



Universidad Nacional Autónoma de México

Programa de Maestría y Doctorado en Urbanismo
Campo de conocimiento: Economía, Política y Ambiente

**Áreas Verdes Urbanas:
Una Alternativa Para Mitigar la Isla de Calor en la
Ciudad de Puebla**

TESIS

Que para optar por el grado de:

Maestra en Urbanismo

Presenta:

María del Carmen Tzoni Barranco

Tutor:

Mtro. Enrique Díaz Mora Instituto de Ingeniería

México D.F. Octubre 2015



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.

**Áreas Verdes Urbanas: Una Alternativa para Mitigar la Isla
de Calor en la Ciudad de Puebla**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

Maestra en Urbanismo

Presenta:

María del Carmen Tzoni Barranco

Tutor:

Mtro. Enrique Díaz Mora

Instituto de Ingeniería

Programa de Maestría y Doctorado en Urbanismo

2015

Director de Tesis:

Mtro. Enrique Díaz Mora

Sinodales

Mtra. Lucia Constanza Ibarra Cruz

Mtra. Florian Rosa Martínez Perdomo

Mtro. Irigoyen Castillo Jaime Francisco

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que a través de su programa de becas exhorta, impulsa y fortalece el desarrollo científico del país; el presente trabajo no hubiera sido posible sin su apoyo.

Al posgrado en Urbanismo por darme la capacidad de desarrollar nuevas habilidades para mi crecimiento profesional y humano.

A mi tutor y sinodales por guiar el desarrollo de este trabajo, y que con sus valiosos comentarios y consejos enriquecieron esta investigación.

A Mónica Edith Monroy y Miguel Coax del Instituto Municipal de Planeación de Puebla por considerar este trabajo en el proyecto de inventario de áreas verdes para el municipio de Puebla.

A Mtro. Samuel Ortigoza Limón por su apoyo en el procesamiento estadístico de los datos.

A mi familia y amigos por sus palabras de aliento y por creer en mí.

Contenido

Introducción	6
Capítulo I. La isla de calor y las áreas verdes. Conceptos básicos	10
1.1 Balance energético de la ciudad	10
1.2 ¿Qué es una isla de calor?.....	11
1.2.1 La isla de calor: tipos	13
1.3 Causas y consecuencias de las islas de calor.....	14
1.4 Las áreas verdes, un acercamiento teórico y su importancia para reducir la isla de calor... 17	
1.4.1 ¿Cómo las áreas verdes regulan la temperatura?.....	18
1.4.2 ¿Qué son las áreas verdes?	18
1.4.2 Tipología de áreas verdes	22
1.5 Mitigación de las islas de calor.....	24
1.5.1 Los estudios experimentales	24
1.5.2 Casos aplicados. Experiencias en Estados Unidos y Canadá	26
Capítulo II. Características geográficas y configuración urbana de la ciudad de Puebla	35
2.1 Características climáticas generales.....	35
2.2 Evolución y estructura urbana de la ciudad de Puebla	37
2.2.1 Evolución urbana de la ciudad de Puebla.....	37
2.3 Los materiales de construcción de la estructura urbana	44
2.4 Espacios públicos y áreas verdes.....	45
Capítulo III. El estatus de las áreas verdes y la isla de calor en la ciudad de Puebla	48
3.1 Evolución de las áreas verdes en la ciudad de Puebla	48
3.2 La actualidad de las áreas verdes y la isla de calor en la ciudad de Puebla	52
3.2.1 Las áreas verdes y el cambio climático en la Puebla, un intento fallido en la planeación urbana.....	53
3.2.2 Los estándares nacionales e internacionales de áreas verdes, la ciudad de Puebla sin llegar a la meta.....	57
3.2.3 Las legislaciones en materia de áreas verdes y cambio climático un hueco en la gestión de la ciudad	59
3.3 Los retos que enfrentan las áreas verdes urