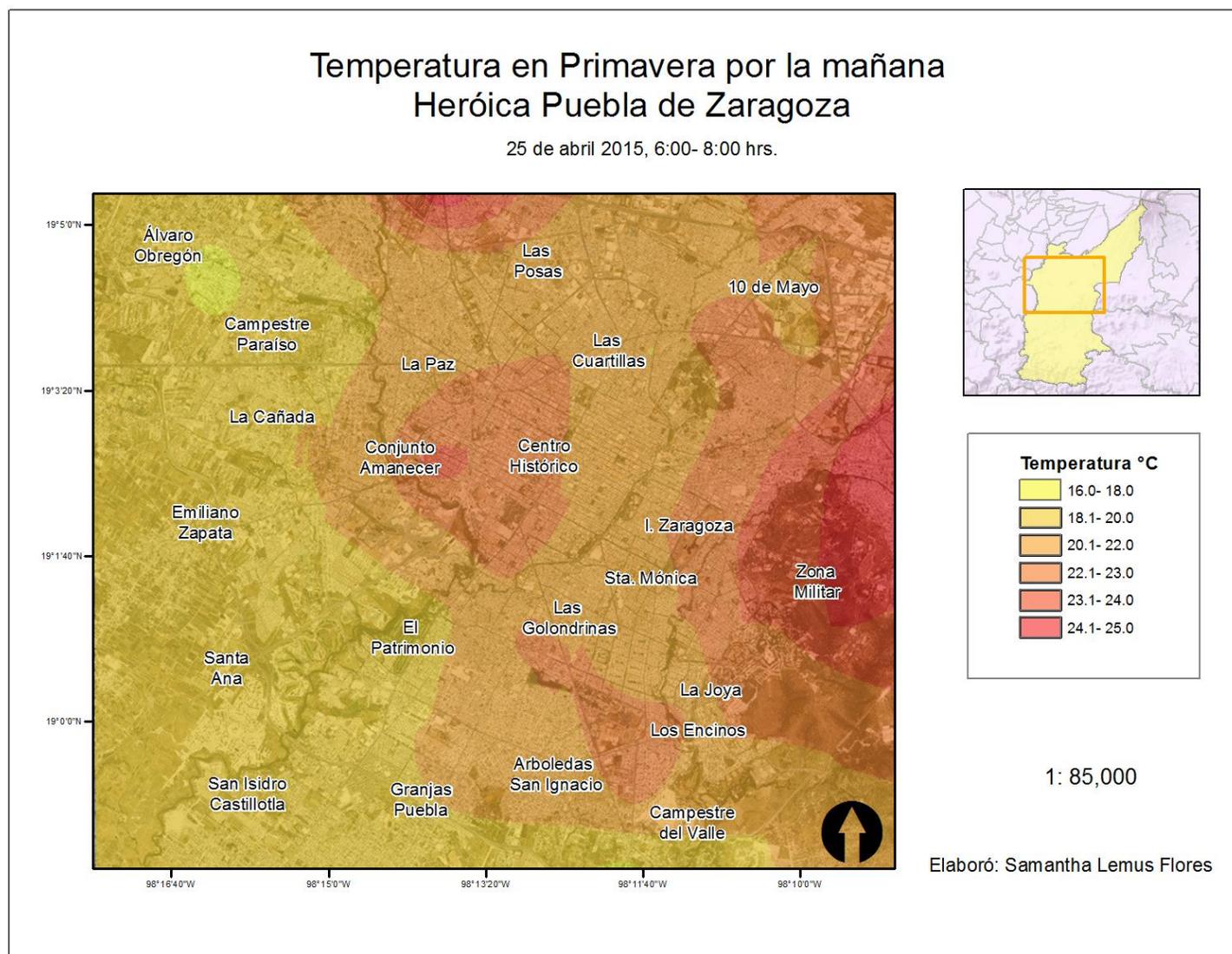


Figura 25. Temperatura en la campaña de primavera (25 abril 2015) por la mañana

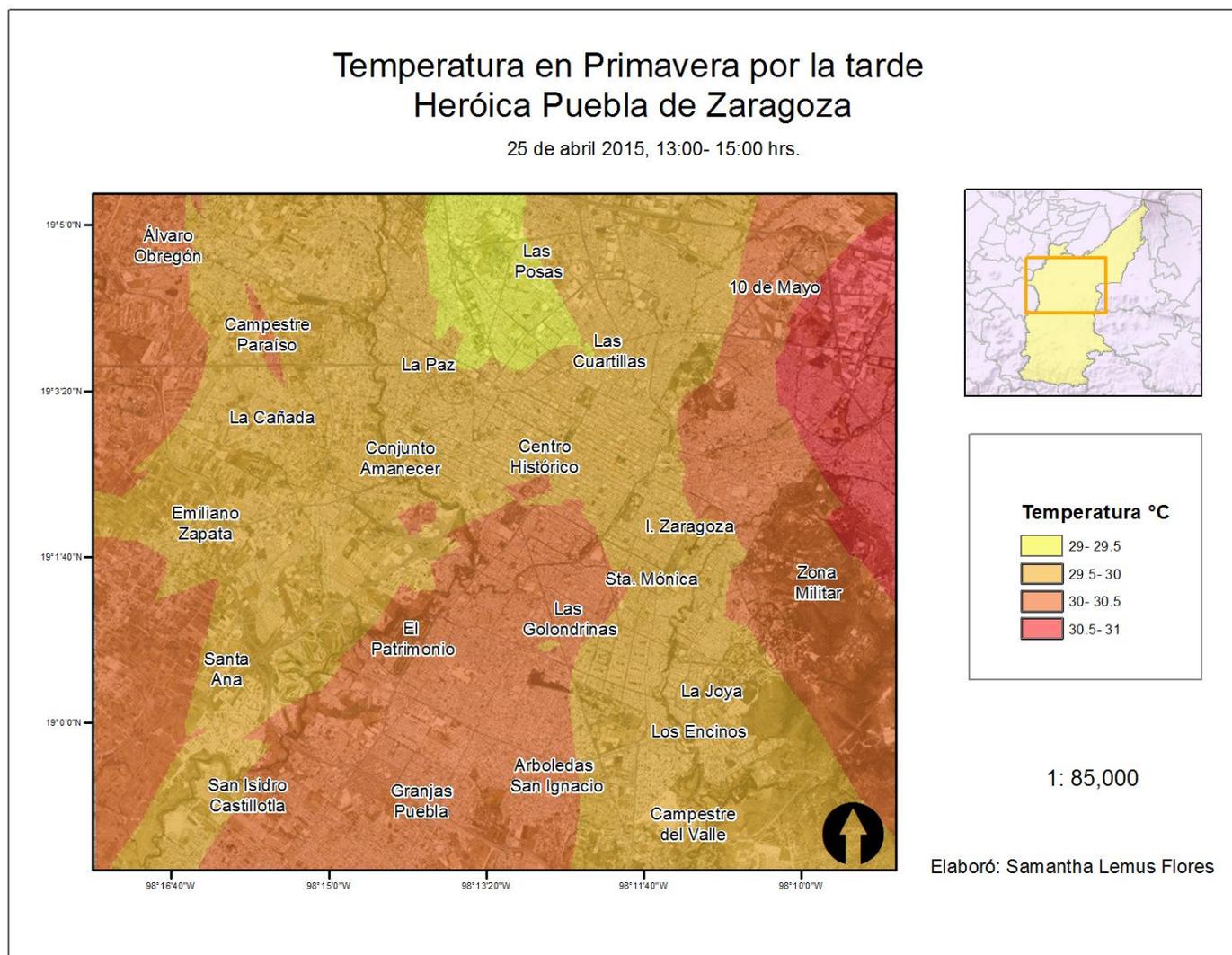


Figura 26. Temperatura en la campaña de primavera (25 abril 2015) por la tarde

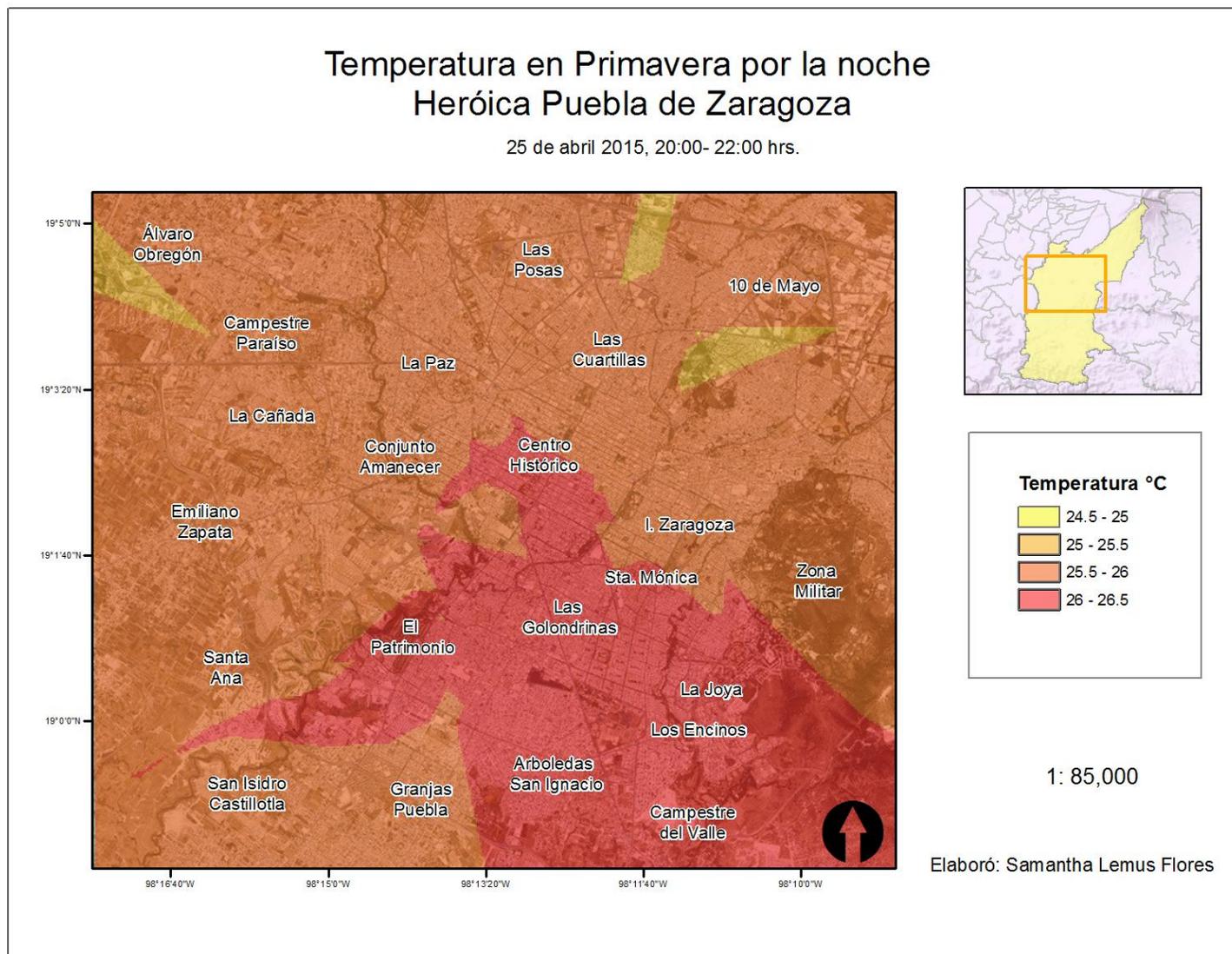


Figura 27. Temperatura en la campaña de primavera (25 abril 2015) por la noche

4.2 Variación diurna en verano (8 agosto 2015)

Durante la mañana la temperatura más baja registrada fue de 13.4°C en Las Posas y la temperatura más alta fue de 20.8°C en Sta. Mónica. La zona norte registró temperaturas más frías de 13.6 y 14.9°C en Las Posas, La Paz, Conjunto Amanecer y Campestre Paraíso. La región este de la ciudad presentó temperaturas de entre 19 y 20°C principalmente en Gral. Ignacio Zaragoza, La Joya, Sata. Mónica y Zona Militar. En la tarde la temperatura más baja se dio en La Paz con 26.9°C mientras que la más alta fue de 33.3°C en Gral. Ignacio Zaragoza. La región norte-centro de la ciudad presentó temperaturas de 27 a 28°C principalmente en La Paz, Las Posas y Conjunto Amanecer. La zona central registro temperaturas de 31 a 32°C primordialmente en El Patrimonio, Gral. Ignacio Zaragoza, Centro Histórico y Sta. Mónica. Por la noche, la menor temperatura fue de 19.3°C en Álvaro Obregón, la más alta fue de 28.5°C en Sta. Mónica. La zona noroeste de la ciudad presentó temperaturas de entre 19.5 y 21°C principalmente en Emiliano Zapata, Campestre Paraíso, La Cañada, Conjunto Amanecer y Santa Ana. La región sur y este de la ciudad presentaron temperaturas mayores a 24°C. Durante verano, se formaron tres zonas más cálidas, la primera de ellas se localiza al sureste de la ciudad en Campestre del Valle, ésta región coincide con la segunda y tercera zona de densidad e industria de equipamientos (Carta urbana de la Dirección de Planeación Urbana de Puebla de Zaragoza, 2007). La segunda se desarrolló al noreste, principalmente en Gral. Ignacio Zaragoza, Sta. Mónica y 10 de Mayo, que según la carta urbana corresponde a la zona de monumentos, primera zona de densidad, equipamientos, comercio y servicios (Gobierno Municipal de Puebla,2007).

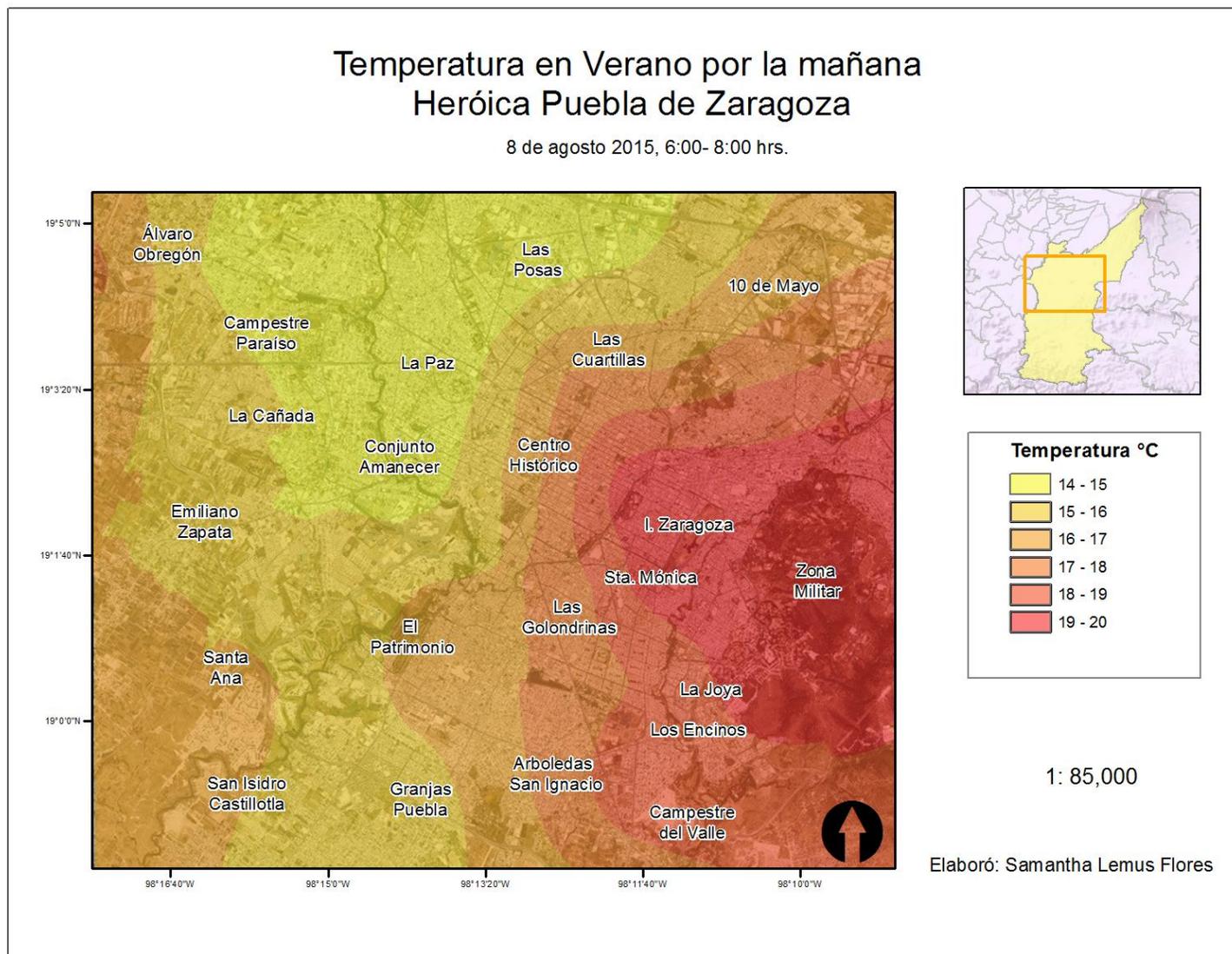


Figura 28. Temperatura en la campaña de verano (8 agosto 2015) por la mañana

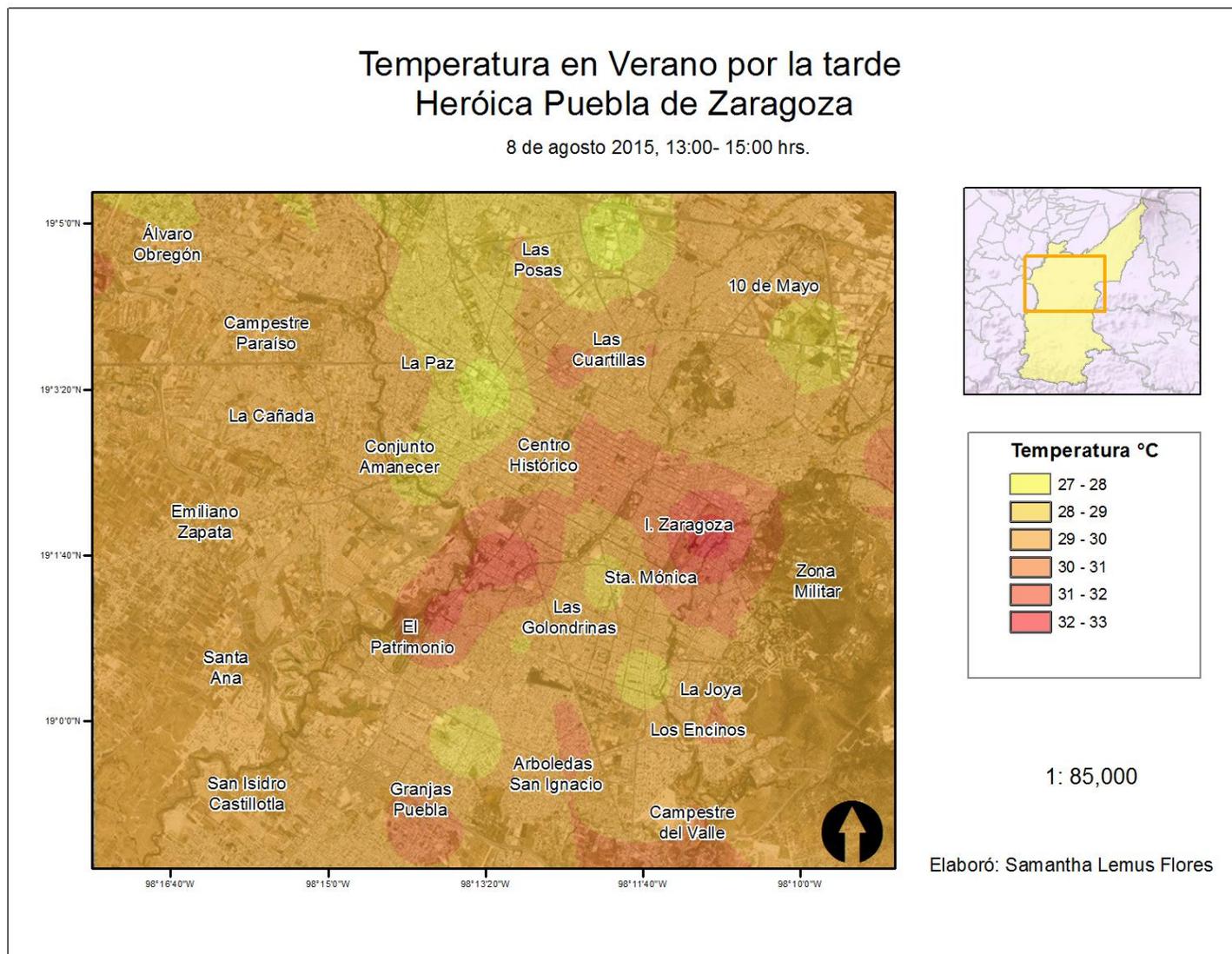


Figura 29. Temperatura en la campaña de verano (8 agosto 2015) por la tarde

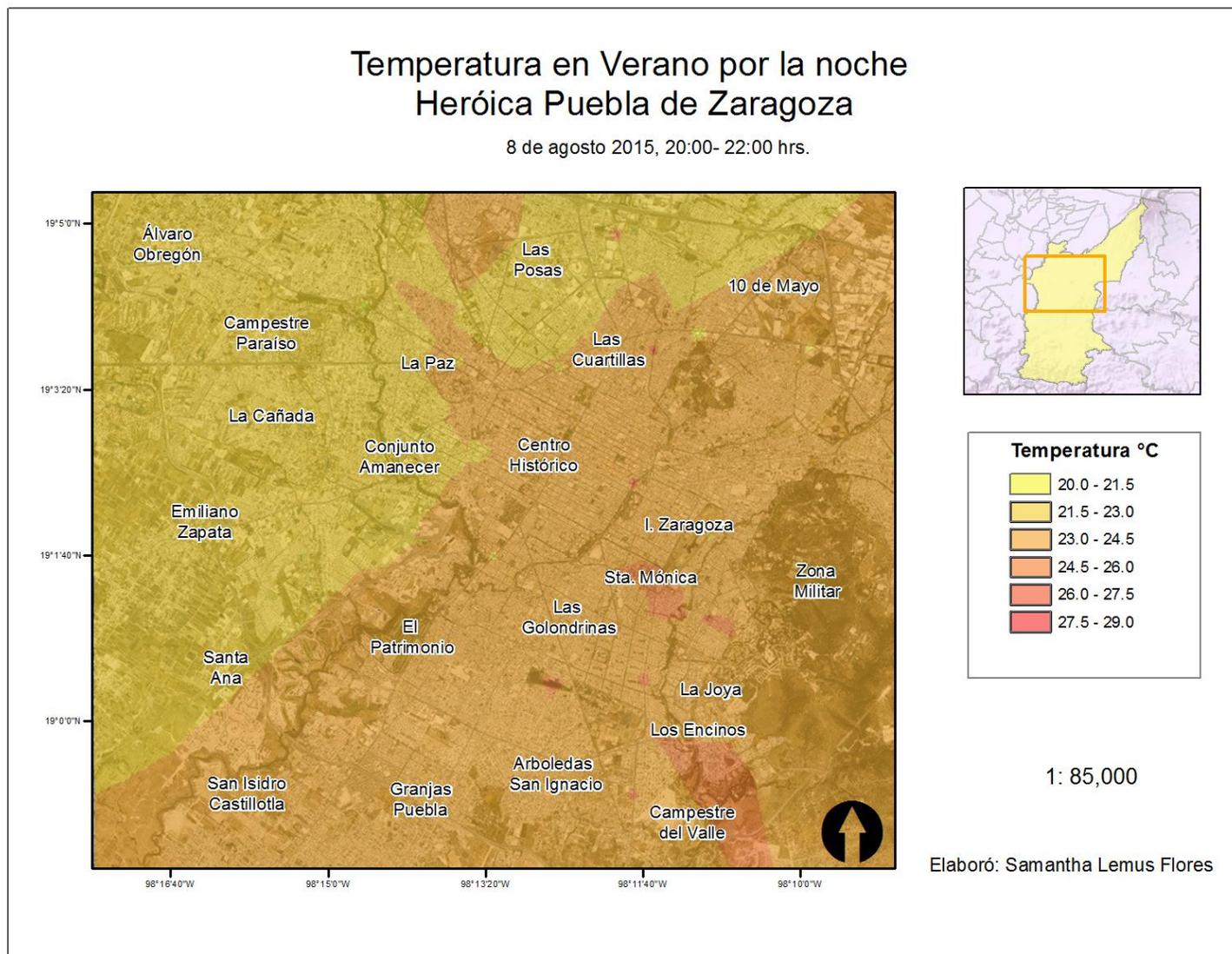


Figura 30. Temperatura en la campaña de verano (8 agosto 2015) por la noche

4.3 Variación diurna en invierno (14 enero de 2016)

Por la mañana, la temperatura mínima registrada fue de 4.3°C en Santa Ana y la máxima alcanzó 10.3°C en Los Encinos. La parte norte y oeste de la ciudad registró temperaturas de entre 5 y 7°C, las regiones más frías dentro de esta calificación son: Campestre Paraíso, La Cañada, Emiliano Zapata, Las Posas y Santa Ana. La región del centro y el este de la ciudad presentaron temperaturas mayores a 8°C, las regiones más calientes por la mañana son: Las Golondrinas, Los Encinos, Centro Histórico, La Joya, 10 de Mayo, Gral. Ignacio Zaragoza y la Zona Militar. Por la tarde, la temperatura más baja fue de 18.2°C en las periferias de 10 de Mayo y la temperatura máxima llegó a los 22.4°C en Los Encinos. La región noroeste presentó temperaturas de entre 19 y 20.5°C, principalmente en Álvaro Obregón, La Cañada, Emiliano Zapata y Santa Ana. La zona sureste de la ciudad registró temperaturas mayores a 21°C correspondiente a Campestre del Valle, Los Encinos, La Joya y Sta. Mónica. En la noche, la temperatura más baja registrada fue de 18.4°C en La Joya y la temperatura más alta se obtuvo en 10 de Mayo con 22.8°C.

En invierno la región que presentó mayor calentamiento fue la zona centro y este de la ciudad, principalmente en la Zona Militar, La joya, Los Encinos, Gral. Ignacio Zaragoza, Sta. Mónica y Centro Histórico que corresponde a corresponden con las zonas de primera zona de densidad, tercera zona de densidad, zona de monumentos e industria (Gobierno Municipal de Puebla, 2007).

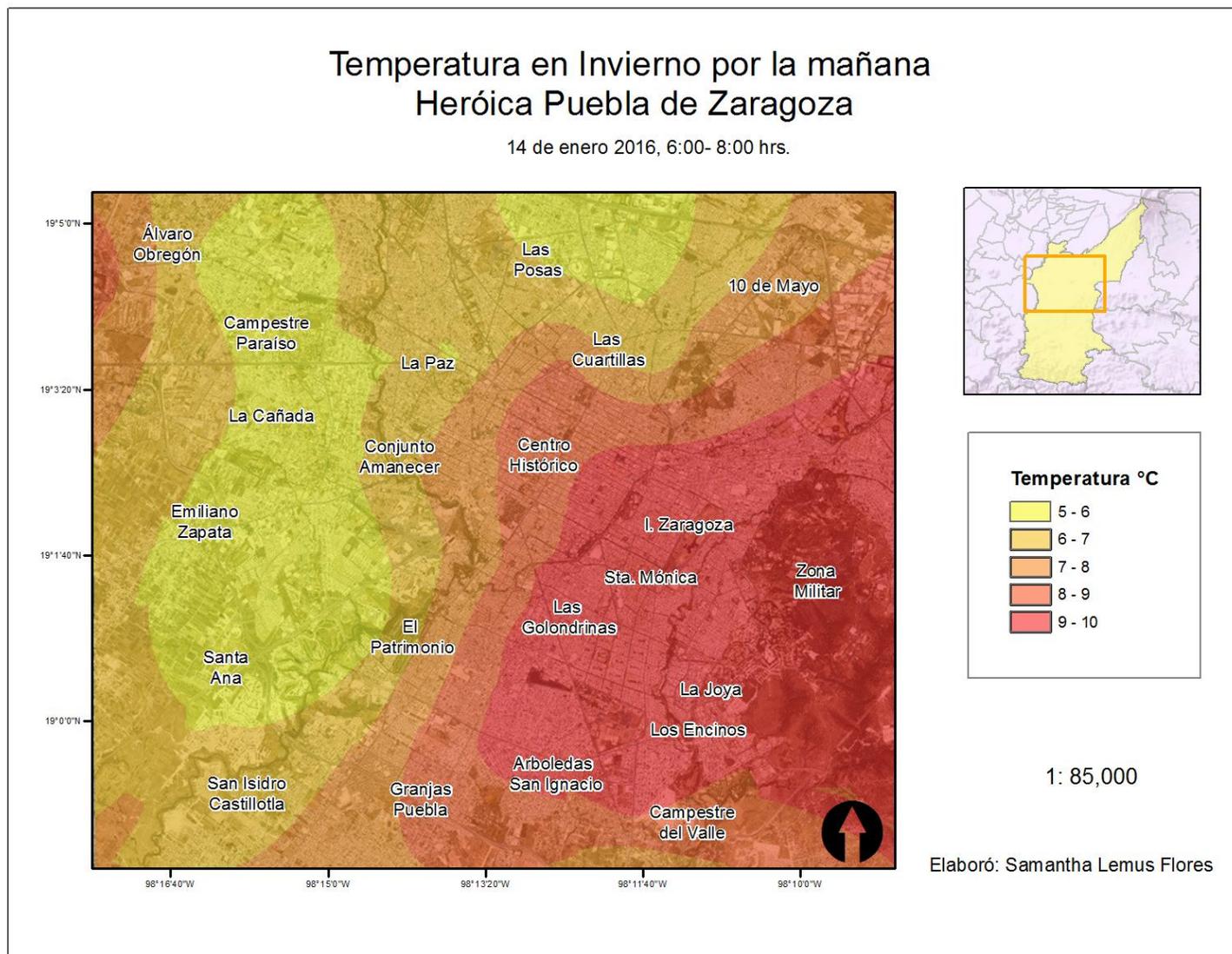


Figura 31. Temperatura en la campaña de invierno (14 enero 2016) por la mañana

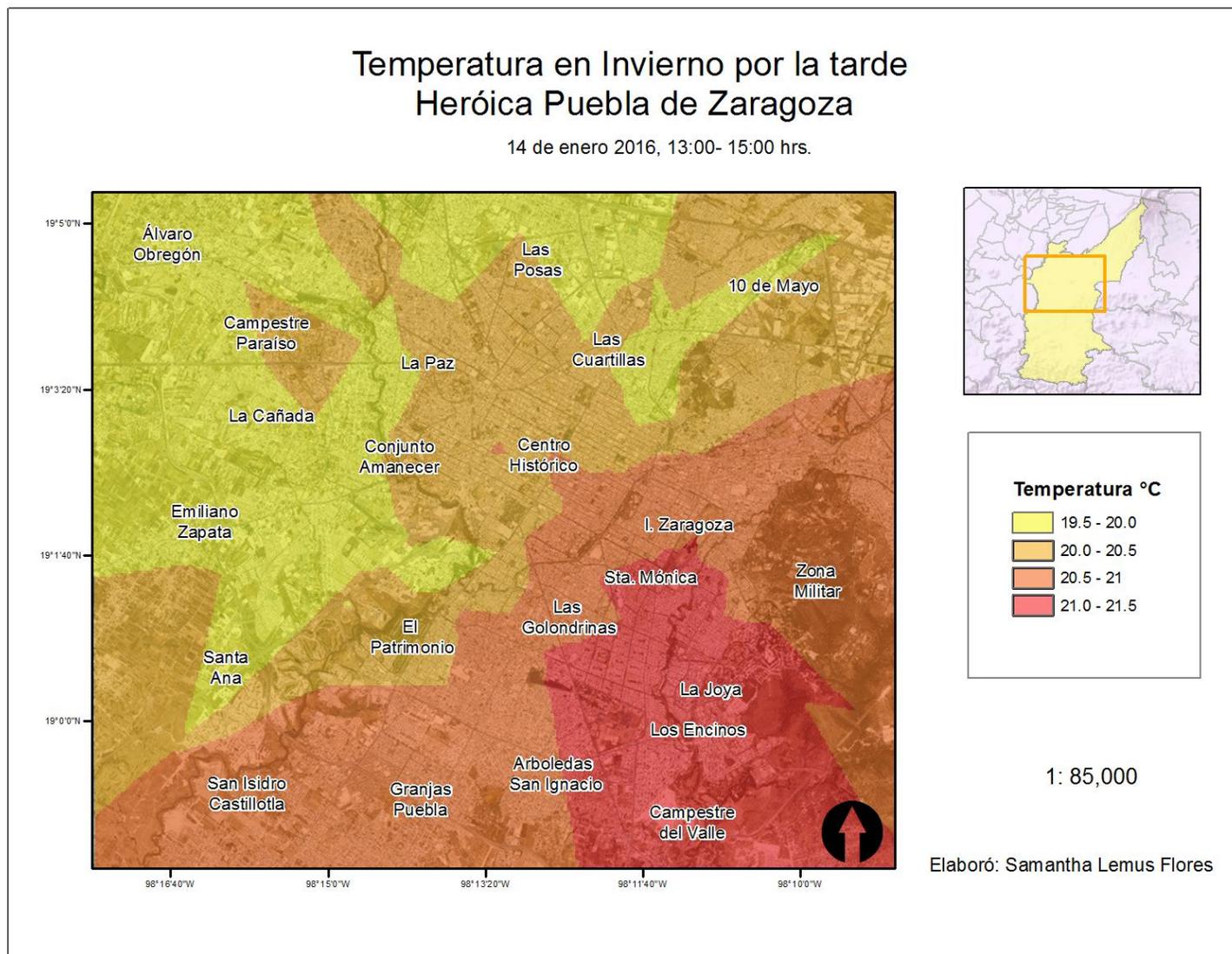


Figura 32. Temperatura en la campaña de invierno (14 enero 2016) por la tarde

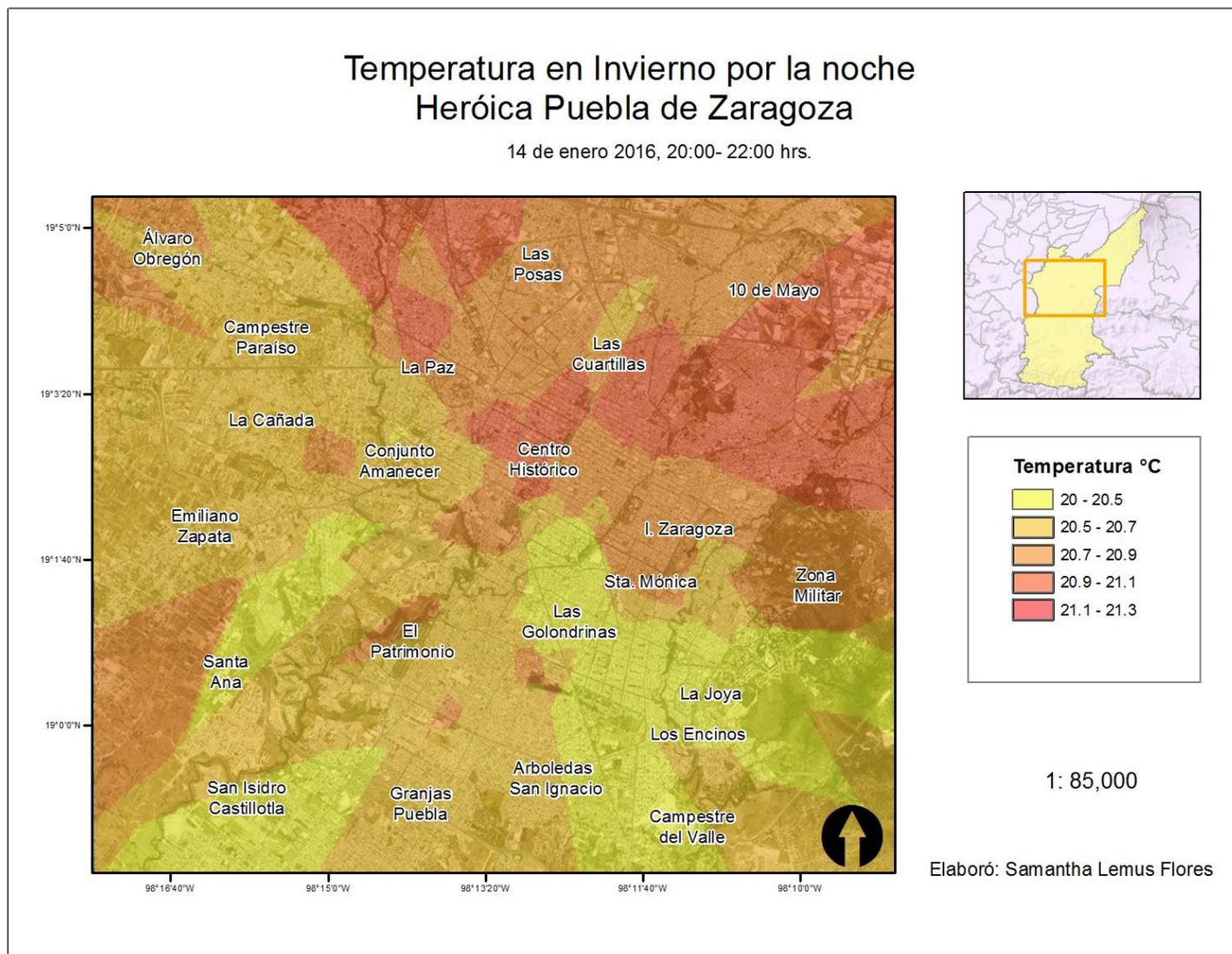


Figura 33. Temperatura en la campaña de invierno (14 enero 2016) por la noche

4.4 Variación diurna de puntos de muestreo y estaciones de referencia

Las figuras 30 y 31 indican las gráficas con la variación de temperatura para cada punto de los transectos recorridos para la medición. A las gráficas se les agregaron los datos de las tres campañas de medición (primavera, verano e invierno) y los tres registros obtenidos para cada campaña (mañana, tarde y noche). Además se hicieron promedios entre los resultados de cada hora para atenuar la línea de los gráficos y obtener una temperatura aproximada de las horas en las que no se realizó medición.

Durante la primavera, la temperatura durante la mañana se encuentra entre los 20°C, por la tarde alcanza la máxima cerca de los 30°C y se mantiene constante en las siguientes horas sin presentar mucha variación. En verano el comportamiento es similar al de primavera, por la mañana la temperatura se encuentra alrededor de 15°C alcanzando la temperatura máxima por la tarde de aproximadamente 30°C que va disminuyendo en el transcurso de las siguientes horas por el enfriamiento de la ciudad. Para invierno la temperatura por la mañana se registró entre los 6 y 9°C, alcanza la máxima por la tarde entre los 20°C y en el transcurso de la noche algunos puntos se mantuvieron con la misma temperatura, incluso en algunos sitios seguía incrementándose alrededor de 3°C.

En la figura 32, se hizo la comparación de resultados entre puntos de medición que se encuentran muy cerca uno del otro para cada campaña de medición. Uno de los puntos que se compararon fueron el punto 3 del transecto vertical oeste y el punto 4 del transecto horizontal norte (Figura 4), cuya distancia es de 776 metros, para las campañas de primavera e invierno no presentaron mucha variación, sin embargo en verano el punto 4 del transecto horizontal norte registró una temperatura 2°C más que el otro punto de medición. Otros de los puntos que se compararon fueron los puntos 5 del transecto vertical oeste y el punto 4 del transecto horizontal sur

(Figura 4), cuya distancia es de 785 metros, durante la campaña de primavera la temperatura máxima tuvo una diferencia de aproximadamente 1.5°C , en verano la temperatura por la mañana presento una diferencia de 4°C mientras que por la noche fue de 2°C , en invierno la temperatura por la mañana, tarde y noche tuvo una diferencia de 2°C . Los siguientes puntos que se compararon fueron el punto 2 del transecto vertical oeste y el punto 6 del transecto horizontal norte (Figura 4), cuya distancia es de 877 metros, en primavera la diferencia por la mañana es de 2°C al igual que por la noche, en verano la diferencia por la noche fue de 8°C , mientras que en invierno por la tarde y noche la diferencia fue de 2°C . los últimos puntos que se compararon fueron el punto 4 del transecto vertical este y el punto 5 del transecto horizontal sur (Figura 4), cuya distancia es de 500 metros, en primavera por la tarde la diferencia de temperatura es de 3°C mientras que por la mañana y noche no hay diferencia, en verano por la mañana hay una diferencia de 2°C , por la tarde es de 1°C y por la noche es de 5°C , en invierno no hay variación entre la mañana y la noche, sin embargo por la tarde hubo una diferencia de 5°C .

El hecho de que exista poca variación en las gráficas indica que se perdió poco tiempo en las mediciones, por lo tanto esos datos son más certeros ya que se capturaron en el tiempo establecido. Por el contrario, las líneas de las gráficas que presentan mayor diferencia entre sí, indican que durante ese recorrido se perdió tiempo, debido al tránsito vehicular y por lo tanto existe un sesgo de error en los resultados.

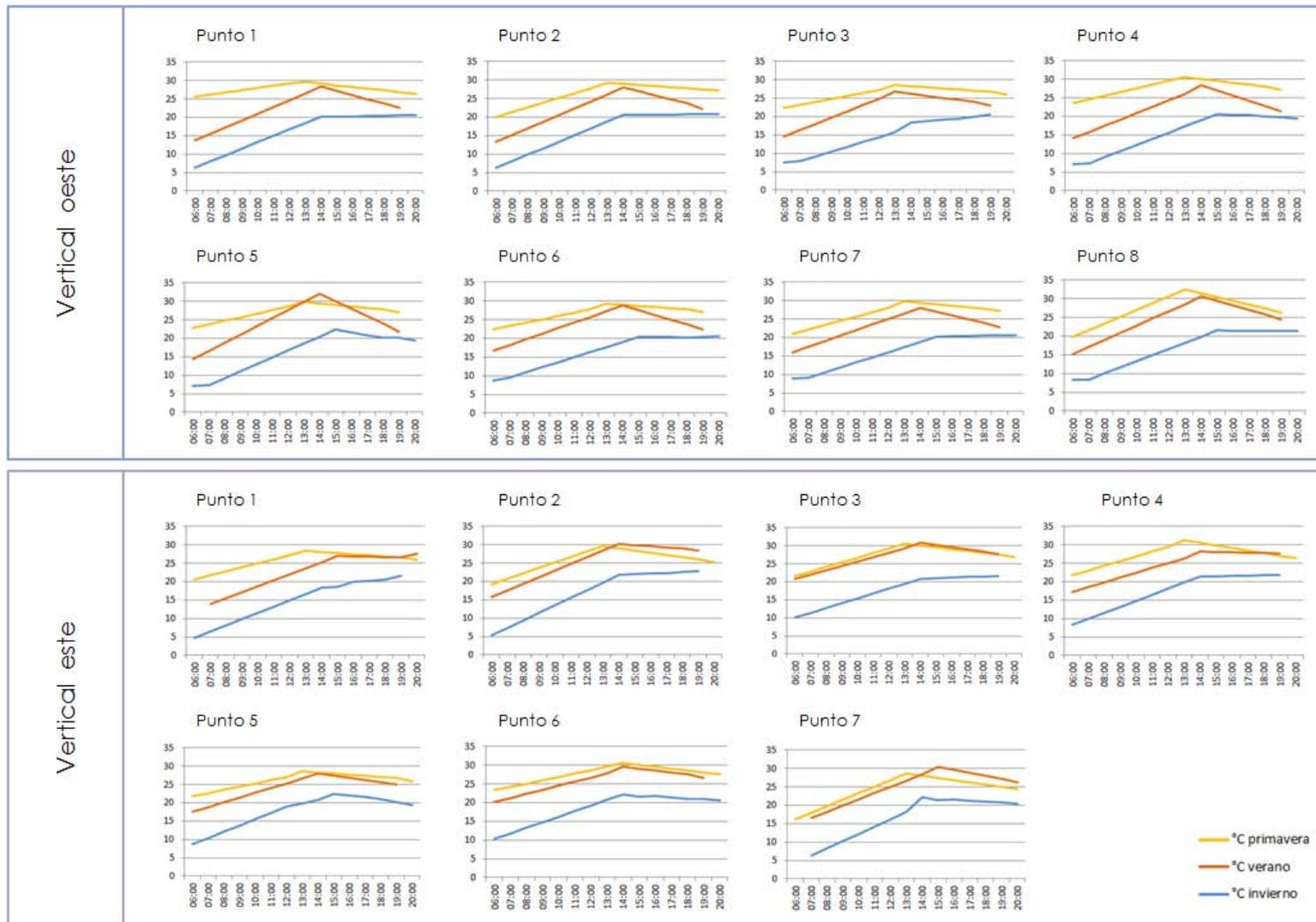
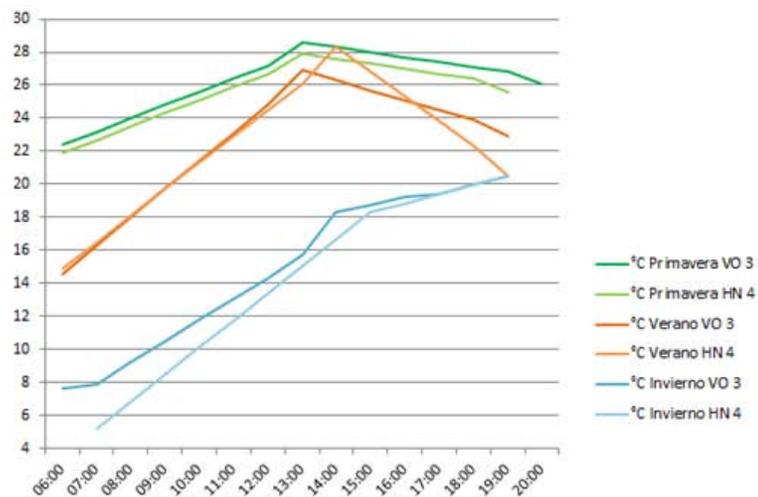


Figura 34. Variación diurna de temperatura en los puntos de muestreo (vertical este y vertical oeste)

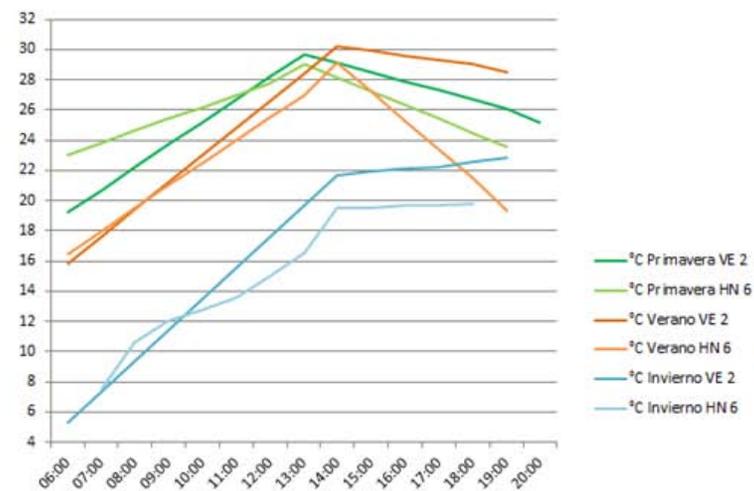


Figura 35. Variación diaria de temperatura en los puntos de muestreo (horizontal norte y horizontal sur)

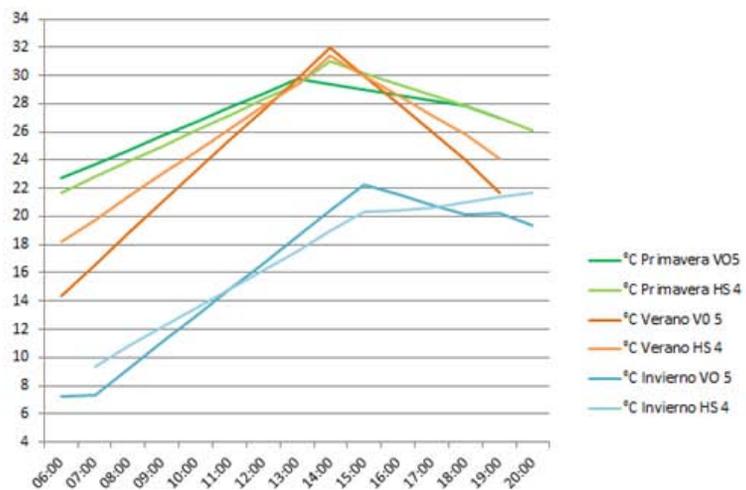
Ciclo diario de los puntos: vertical oeste 3 y horizontal norte 4



Ciclo diario de los puntos: vertical este 2 y horizontal norte 6



Ciclo diario de los puntos: vertical oeste 5 y horizontal sur 4



Ciclo diario de los puntos: vertical este 4 y horizontal sur 5

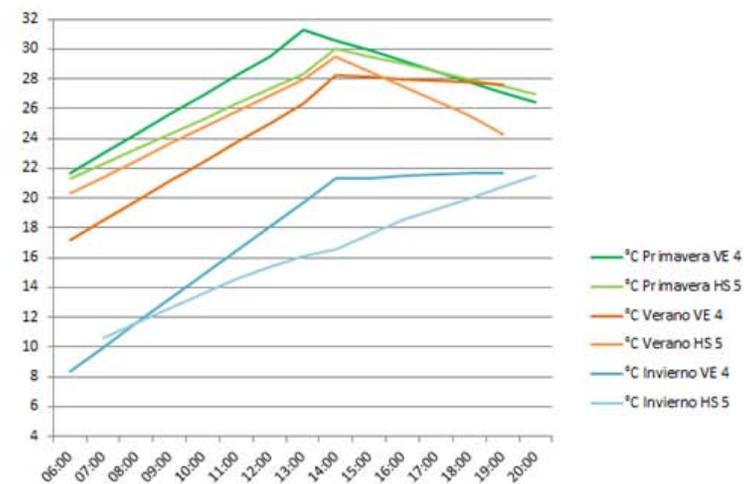


Figura 36. Variación del ciclo diario con estaciones de referencia

4.5 Matriz de datos de temperatura con datos de normales climatológicas 1951- 2010 y datos obtenidos en campo

Tabla 7. Temperatura de estaciones y datos obtenidos en campo

| | Estacion | Nombre | Tmax | Tmin. |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------|------|-------|
| Primavera Abril-Junio | 21016 | Balcon Diablo | 26.5 | 10.7 |
| | 21023 | Chapulco | 27.7 | 10.2 |
| | 21034 | Echeverría | 25.9 | 9.3 |
| | 21035 | Puebla | 27.3 | 11.5 |
| | 21046 | Hejotzingo | 27 | 9.3 |
| | 21136 | Acajete | 25.1 | 7.6 |
| | <i>Promedio de datos en campo</i> | | | 30 |
| Verano Julio- Sep | 21016 | Balcon Diablo | 24 | 11 |
| | 21023 | Chapulco | 24.8 | 10.4 |
| | 21034 | Echeverría | 23.5 | 10.2 |
| | 21035 | Puebla | 25.1 | 11.5 |
| | 21046 | Hejotzingo | 24.5 | 10.1 |
| | 21136 | Acajete | 23 | 7.6 |
| | <i>Promedio de datos en campo</i> | | | 29.5 |
| Otoño Octubre- Dic | 21016 | Balcon Diablo | 23.1 | 6.6 |
| | 21023 | Chapulco | 23.9 | 7.3 |
| | 21034 | Echeverría | 22.7 | 4.6 |
| | 21035 | Puebla | 24.2 | 7.4 |
| | 21046 | Hejotzingo | 22.9 | 5.9 |
| | 21136 | Acajete | 22.3 | 4.7 |
| Invierno Enero- Marzo | 21016 | Balcon Diablo | 23.8 | 5.2 |
| | 21023 | Chapulco | 25.2 | 6.1 |
| | 21034 | Echeverría | 23.1 | 2.7 |
| | 21035 | Puebla | 24.2 | 6.5 |
| | 21046 | Hejotzingo | 23.7 | 4.3 |
| | 21136 | Acajete | 23.2 | 4.1 |
| | <i>Promedio de datos en campo</i> | | | 20.3 |

Para la construcción de la tabla 7, se tomaron en cuenta los datos de temperatura de las cinco estaciones más antiguas de la zona de estudio, cada una con su temperatura máxima y mínima para cada estación del año, los datos fueron tomados de las normales climatológicas de 1951 a 2010. A cada estación del año, se le agregó también el promedio de

temperatura máxima y mínima de los datos capturados en campo para identificar la diferencia de temperatura entre las estaciones y el promedio de los valores obtenidos en campo.

4.6 Matriz de intensidad de isla de calor

Para cuantificar el calentamiento urbano, se obtuvo la variable denominada intensidad de la isla de calor, la cual consiste en la diferencia de temperatura entre el medio urbano (T_U) y el medio rural (T_r). (Oke, 1982).

$$I = \Delta T_{U-r} = T_U - T_r \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Para identificar la intensidad de la isla de calor se tomaron en cuenta tres estaciones, la primera de ellas es Puebla (21035) situada en el centro de la ciudad (2,122 msnm), la segunda fue la estación Echeverría (21034) localizada al suroeste (2,066 msnm), en los límites de la ciudad y la tercera fue la estación Balcón Diablo (21016) situada al sureste de la ciudad fuera de la zona urbanizada (2,120 msnm). Esto con el fin de obtener un comparativo de las temperaturas del centro y sus periferias. Dichas estaciones se eligieron, por su cercanía a la ciudad, altitud similar y por tener la mayor parte de sus datos completos y mayor número de años en funcionamiento.

En la Tabla 8 se comparan los datos de temperatura de las normales climatológicas (1951-2010) de las estaciones Echeverría (21034) y Puebla (21035) para identificar la intensidad de la isla de calor en la región suroeste de la ciudad. En la Tabla 9 se comparó la temperatura de las estaciones Balcón Diablo (21016) y Puebla (21035) para localizar la isla de calor en la región sureste de la ciudad.

Tabla 8. Datos de temperatura de las estaciones Echeverría (21034) y Puebla (21035)

| | Primavera (marzo, abril, mayo) | | Verano (junio, julio, agosto) | | Otoño (septiembre, octubre, noviembre) | | Invierno (diciembre, enero, febrero) | |
|-----------------------|-----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|---|-------|---|-------|
| | 21034 | 21035 | 21034 | 21035 | 21034 | 21035 | 21034 | 21035 |
| Temperatura máxima °C | 25.9 | 27.3 | 23.5 | 25.1 | 22.7 | 24.3 | 23.1 | 24.3 |
| Temperatura media °C | 17.6 | 19.4 | 16.8 | 18.3 | 13.6 | 15.9 | 12.9 | 15.3 |
| Temperatura mínima °C | 9.3 | 11.6 | 10.2 | 11.5 | 4.6 | 7.5 | 2.7 | 6.5 |

Tabla 9. Datos de temperatura de las estaciones Balcón Diablo (21016) y Puebla (21035)

| | Primavera (marzo, abril, mayo) | | Verano (junio, julio, agosto) | | Otoño (septiembre, octubre, noviembre) | | Invierno (diciembre, enero, febrero) | |
|-----------------------|-----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|---|-------|---|-------|
| | 21016 | 21035 | 21016 | 21035 | 21016 | 21035 | 21016 | 21035 |
| Temperatura máxima °C | 26.5 | 27.3 | 24 | 25.1 | 23.1 | 24.3 | 23.8 | 24.3 |
| Temperatura media °C | 18.6 | 19.4 | 17.5 | 18.3 | 14.8 | 15.9 | 14.5 | 15.3 |
| Temperatura mínima °C | 10.7 | 11.6 | 11 | 11.5 | 6.6 | 7.5 | 5.2 | 6.5 |

Al hacer la diferencia entre la temperatura del medio urbano (21035) y del medio menos urbanizado (21046) para cada estación del año con los datos de temperatura media, se obtuvo la intensidad de la isla de calor (Tabla 9).

Tabla 10. Intensidad de isla de calor en la zona suroeste de la ciudad de Puebla

| Estación | Diferencia de temperaturas °C |
|-----------|-------------------------------|
| Primavera | 1.8 |
| Verano | 1.5 |
| Otoño | 2.3 |
| Invierno | 2.4 |

Tabla 11. Intensidad de isla de calor en la zona sureste de la ciudad de Puebla

| Estación | Diferencia de temperaturas °C |
|-----------|----------------------------------|
| Primavera | 0.8 |
| Verano | 0.8 |
| Otoño | 1.1 |
| Invierno | 0.8 |

5 Conclusiones y recomendaciones

Algunas de las ventajas de hacer mediciones de isla de calor con el método de transectos, es que se pueden obtener datos de varios puntos de la ciudad aleatoriamente y en el momento que se requiera, además de que el instrumento empleado es fácil de utilizar y transportar, otra ventaja es que nos muestra los cambios de temperatura a escala regional y podemos inferir qué es lo que causa el incremento o disminución de la temperatura visualizando los elementos que están presentes en los puntos de medición. Sin embargo el método también tiene desventajas, una de ellas es que existe una variación de temperatura por el tiempo que transcurre desde la toma del primer punto al último punto de medición, dicho tiempo de recorrido puede ser aún mayor si en los transectos diseñados hay presencia de tránsito vehicular, reducción de carriles o cierre de calles y avenidas.

Para el estudio de isla de calor en Puebla es necesario continuar con las campañas de medición en los alrededores del área urbana, ya que solo se cuenta con los datos de estaciones climatológicas en la periferia. También es recomendable contar con datos durante la mayor parte de la noche y madrugada (10 pm a 5 am) para tener los datos con mayor detalle de las variaciones diurnas. Los estudios en percepción remota en la zona de estudio mejorarían la identificación de la isla de calor por lo que el presente trabajo puede dar pie a nuevas investigaciones.

El rápido crecimiento urbano de la Ciudad de Puebla, así como la falta de áreas verdes y ausencia cuerpos de agua, son determinantes en la modificación del clima urbano. Los resultados de esta investigación indican que los contrastes térmicos observados están estrechamente vinculados al área urbana. Las zonas más cálidas coinciden con las zonas con mayor densidad de

población, mayor actividad económica, movilidad de la población y flujo vehicular.

La zona con temperaturas más cálidas se localiza al centro, este y sureste de la ciudad de Puebla (Gral. Ignacio Zaragoza, Zona Militar, Sta. Mónica, La Joya, 10 de Mayo, Los Encinos y el Centro Histórico), dicha zona está conformada por la primera y tercera zona de densidad, zona de monumentos, equipamientos, zona militar, comercio y servicios (Figura 37). Uno de los motivos que pudieran influir en el calentamiento, es el hecho de que la zona sólo cuenta con un parque urbano importante, el Parque Ecológico Revolución Mexicana, el cual también contiene uno de los dos cuerpos de agua de la zona de mayor calentamiento, el segundo está ubicado al sur del área de calentamiento dentro de la zona de densidad controlada.

Las regiones que rodean la zona de calentamiento, sobre todo al oeste y sur de la ciudad, presentan un menor calentamiento debido a que la densidad poblacional es menor, además de que hay cuerpos de agua como el Río Atoyac que funciona como regulador térmico.

El contraste de temperaturas entre la estación del centro de la ciudad (21035) y la estación Echeverría (21034), al suroeste de la ciudad de Puebla es mayor debido a que la estación Echeverría se localiza en una zona poco urbanizada en la periferia de la ciudad, además de que se encuentra muy cerca del Río Atoyac. La intensidad es de 1.8°C para primavera (marzo, abril, mayo), de 1.5°C para verano (junio, julio, agosto), de 2.3°C para otoño (septiembre, octubre, noviembre) y de 2.4°C para invierno (diciembre, enero, febrero).

La diferencia de temperaturas que resultó al comparar la estación Puebla (21035), en el centro de la ciudad y Balcón Diablo (21016), que se localiza al sureste de la ciudad, es menor a pesar de que también se encuentra muy cerca del río Atoyac, sin embargo la estación se encuentra en una zona

urbanizada. La intensidad es de 0.8°C para primavera (marzo, abril, mayo), de 0.8°C para verano (junio, julio, agosto), de 1.1°C para otoño (septiembre, octubre, noviembre) y de 0.8°C para invierno (diciembre, enero, febrero).

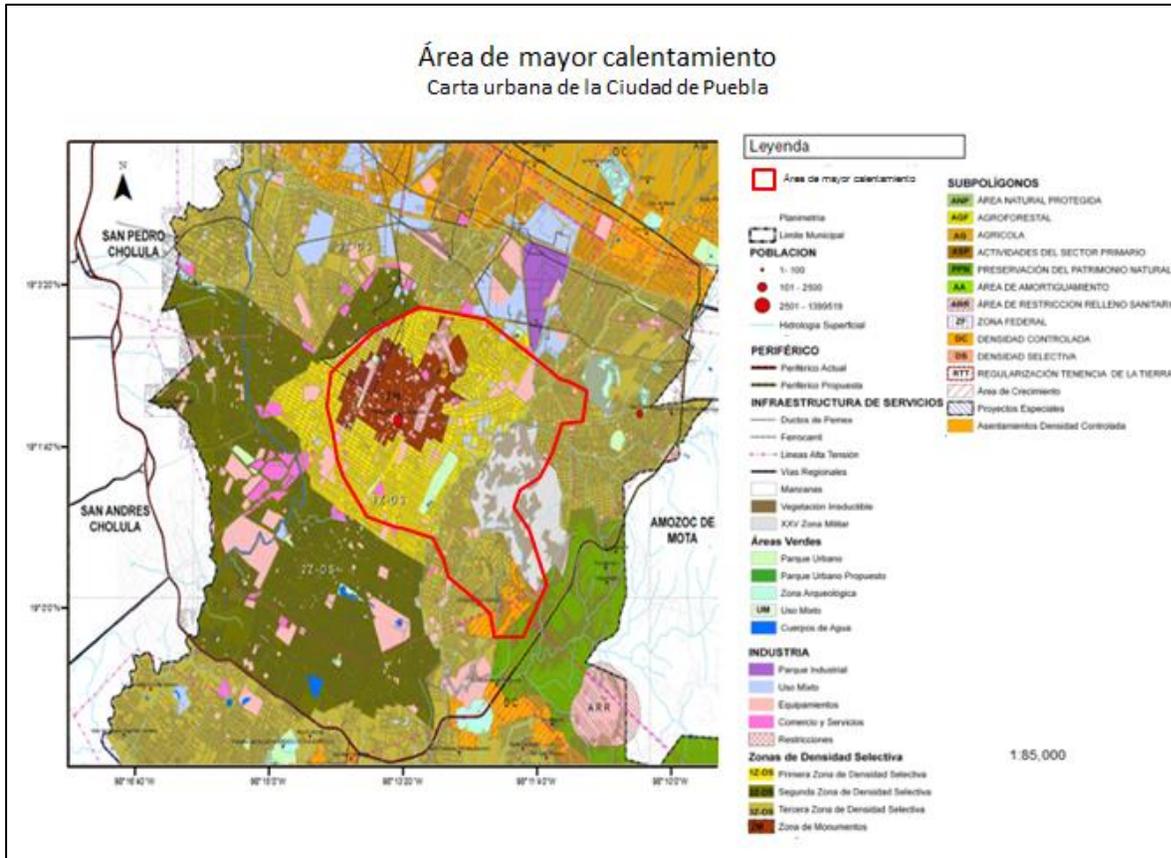


Figura 37 Área de mayor calentamiento, Carta Urbana de uso de suelo por la Dirección de Planeación Urbana de Puebla de Zaragoza

Las islas de calor tienen como consecuencia aumento en la temperatura, lo cual repercute en el incremento en los consumos de energía eléctrica en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. El aire acondicionado que se utiliza para mitigar el aumento de temperatura produce gases contaminantes como el dióxido de carbono y óxido de nitrógeno, los cuales son precursores del ozono. Las altas temperaturas están relacionadas con la emisión de hidrocarburos orgánicos y aceleran la formación de smog.

Es necesario que los tomadores de decisiones consideren las implicaciones de este fenómeno e implementen las medidas necesarias para amortiguar los efectos. Las medidas recomendadas son la implementación de áreas verdes, azoteas verdes y cuerpos de agua que disminuyan el incremento de temperatura, emplear pavimentos que generen alto albedo como el concreto o pavimento con agregados blancos y también utilizar impermeabilizantes blancos para los techos.

6 Referencias

Aguilar, Fabiola & Pérez, Salvador.(2008).La expansión urbana en Puebla. Infraestructura y servicios públicos. La visión para el siglo XXI. BUAP, México, Puebla; pp. 373.

Bonafon, F. (1808). Tratado de Hipócrates de los ayres, aguas y lugares, Imprenta de la calle de Greda (Madrid).

Carral García, E. D. 2004. Sitios urbanos en Puebla. Tesis Licenciatura. Arquitectura. Departamento de Arquitectura, Escuela de Artes y Humanidades, Universidad de las Américas Puebla.

Comrie, Andrew. "Mapping a wind- modified urban heat island in Tucson, Arizona". Bulletin of the American Meteorological Society. Octubre 2000.

Dependencia.http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/2008_ecc_inf_asentamientos.pdf, consultado el 5 de noviembre de 2014.

Desinventar, Puebla. www.desinventar.org, consultado el 7 de diciembre de 2015.

Gante,V. & Rodriguez, M. (2010) Parques y jardines del municipi de Puebla. Revista Elementos, BUAP, No. 76, vol. 16, Diciembre- Febrero, 2009-2010, pag. 51.

Gobierno Municipal de Puebla, Carta Urbana (2007) recuperado el 30 de enero de 2016 de: <http://pueblacapital.gob.mx/vi-planes-municipales-de-desarrollo/programa-municipal-de-desarrollo-urbano-sustentable-de-puebla>.

INEGI (1970) IX Censo General de Población 1970.

INEGI (2013) Censo de Población y Vivienda 2010.

Jáuregui E, (1993). Mexico city's urban heat island revisited. Erdkunde 47, 185-195.

Jáuregui E (1997): Heat island development in Mexico City. Atmospheric Environment, 31:3821-3831.

Jáuregui E., (1975). Microclima del Bosque de Chapultepec. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, No. VI, 63-72.

Jáuregui E., (1979). La isla de calor en Toluca, México. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, No. IX, 27-37.

Jáuregui, E. (1991). El clima urbano y su relación con los contaminantes del aire, Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. 1991. Metepec. Edo de México.

Jáuregui, E. (1992) La isla de calor urbano en la Ciudad de México a finales del siglo XIX. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

Jáuregui, E. (2000). El Clima de la Ciudad de México, Editado por el Instituto de Geografía de la UNAM y Plaza y Valdéz Editores, 131 pág.

Jáuregui, E., & Heres Pulido, M. E. (2008). El clima/bioclima de un parque periurbano de la Ciudad de México.

Kim, Y.H. y J.J. Baik (2002), Maximum urban heat island intensity in Seoul. *Journal of Applied Meteorology*. pp. 651-659.

Kleerekoper, L., van Esch, M., & Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation & Recycling*, 6430. doi:10.1016/j.resconrec.2011.06.004.

Landsberg, H. E. (1969). City climate. Vol. 1. *World Survey of Climatology*. In: Flohn, H. ed. *General Climatology*. Vol. 1.

Lynn, Barry H.; TOBY N. Carlson; Cynthia ROSENZWEIG; Richard GOLDBERG; Leonard DRUYAN; Jennifer COX; Stuart GAFFIN; Lily PARSHALL y Kevin CIVEROLO. (2009). A Modification to the NOAA LSM to Simulate Heat Mitigation Strategies in the New York City Metropolitan Area en *J. Appl. Meteor. Climatol.*, N° 48, 2009, pp. 199-216.

Oke T. R., (1973). City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.* 7, 769-779.

Oke T. R., (1982). The Energetic basis of the Urban Heat Island. Q. J. R. Meteorol. Soc. 108, 1-23.

Oke T. R., G. T. Johnson, D. G. Steyn and I. D. Watson, (1991). Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night: diagnosis of causation. *Boundary-Layer Met.* 56, 339-358.

Oke, T. (1987). *Boundary layer climates*, 2nd ed. Cambridge: University press, Cambridge.

Oke, T. R., Zeuner G. and Jauregui, E. (1992) The surface energy balance in Mexico City. *Atmospheric Environment B* 4, 433-444.

Plan de acción climática (2012). Planes Municipales de Desarrollo , recuperado el 27 de abril de 2016 de: <http://www.pueblacapital.gob.mx/vi-planes-municipales-de-desarrollo>.

Plan Municipal de Desarrollo 2014-2018. Planes Municipales de Desarrollo , recuperado el 27 de abril de 2016 de: <http://www.pueblacapital.gob.mx/vi-planes-municipales-de-desarrollo>.

Runnalls, K., & Oke, T. (2000). DYNAMICS AND CONTROLS OF THE NEAR-SURFACE HEAT ISLAND OF VANCOUVER, BRITISH COLUMBIA. *Physical Geography*, 21(4), 283.

Sarricolea Espinoza, P., & Romero Aravena, (2015). Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile.

Secretaría de turismo, Indicadores turísticos Puebla. (2013) recuperado el 28 de enero de 2016 de <http://turismo.puebla.gob.mx/estadisticaturisticas>.

Shahmohamadi, P. (2011). The impact of anthropogenic heat on formation of urban heat island and energy. *Wseas Transactions on Environment and Development*, 754-768.

Stull, R. B. (1988). *An introduction to boundary layer meteorology*. Dordrecht : Springer, 1988.

Taha, H. (1991). Heat Island and Oasis Effects of Vegetative Canopies: MicroMeteorological Field-Measurements. *Theoretical and Applied Climatology*, 123-138.

Turismo en Puebla. Puebla, recuperado el 23 de enero de 2016 de: <http://www.puebla.travel/es/puebla>

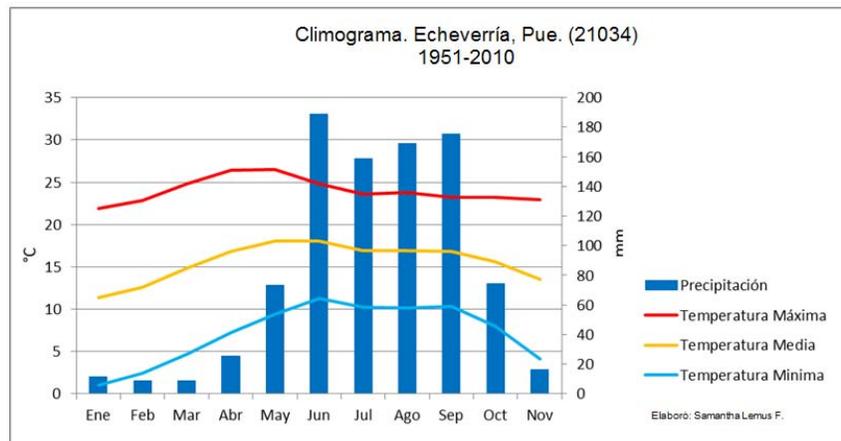
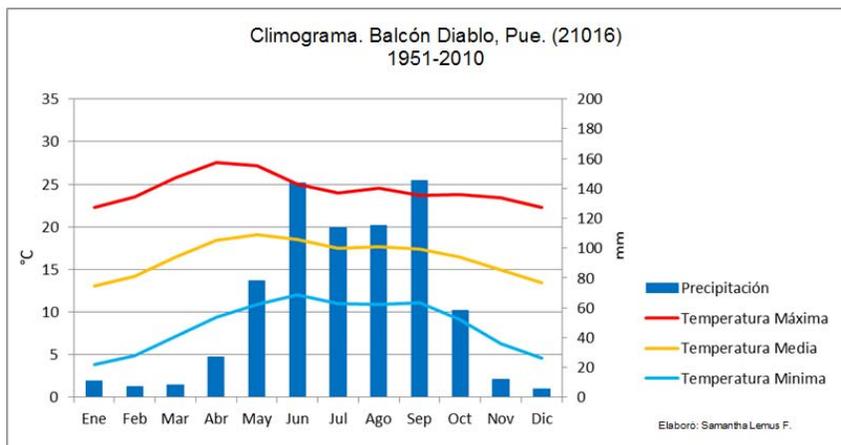
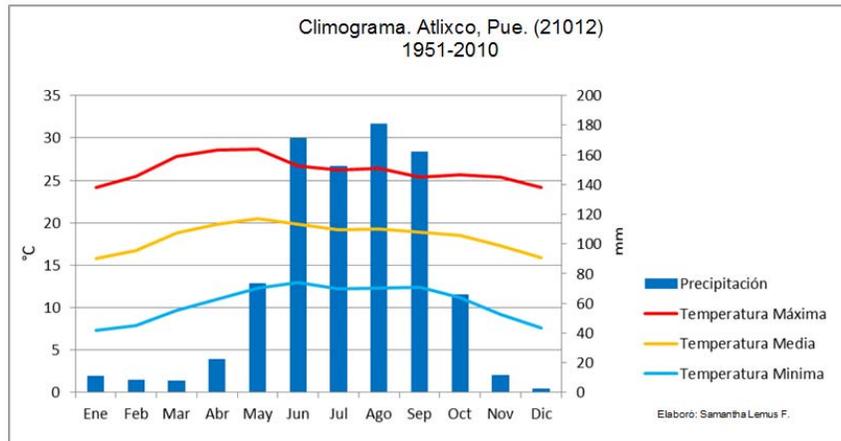
UNESCO. Centro Histórico de Puebla, recuperado el 8 de enero de 2016 de: <http://whc.unesco.org/es/list/416>.

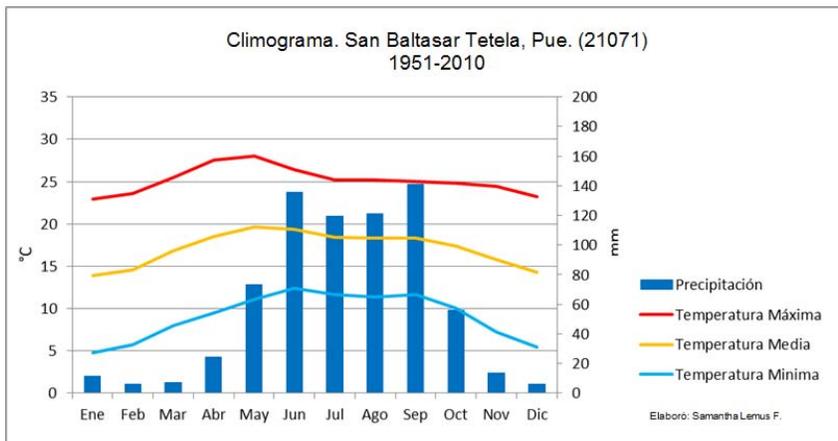
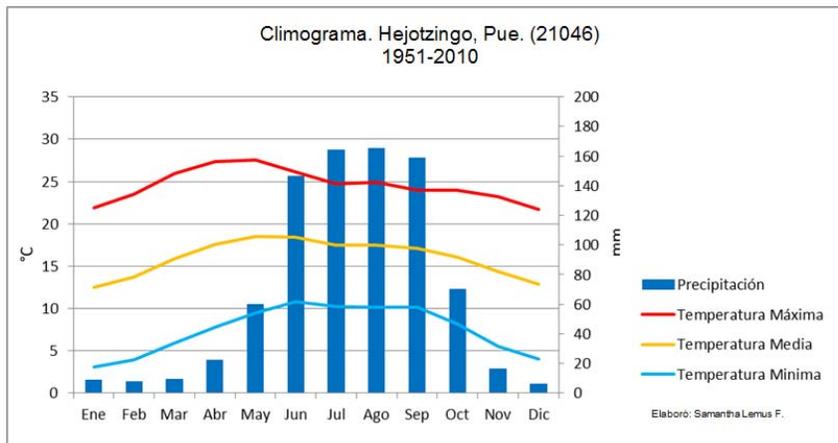
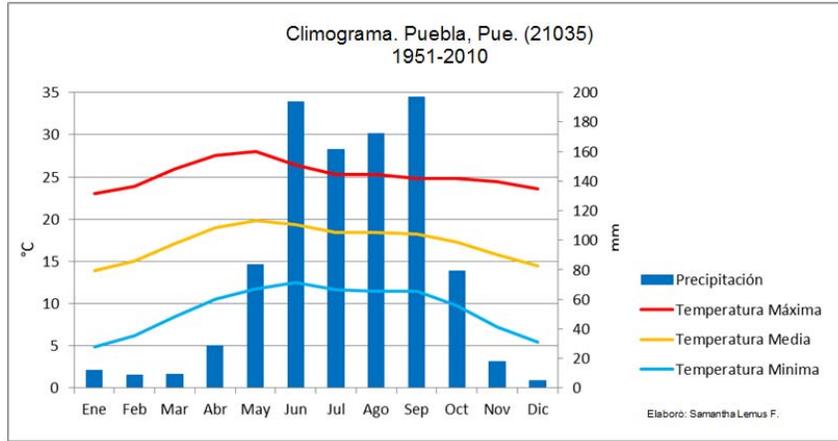
W.M.O. (1970).Urban Climate. *Techa. Note 108, n°254*. World Meteorological Organization, Geneve.

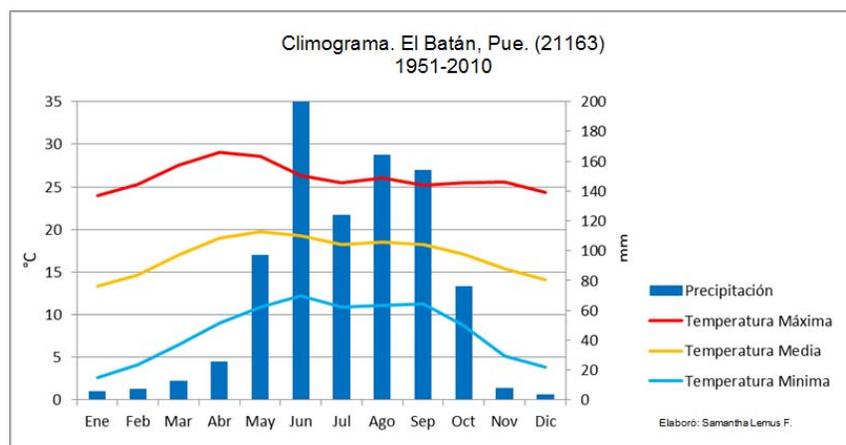
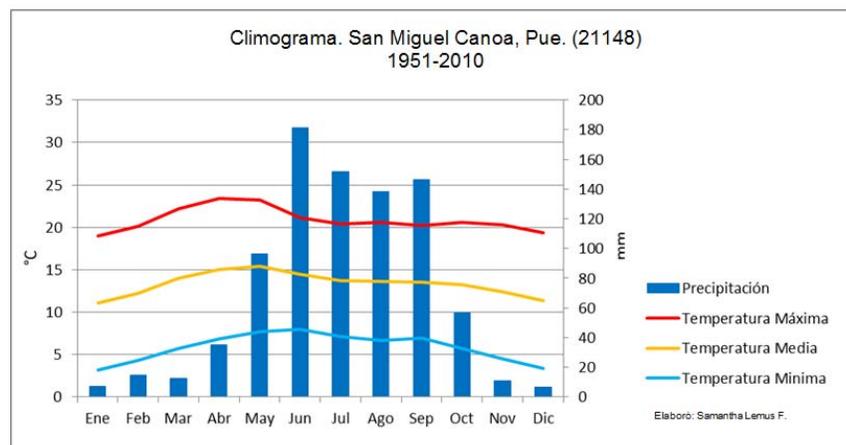
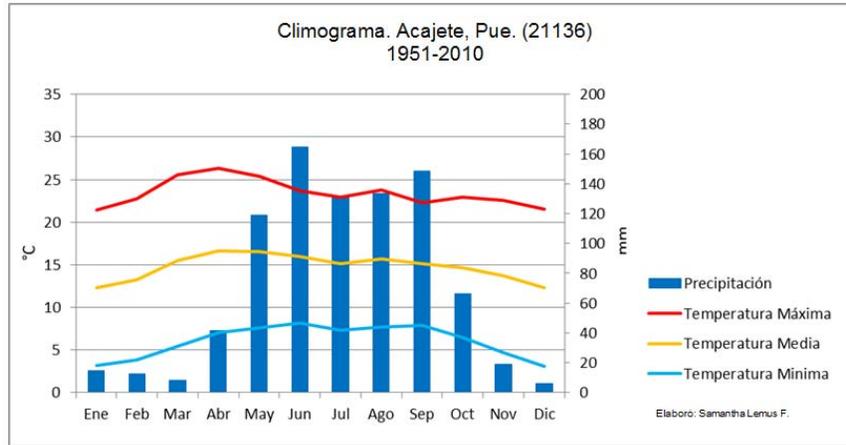
Yan, Z., & J., S. (2010). Atlanta's urban heat island under extreme heat conditions and potential mitigation strategies. *Natural Hazards*, (3), 639.

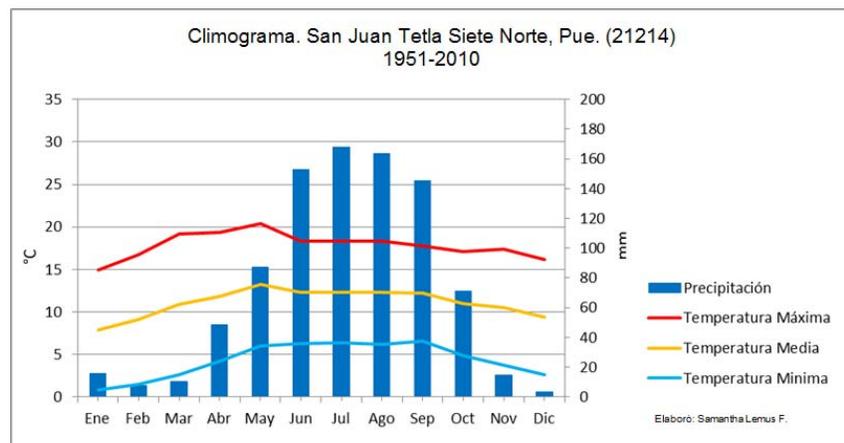
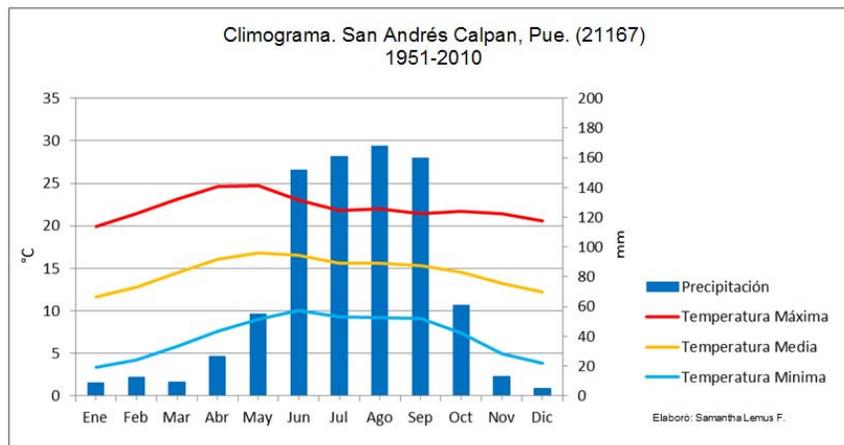
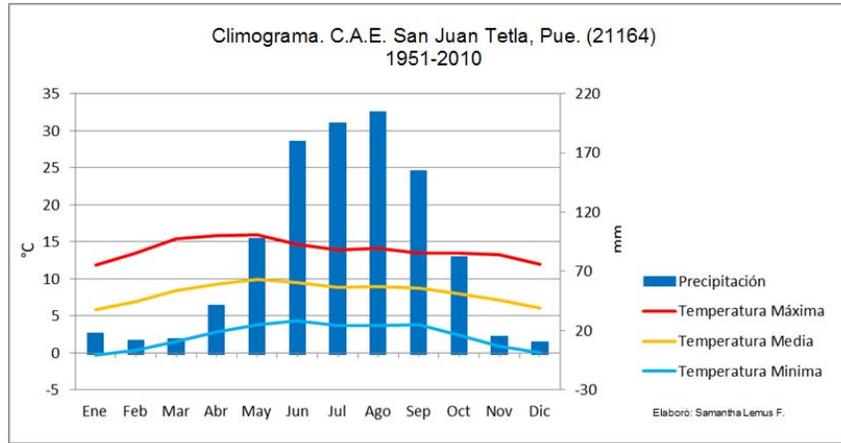
7 Anexos

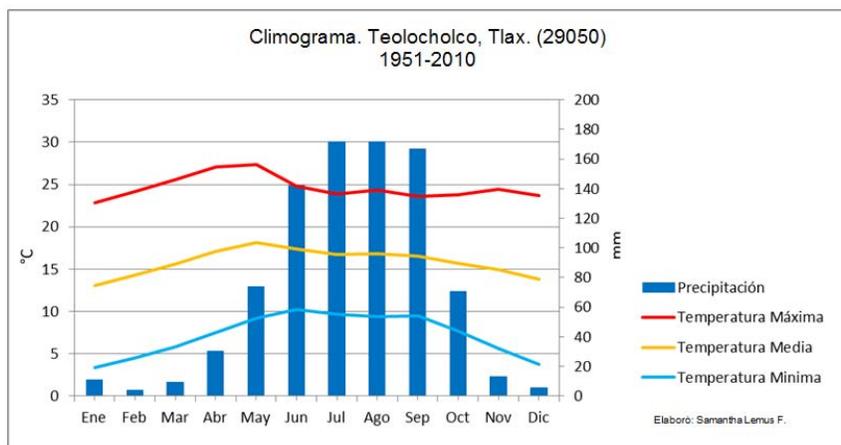
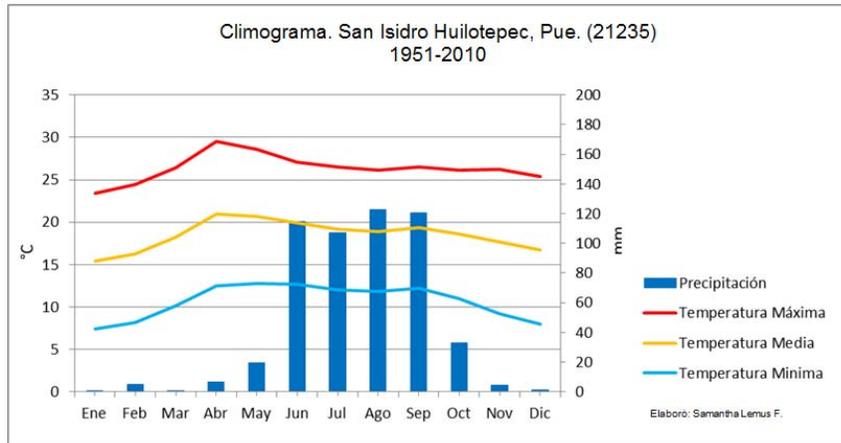
7.1 Climogramas





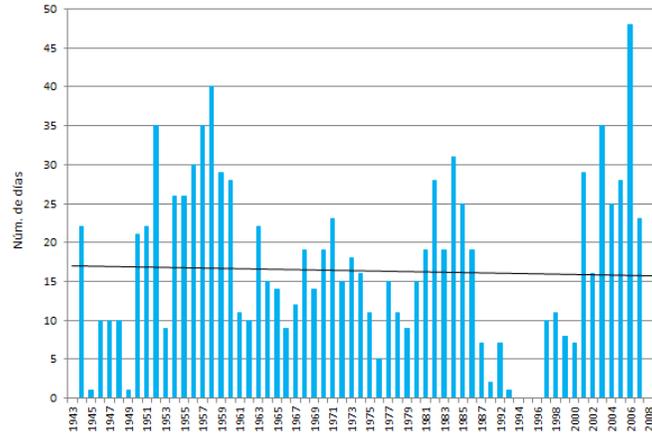




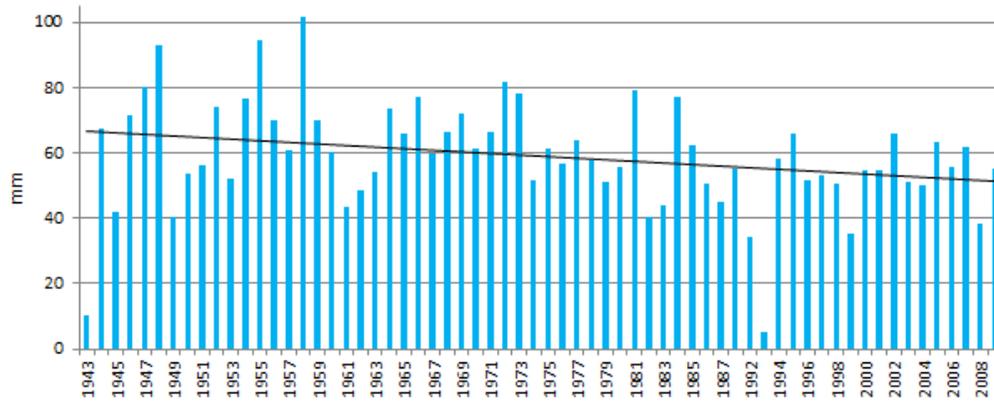


7.2 Gráficas de tendencia

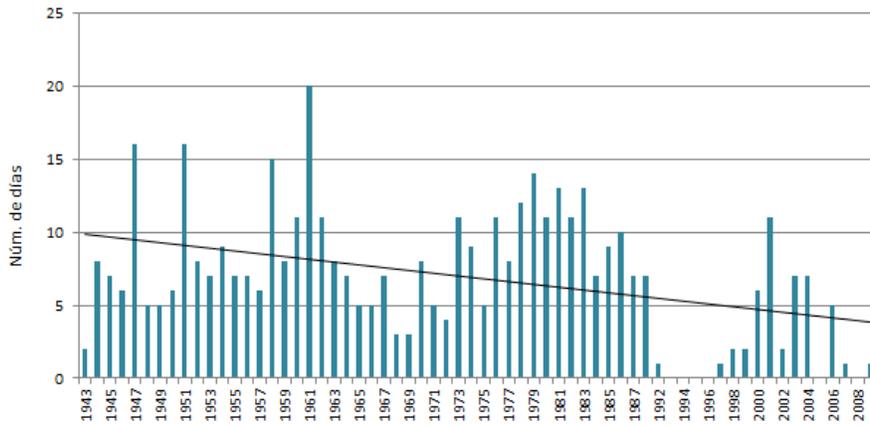
Días con tormenta, Balcon Diablo, Tzicatlacoyan. (21016)
1943-2013



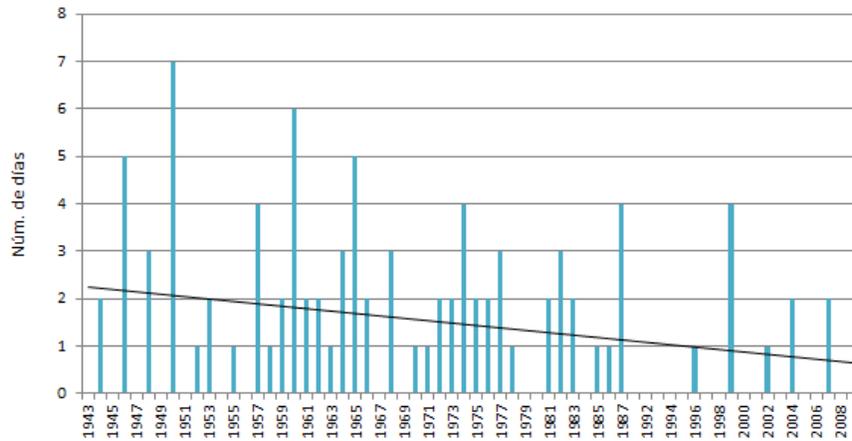
Gráfica de precipitación total, Balcon Diablo, Tzicatlacoyan
(21016) 1943-2013



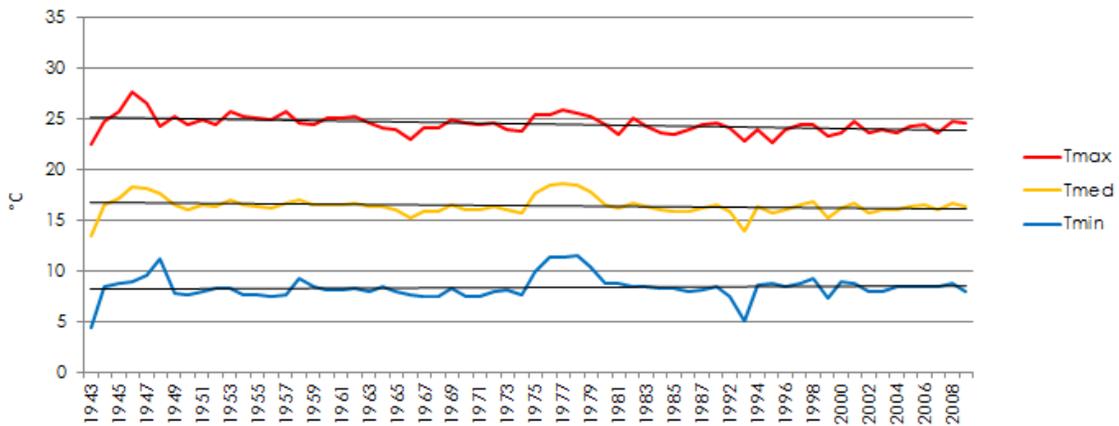
Días con niebla, Balcon Diablo, Tzicatlacoyan. (21016)
1943-2013



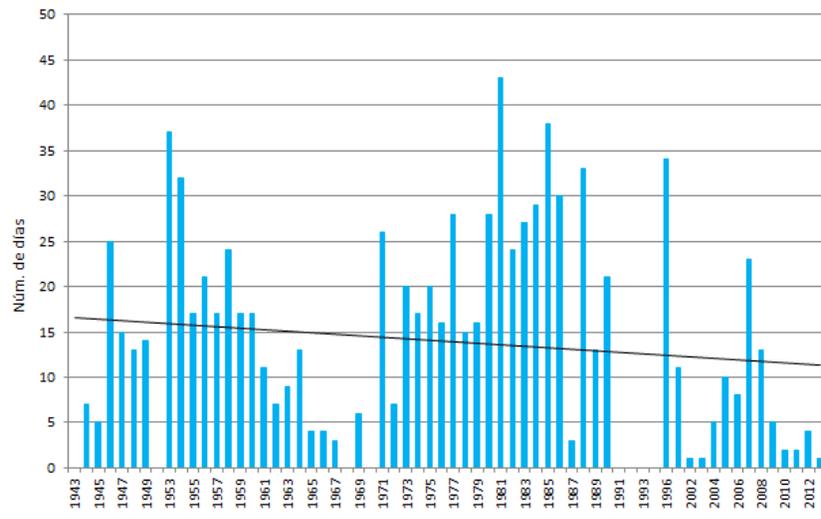
Días con granizo, Balcon Diablo, Tzicatlacoyan. (21016)
1943-2013



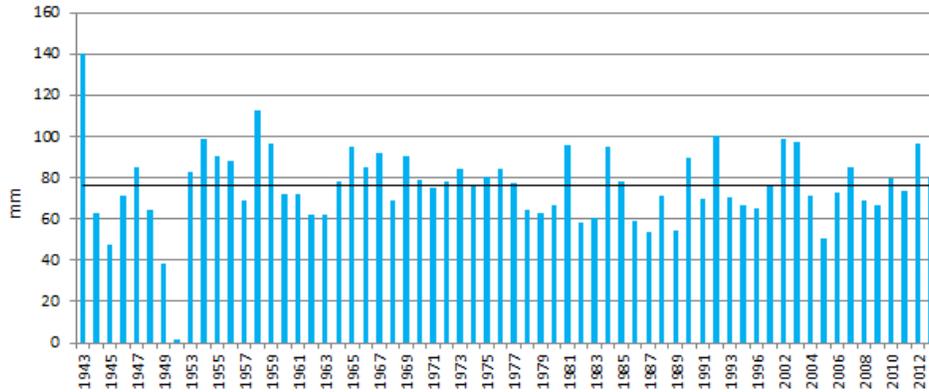
Gráfica de Tendencia de temperatura. Balcon Diablo, Tzicatlacoyan. (21016)
1943-2013



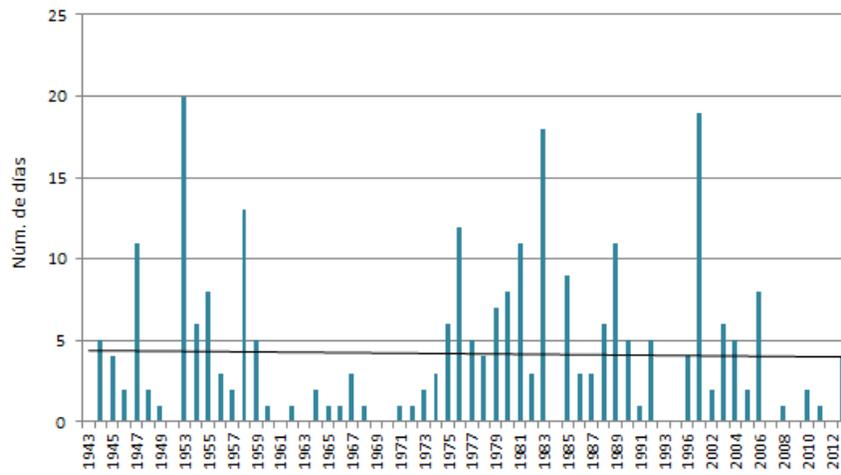
Días con tormenta, Echeverría, Pue. (21034)
1943-2013



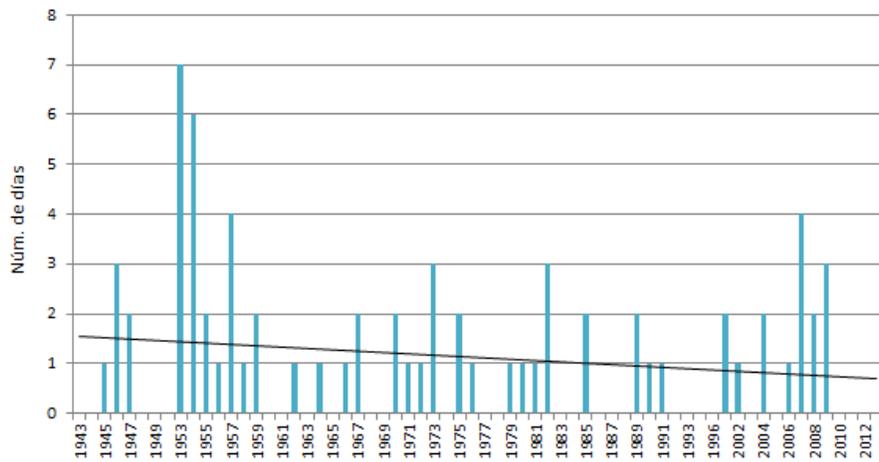
Gráfica de precipitación total. Echeverría, Pue.
(21034) 1943-2013



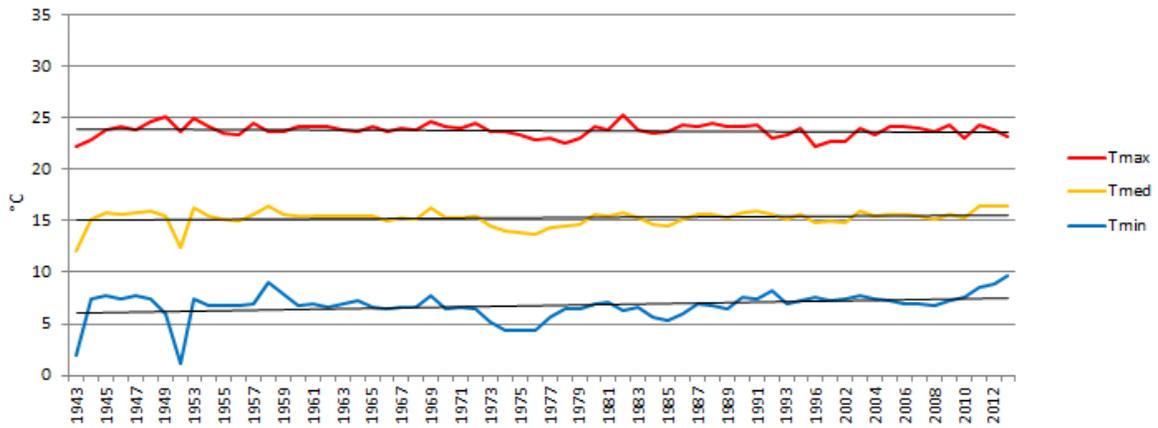
Días con niebla, Echeverría, Pue. (21034)
1943-2013



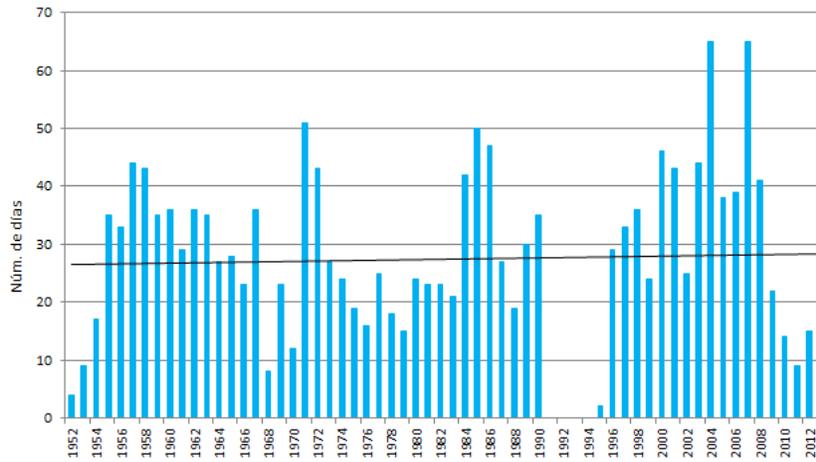
Días con granizo, Echeverría, Pue. (21034)
1943-2013



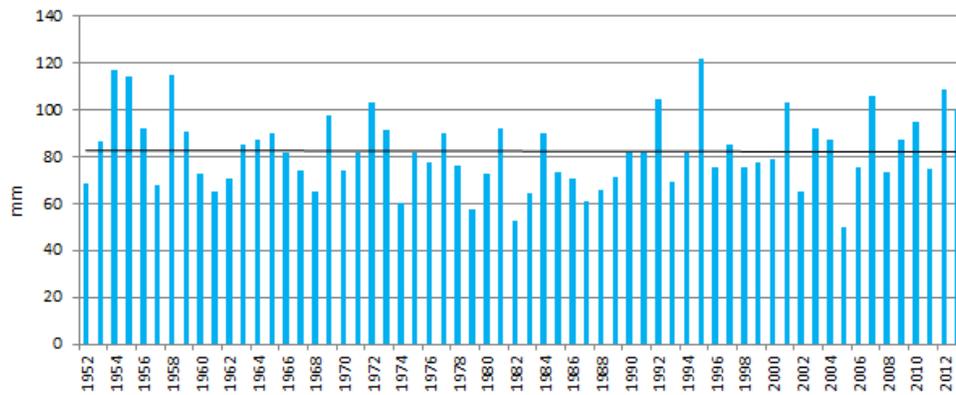
Gráfica de Tendencia de temperatura. Echeverría, Pue. (21034)
1943-2013



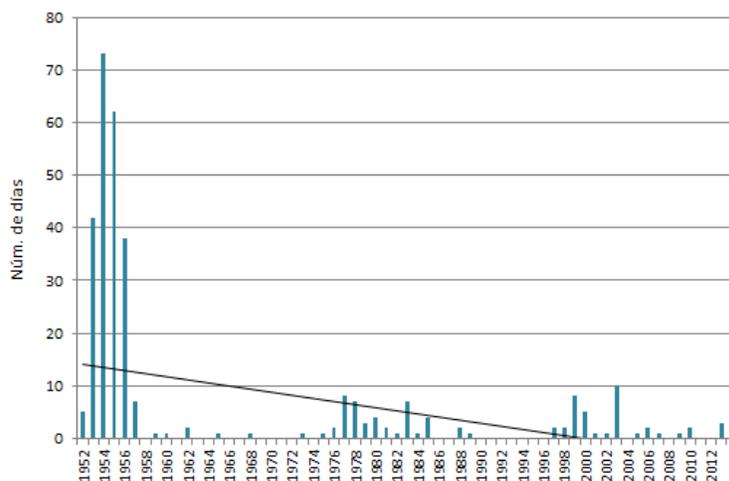
Días con tormenta, Puebla, Pue. (21035)
1952-2013



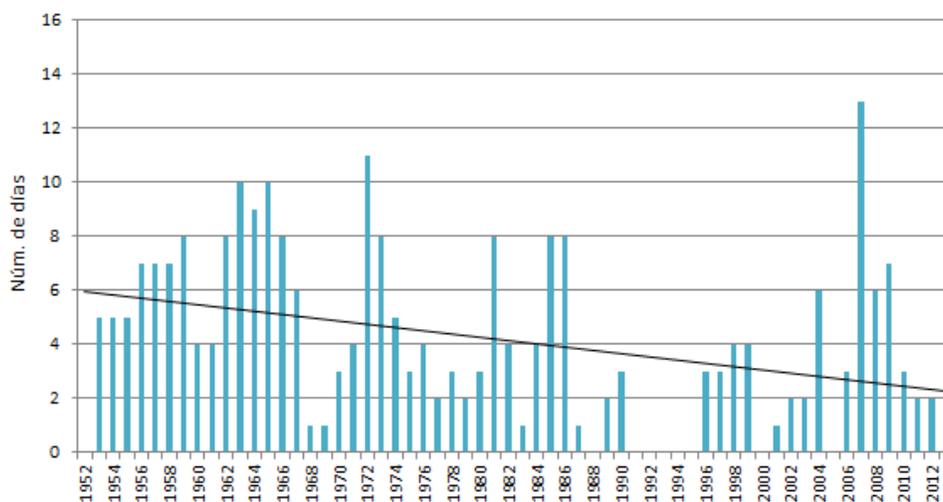
Gráfica de precipitación total. Puebla, Pue.
(21035) 1952-2013



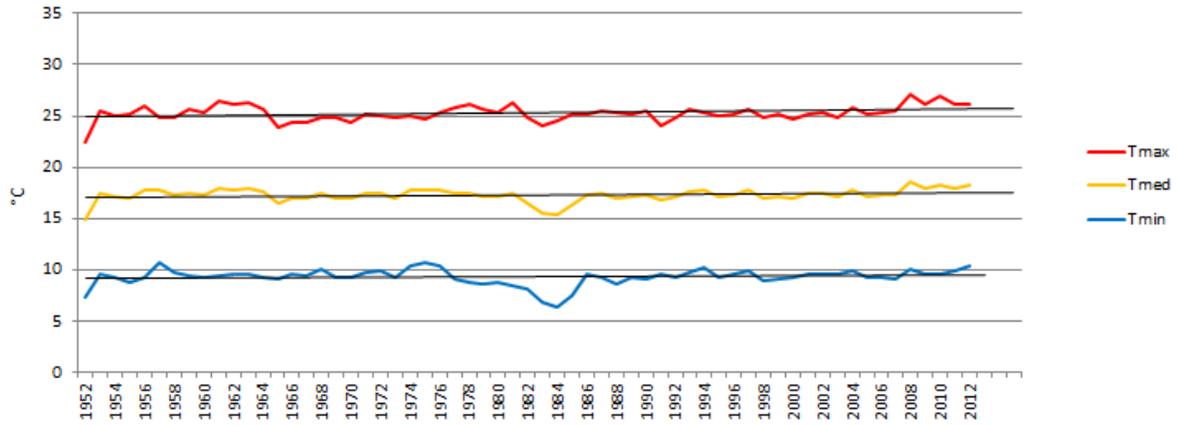
Días con niebla, Puebla, Pue. (21035)
1952-2013



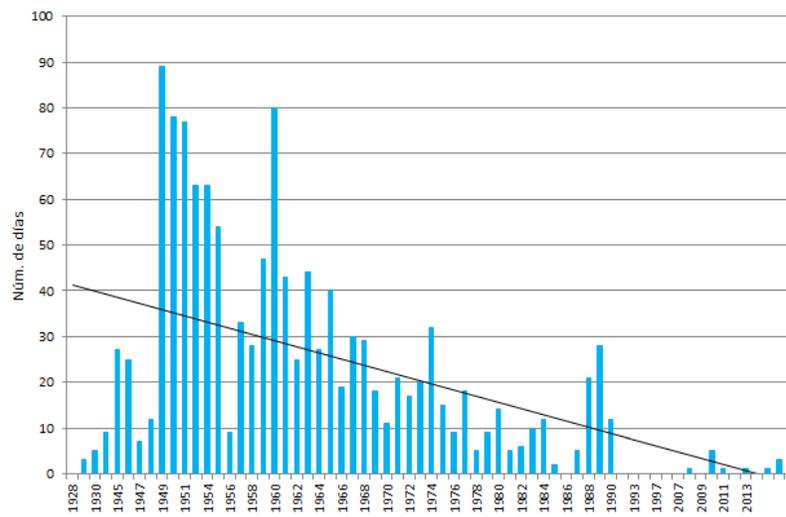
Días con granizo, Puebla, Pue. (21035)
1952-2013



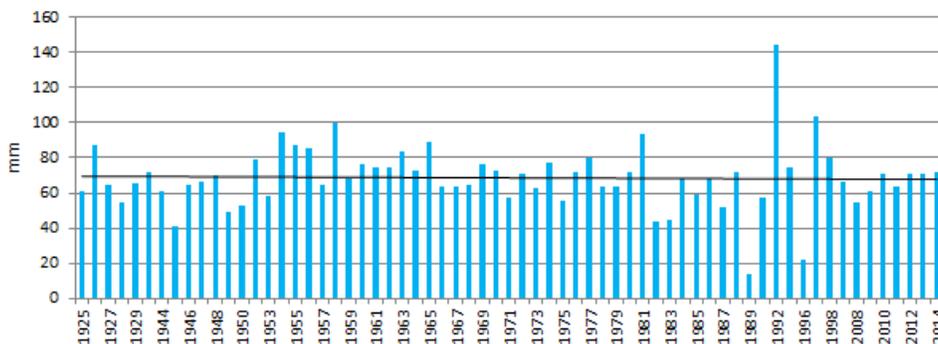
Gráfica de Tendencia de temperatura. Puebla, Pue. (21035)
1952-2013



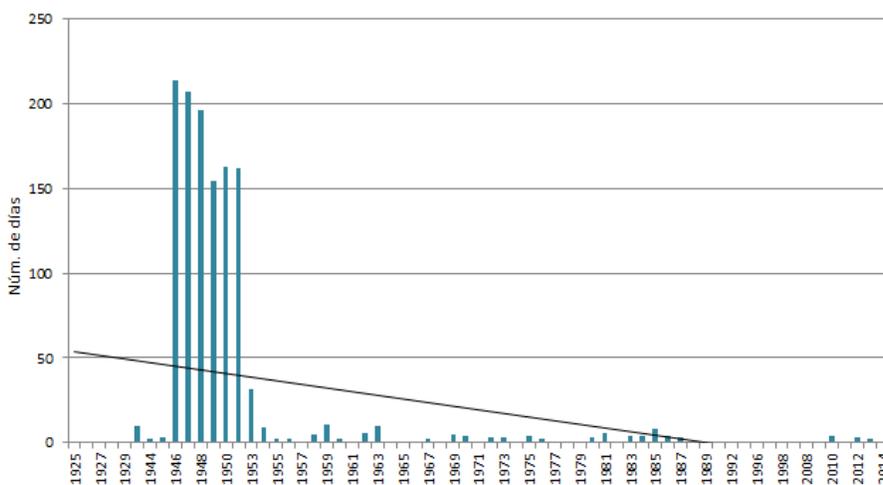
Días con tormenta, Hejotzingo, Huejotzingo. (21046)
1925-2013



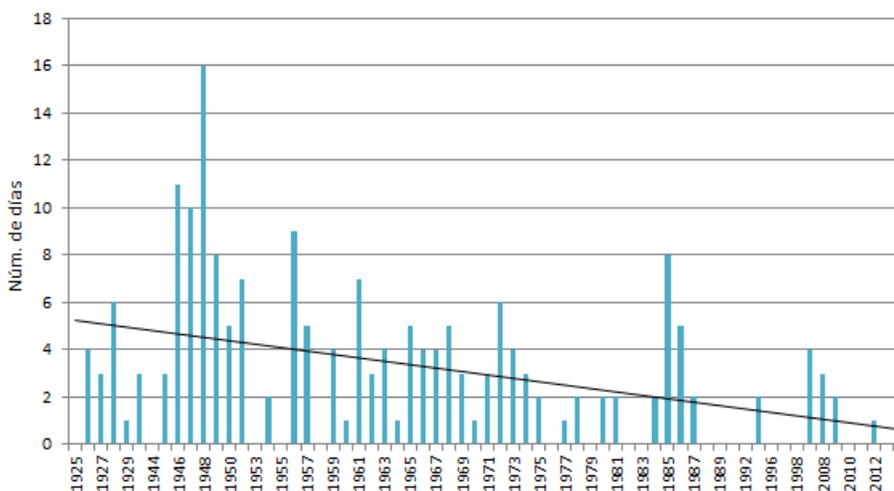
Gráfica de precipitación total. Hejotzingo, Huejotzingo. (21046) 1925-2013

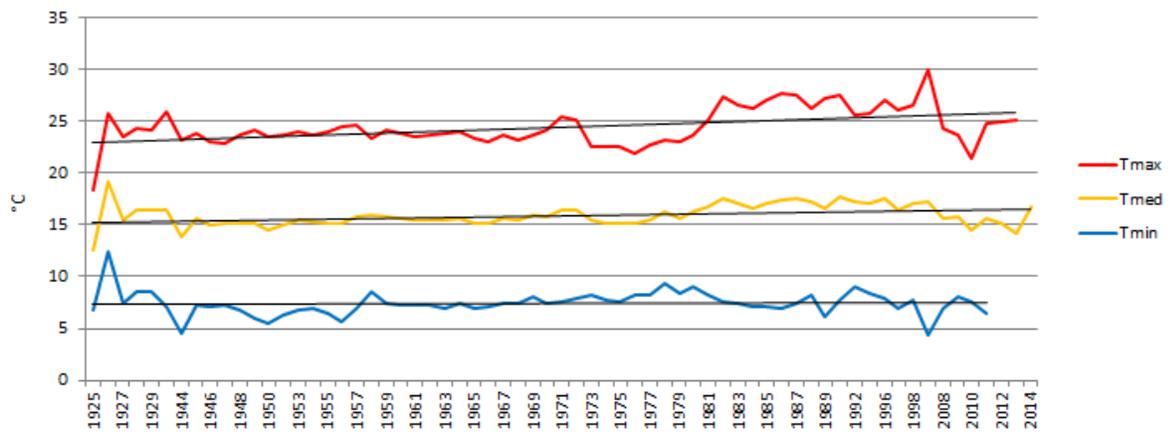


Días con niebla, Hejotzingo, Huejotzingo. (21046) 1925-2013

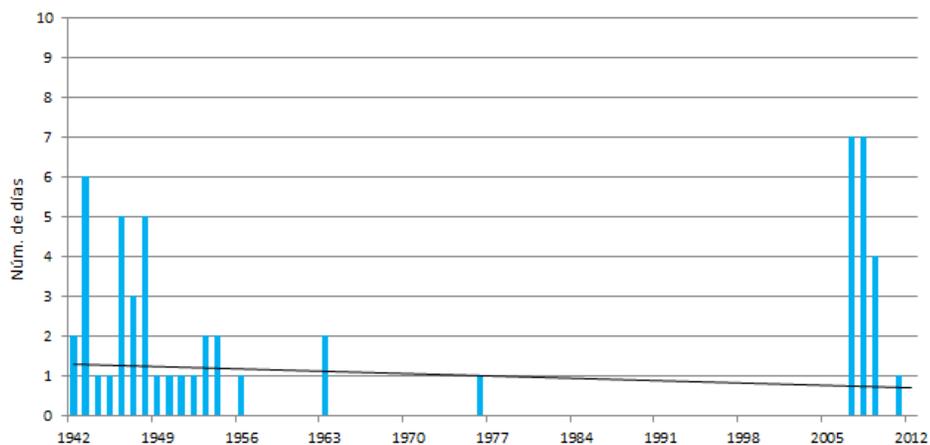


Días con granizo, Hejotzingo, Huejotzingo. (21046) 1925-2013

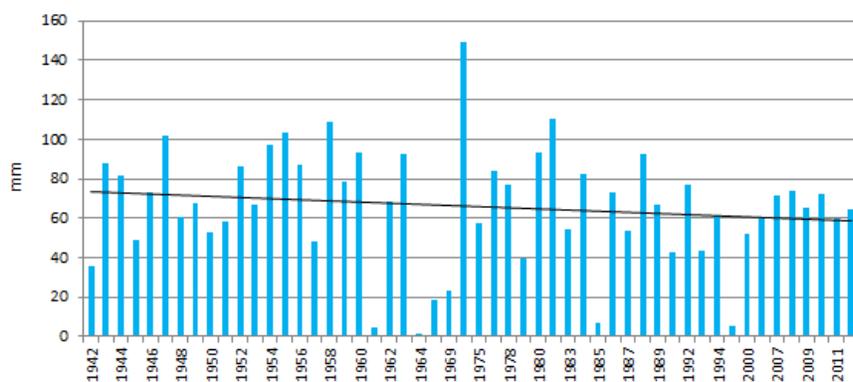


Gráfica de Tendencia de temperatura. Hejotzingo, Huejotzingo. (21046)
1925-2013

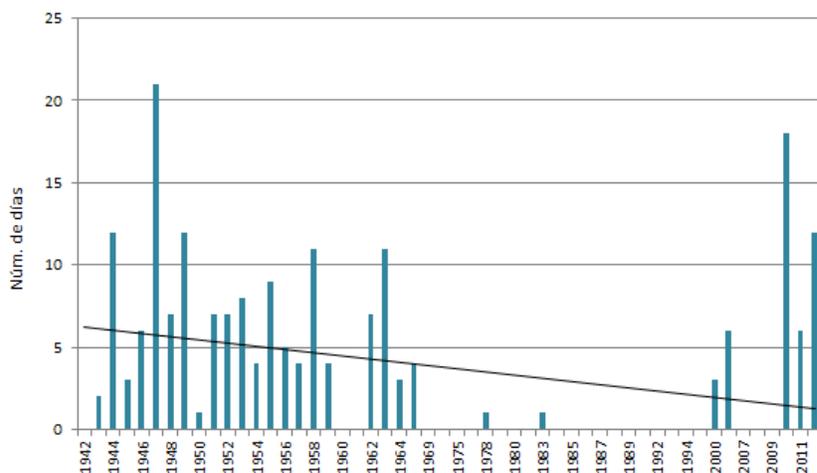
Días con tormenta, Acajete, Acajete. (21136)
1942-2013



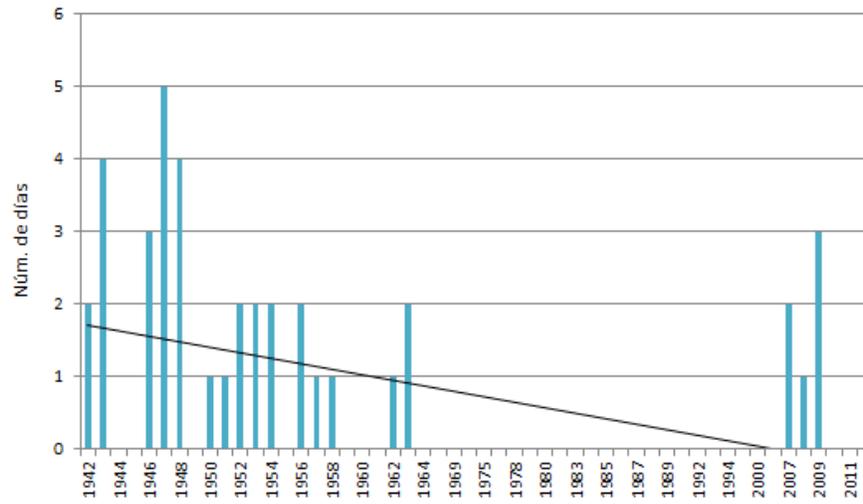
Gráfica de precipitación total. Acajete, Acajete.
(21136) 1942-2013



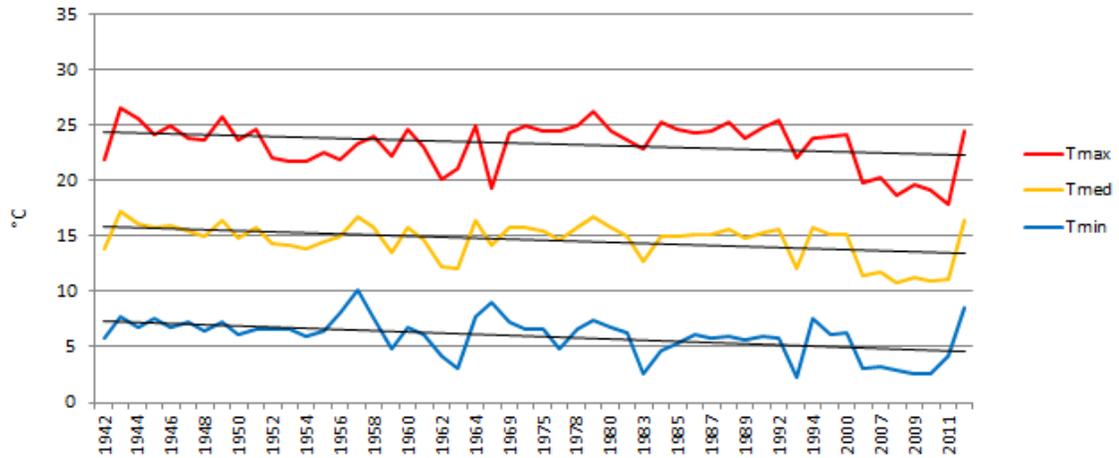
Días con niebla, Acajete, Acajete. (21136)
1942-2013



Días con granizo, Acajete, Acajete. (21136)
1942-2013



Gráfica de Tendencia de temperatura. Acajete, Acajete. (21136)
1942-2013



7.3 Tabla de resultados

Primavera

Vertical este

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 05:50 a.m. | 0 | 20.6 | 59.1 |
| 2 | 06:05 a.m. | 0 | 19.2 | 60.7 |
| 3 | 06:14 a.m. | 0 | 21.5 | 54.3 |
| 4 | 06:22 a.m. | 0 | 21.7 | 53.8 |
| 5 | 06:30 a.m. | 0.3 | 21.7 | 53 |
| 6 | 06:38 a.m. | 0 | 23.3 | 49.4 |
| 7 | 06:44 a.m. | 0.7 | 16.1 | 71.1 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 01:25 p.m. | 0.6 | 28.4 | 29 |
| 2 | 01:38 p.m. | 0.4 | 29.7 | 29.7 |
| 3 | 01:48 p.m. | 0 | 30.6 | 26.1 |
| 4 | 01:57 p.m. | 0.7 | 31.3 | 24.6 |
| 5 | 02:05 p.m. | 2 | 28.6 | 25.9 |
| 6 | 02:15 p.m. | 0 | 30.6 | 25.7 |
| 7 | 02:27 p.m. | 1.1 | 28.7 | 27.3 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 08:06 p.m. | 1 | 26 | 26.9 |
| 2 | 08:19 p.m. | 0.7 | 25.2 | 28.6 |
| 3 | 08:27 p.m. | 0.6 | 26.8 | 26.7 |
| 4 | 08:34 p.m. | 0.6 | 26.4 | 27 |

| | | | | |
|---|------------|-----|------|------|
| 5 | 08:44 p.m. | 0.6 | 25.9 | 27 |
| 6 | 08:50 p.m. | 0 | 26.8 | 27.6 |
| 7 | 08:58 p.m. | 0 | 24.3 | 31.1 |

Vertical oeste

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 06:31 a.m. | 0 | 25.6 | 45.4 |
| 2 | 06:37 a.m. | 0 | 20 | 58.1 |
| 3 | 06:48 a.m. | 0 | 22.4 | 53 |
| 4 | 07:00 a.m. | 0 | 23.6 | 49 |
| 5 | 07:05 a.m. | 0 | 22.7 | 54.3 |
| 6 | 07:19 a.m. | 0 | 22.4 | 53.7 |
| 7 | 07:27 a.m. | 0 | 20.9 | 55.4 |
| 8 | 07:32 a.m. | 0 | 19.8 | 61.7 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 01:35 p.m. | 0 | 29.6 | 26.8 |
| 2 | 01:45 p.m. | 0 | 29.3 | 24.1 |
| 3 | 01:52 p.m. | 0 | 28.6 | 27.6 |
| 4 | 02:04 p.m. | 0 | 30.6 | 24.7 |
| 5 | 02:11 p.m. | 1.2 | 29.8 | 24.7 |
| 6 | 02:27 p.m. | 1.1 | 29.3 | 25.4 |
| 7 | 02:39 p.m. | 1.8 | 29.8 | 23.7 |
| 8 | 02:53 p.m. | 0 | 32.4 | 21.4 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 08:10 p.m. | 0 | 26.4 | 27.3 |
| 2 | 08:16 p.m. | 0 | 27.2 | 26.5 |
| 3 | 08:23 p.m. | 0 | 26.1 | 28.9 |
| 4 | 08:30 p.m. | 0 | 27.2 | 25.8 |
| 5 | 08:36 p.m. | 0 | 27 | 26.7 |
| 6 | 08:45 p.m. | 0 | 27.1 | 26.5 |
| 7 | 08:53 p.m. | 0 | 27.2 | 27.4 |
| 8 | 08:59 p.m. | 0 | 26.2 | 28 |

Horizontal norte

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 08:05 a.m. | 0 | 20.2 | 49.9 |
| 2 | 08:14 a.m. | 0.8 | 17.1 | 62 |
| 3 | 08:23 a.m. | 1.5 | 19.4 | 55.3 |
| 4 | 08:29 a.m. | 0 | 21.9 | 57.6 |
| 5 | 08:38 a.m. | 0 | 22.5 | 52.1 |
| 6 | 08:46 a.m. | 0 | 23 | 47.9 |
| 7 | 08:52 a.m. | 0 | 21.6 | 55.3 |
| 8 | 09:00 a.m. | 0 | 25.5 | 44.3 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 03:33 p.m. | 0.8 | 31.8 | 19.6 |
| 2 | 03:39 p.m. | 0.4 | 29.1 | 22 |
| 3 | 03:48 p.m. | 0.6 | 31.2 | 19.9 |
| 4 | 03:56 p.m. | 2.1 | 27.9 | 24.5 |
| 5 | 04:06 p.m. | 0 | 30.3 | 24 |

| | | | | |
|---|------------|-----|------|------|
| 6 | 04:16 p.m. | 1.1 | 29 | 21.7 |
| 7 | 04:22 p.m. | 0.6 | 32.7 | 22 |
| 8 | 04:30 p.m. | 0 | 31.7 | 22 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 09:27 p.m. | 0 | 25.7 | 28.6 |
| 2 | 09:33 p.m. | 0 | 26.2 | 28.3 |
| 3 | 09:41 p.m. | 0 | 24.2 | 32.4 |
| 4 | 09:46 p.m. | 0 | 25.6 | 27.9 |
| 5 | 09:55 p.m. | 0.3 | 24.1 | 29.8 |
| 6 | 10:04 p.m. | 0.8 | 23.6 | 30.8 |
| 7 | 10:10 p.m. | 0 | 25 | 29.4 |
| 8 | 10:17 p.m. | 0 | 25 | 30.4 |

Horizontal sur

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 06:57 a.m. | 0 | 18.8 | 62.7 |
| 2 | 07:02 a.m. | 0 | 18.5 | 66.7 |
| 3 | 07:07 a.m. | 0 | 19.2 | 63.6 |
| 4 | 07:18 a.m. | 0 | 21.7 | 57.8 |
| 5 | 07:27 a.m. | 0 | 21.3 | 56.4 |
| 6 | 07:33 a.m. | 0 | 22.9 | 52.1 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 02:39 p.m. | 0.7 | 29 | 27 |
| 2 | 02:46 p.m. | 1.2 | 29 | 25.2 |
| 3 | 02:52 p.m. | 0 | 32 | 23.3 |

| | | | | |
|---|------------|-----|------|------|
| 4 | 03:04 p.m. | 0.6 | 31 | 24.4 |
| 5 | 03:15 p.m. | 1 | 30 | 24.2 |
| 6 | 03:25 p.m. | 1.6 | 28.3 | 25.6 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 09:10 p.m. | 0 | 24.1 | 32.6 |
| 2 | 09:18 p.m. | 0.8 | 23.7 | 32 |
| 3 | 09:24 p.m. | 0 | 25 | 30.4 |
| 4 | 09:34 p.m. | 0 | 26.1 | 29.2 |
| 5 | 09:44 p.m. | 0 | 26.4 | 28.3 |
| 6 | 09:51 p.m. | 0 | 25.6 | 30.8 |

Verano

Vertical este

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 05:55 a.m. | 0.5 | 14 | 75.1 |
| 2 | 06:02 a.m. | 0.5 | 15.8 | 60.6 |
| 3 | 06:09 a.m. | 0 | 20.8 | 52.1 |
| 4 | 06:16 a.m. | 0 | 17.2 | 61.7 |
| 5 | 06:29 a.m. | 0 | 17.5 | 56.6 |
| 6 | 06:36 a.m. | 0 | 20.1 | 53 |
| 7 | 06:44 a.m. | 0.6 | 16.5 | 64.1 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 01:53 p.m. | 0.7 | 27 | 32.8 |
| 2 | 02:07 p.m. | 0.8 | 30.2 | 27.4 |
| 3 | 02:16 p.m. | 1 | 30.8 | 25.8 |

| | | | | |
|---|------------|---|------|------|
| 4 | 02:25 p.m. | 0 | 28.2 | 29.1 |
| 5 | 02:35 p.m. | 1 | 28.1 | 29.9 |
| 6 | 02:43 p.m. | 0 | 29.6 | 30.7 |
| 7 | 02:51 p.m. | 0 | 30.4 | 27.6 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 07:15 p.m. | 0 | 27.6 | 33.5 |
| 2 | 07:23 p.m. | 0 | 28.5 | 28.9 |
| 3 | 07:32 p.m. | 0.7 | 27.6 | 31.5 |
| 4 | 07:39 p.m. | 0 | 27.6 | 30.9 |
| 5 | 07:50 p.m. | 0.5 | 25 | 38 |
| 6 | 07:59 p.m. | 0 | 26.7 | 34 |
| 7 | 08:05 p.m. | 1 | 26.2 | 35.4 |

Vertical oeste

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 06:36 a.m. | 0 | 13.8 | 74.3 |
| 2 | 06:44 a.m. | 0 | 13.4 | 77.9 |
| 3 | 06:54 a.m. | 0 | 14.6 | 72.7 |
| 4 | 07:07 a.m. | 0.5 | 14.1 | 73.1 |
| 5 | 07:14 a.m. | 0 | 14.4 | 75.4 |
| 6 | 07:24 a.m. | 0 | 16.7 | 69.5 |
| 7 | 07:32 a.m. | 0 | 16 | 71.5 |
| 8 | 07:38 a.m. | 2.1 | 15.2 | 70.7 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 02:19 p.m. | 1.8 | 28.5 | 31.6 |

| | | | | |
|---|------------|-----|------|------|
| 2 | 02:26 p.m. | 0 | 28.1 | 31.4 |
| 3 | 02:34 p.m. | 1.1 | 26.9 | 31.1 |
| 4 | 02:48 p.m. | 1.5 | 28.4 | 27.2 |
| 5 | 02:55 p.m. | 0.3 | 32 | 25.6 |
| 6 | 03:06 p.m. | 1.9 | 28.9 | 26.2 |
| 7 | 03:15 p.m. | 0 | 28 | 28.9 |
| 8 | 03:23 p.m. | 1.2 | 30.7 | 27.2 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 07:41 p.m. | 3.4 | 22.5 | 44.9 |
| 2 | 07:46 p.m. | 1.3 | 22.2 | 49.3 |
| 3 | 07:52 p.m. | 0.7 | 22.9 | 51.1 |
| 4 | 08:05 p.m. | 3 | 21.4 | 51.7 |
| 5 | 08:12 p.m. | 1.1 | 21.7 | 54.5 |
| 6 | 08:19 p.m. | 1.6 | 22.3 | 49.5 |
| 7 | 08:28 p.m. | 1.4 | 22.7 | 48.4 |
| 8 | 08:37 p.m. | 0 | 24.3 | 45.3 |

Horizontal norte

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 08:01 a.m. | 0 | 17.9 | 71.3 |
| 2 | 08:07 a.m. | 0 | 14.2 | 74.7 |
| 3 | 08:16 a.m. | 1.3 | 15 | 72.4 |
| 4 | 08:25 a.m. | 0.6 | 14.9 | 74.2 |
| 5 | 08:34 a.m. | 0 | 17.9 | 51.6 |
| 6 | 08:44 a.m. | 1.1 | 16.5 | 54.6 |
| 7 | 08:50 a.m. | 1.3 | 17.4 | 48 |
| 8 | 09:00 a.m. | 0 | 20.5 | 43 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 03:47 p.m. | 0 | 30.5 | 29.5 |
| 2 | 03:55 p.m. | 2.1 | 29.4 | 25.7 |
| 3 | 04:05 p.m. | 1.8 | 29.1 | 27 |
| 4 | 04:13 p.m. | 1.9 | 28.3 | 26.8 |
| 5 | 04:21 p.m. | 0 | 30.6 | 25.5 |
| 6 | 04:32 p.m. | 2.2 | 29.1 | 27.1 |
| 7 | 04:38 p.m. | 2.1 | 28.2 | 28.3 |
| 8 | 04:47 p.m. | 0 | 30.4 | 27.6 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 09:00 p.m. | 0 | 20.7 | 61.1 |
| 2 | 09:08 p.m. | 0 | 22.6 | 54.5 |
| 3 | 09:17 p.m. | 0 | 20 | 67.7 |
| 4 | 09:22 p.m. | 0 | 20.5 | 62.1 |
| 5 | 09:28 p.m. | 0 | 21.8 | 64.7 |
| 6 | 09:39 p.m. | 2 | 19.3 | 72.5 |
| 7 | 09:45 p.m. | 0 | 20.1 | 64.9 |
| 8 | 09:52 p.m. | 1.1 | 20 | 65.3 |

Horizontal sur

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 06:57 a.m. | 0.6 | 16.5 | 69.3 |
| 2 | 07:03 a.m. | 0.8 | 14.9 | 73.2 |
| 3 | 07:08 a.m. | 0 | 17.8 | 63.8 |
| 4 | 07:18 a.m. | 0 | 18.2 | 63.3 |
| 5 | 07:27 a.m. | 0 | 20.3 | 52.4 |
| 6 | 07:35 a.m. | 0 | 20.1 | 50.6 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 03:08 p.m. | 0.4 | 29.4 | 27.9 |
| 2 | 03:13 p.m. | 1.3 | 29.5 | 28.7 |
| 3 | 03:19 p.m. | 0 | 31.8 | 26.4 |
| 4 | 03:32 p.m. | 0.3 | 31.4 | 26.7 |
| 5 | 03:41 p.m. | 0 | 29.5 | 30 |
| 6 | 03:51 p.m. | 0 | 33.3 | 25.8 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 08:19 p.m. | 1.3 | 24.1 | 44.5 |
| 2 | 08:24 p.m. | 0.8 | 23.3 | 47.4 |
| 3 | 08:29 p.m. | 0.4 | 23.4 | 48.9 |
| 4 | 08:38 p.m. | 0 | 24.1 | 50.7 |
| 5 | 08:47 p.m. | 0 | 24.3 | 57.4 |
| 6 | 08:55 p.m. | 0 | 22.1 | 59.6 |

Invierno

Vertical este

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 06:03 a.m. | 1.8 | 4.8 | 55.7 |
| 2 | 06:06 a.m. | 1.6 | 5.3 | 60.9 |
| 3 | 06:12 a.m. | 0 | 10.1 | 56.1 |
| 4 | 06:23 a.m. | 1.7 | 8.4 | 61.7 |
| 5 | 06:33 a.m. | 0 | 8.7 | 66.6 |
| 6 | 06:39 a.m. | 0 | 10.3 | 63.2 |
| 7 | 06:49 a.m. | 1.3 | 6.3 | 68.8 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 02:08p.m. | 1.4 | 18.3 | 62.8 |
| 2 | 02:12 p.m. | 0 | 21.7 | 60.7 |
| 3 | 02:21 p.m. | 1.2 | 20.8 | 59.9 |
| 4 | 02:34 p.m. | 0 | 21.3 | 59.1 |
| 5 | 02:38p.m. | 0 | 22.4 | 57.6 |
| 6 | 02:46 p.m. | 1.7 | 22.2 | 57.4 |
| 7 | 02:58 p.m. | 1.6 | 22.1 | 65.8 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 07:08 p.m. | 0.6 | 21.5 | 58.4 |
| 2 | 07:18 p.m. | 0 | 22.8 | 55.4 |
| 3 | 07:27 p.m. | 1.6 | 21.5 | 54.4 |
| 4 | 07:42 p.m. | 0 | 21.7 | 63.5 |
| 5 | 07:57 p.m. | 1.9 | 19.4 | 61.5 |
| 6 | 08:06 p.m. | 0.5 | 20.5 | 60.9 |
| 7 | 08:15 p.m. | 1 | 20.4 | 58.9 |

Vertical oeste

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 06:13 a.m. | 0 | 6.4 | 54.3 |
| 2 | 06:28 a.m. | 2.3 | 6.3 | 57.9 |
| 3 | 06:32 a.m. | 0 | 7.9 | 62.7 |
| 4 | 06:49 a.m. | 0.5 | 7.4 | 63.1 |
| 5 | 07:03 a.m. | 0 | 7.3 | 55.4 |
| 6 | 07:09 a.m. | 0 | 9.6 | 49.5 |
| 7 | 07:16 a.m. | 0 | 9.1 | 51.5 |

| | | | | |
|---|------------|-----|-----|------|
| 8 | 07:27 a.m. | 1.6 | 8.4 | 50.7 |
|---|------------|-----|-----|------|

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 02:04 p.m. | 1.3 | 20.1 | 41.6 |
| 2 | 02:13 p.m. | 0 | 20.5 | 43.4 |
| 3 | 02:25 p.m. | 1.6 | 18.3 | 41.1 |
| 4 | 02:37 p.m. | 1.5 | 20.6 | 58.9 |
| 5 | 02:45 p.m. | 0.8 | 22.3 | 57.2 |
| 6 | 03:02 p.m. | 1.2 | 20.3 | 57.2 |
| 7 | 03:18 p.m. | 0 | 20.2 | 56.2 |
| 8 | 03:28 p.m. | 1.2 | 21.5 | 55.6 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 07:22 p.m. | 4.3 | 20.6 | 54.9 |
| 2 | 07:29 p.m. | 2.3 | 20.7 | 55.3 |
| 3 | 07:36 p.m. | 1.6 | 20.5 | 68.4 |
| 4 | 07:42 p.m. | 4.6 | 19.4 | 69.3 |
| 5 | 07:56 p.m. | 1.1 | 19.4 | 69.5 |
| 6 | 08:07 p.m. | 1.8 | 20.5 | 71.1 |
| 7 | 08:15 p.m. | 0.2 | 20.6 | 61.7 |
| 8 | 08:31 p.m. | 0.7 | 21.4 | 64.5 |

Horizontal norte

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 08:06 a.m. | 0 | 9.1 | 64.7 |
| 2 | 08:09 a.m. | 0.8 | 5.2 | 62.8 |
| 3 | 08:19 a.m. | 2.4 | 6.2 | 64.3 |
| 4 | 08:22 a.m. | 0.8 | 5.2 | 72.1 |
| 5 | 08:35 a.m. | 0 | 8.8 | 51.6 |
| 6 | 08:41 a.m. | 2.1 | 7.6 | 55.6 |
| 7 | 08:47 a.m. | 2.5 | 8.3 | 46 |
| 8 | 08:58 a.m. | 0 | 10.5 | 43.2 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 03:13 p.m. | 0 | 21.5 | 55.5 |
| 2 | 03:25 p.m. | 3.1 | 19.4 | 55.7 |
| 3 | 04:31 p.m. | 2.8 | 19.5 | 46.8 |
| 4 | 04:38 p.m. | 1.9 | 18.3 | 55.7 |
| 5 | 04:43 p.m. | 0 | 21.8 | 57.1 |
| 6 | 04:47 p.m. | 1.2 | 19.5 | 67.6 |
| 7 | 04:52 p.m. | 1.1 | 18.2 | 58.3 |
| 8 | 05:02 p.m. | 0 | 21.4 | 59.5 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 09:06 p.m. | 0 | 20.7 | 672.5 |
| 2 | 09:13 p.m. | 0 | 22.6 | 57.7 |
| 3 | 09:18 p.m. | 0.4 | 20.3 | 55.3 |
| 4 | 09:26 p.m. | 0 | 20.5 | 54.9 |
| 5 | 09:29 p.m. | 0 | 21.9 | 54.7 |
| 6 | 09:34 p.m. | 3.6 | 19.8 | 62.1 |

| | | | | |
|---|------------|-----|------|------|
| 7 | 09:37 p.m. | 0.3 | 20.7 | 61.1 |
| 8 | 09:48 p.m. | 2.5 | 20.4 | 54.5 |

Horizontal sur

Mañana

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 07:04 a.m. | 1.7 | 5.5 | 49.2 |
| 2 | 07:07 a.m. | 1.3 | 4.3 | 53.1 |
| 3 | 07:16 a.m. | 0 | 7.4 | 55.1 |
| 4 | 07:19 a.m. | 0 | 9.4 | 62.8 |
| 5 | 07:24 a.m. | 1.2 | 10.6 | 63.7 |
| 6 | 07:37 a.m. | 0 | 10.4 | 63.9 |

Tarde

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 03:02 p.m. | 1.3 | 18.6 | 54.7 |
| 2 | 03:07 p.m. | 2.7 | 18.4 | 58.7 |
| 3 | 03:11 p.m. | 0 | 20.5 | 57.9 |
| 4 | 03:18 p.m. | 1.7 | 20.3 | 66.7 |
| 5 | 03:25 p.m. | 0.5 | 18.5 | 66.4 |
| 6 | 03:37 p.m. | 0.2 | 22.5 | 65.8 |

Noche

| Punto | Hora | Velocidad del viento | Temperatura | Humedad relativa. |
|-------|------------|----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 08:03 p.m. | 2.4 | 21.6 | 64.5 |
| 2 | 08:13 p.m. | 0.8 | 20.4 | 57.4 |
| 3 | 08:26 p.m. | 0.7 | 20.6 | 58.9 |
| 4 | 08:33 p.m. | 0.3 | 21.7 | 60.7 |
| 5 | 08:45 p.m. | 0 | 21.5 | 57.4 |
| 6 | 08:52 p.m. | 0.1 | 18.4 | 53.2 |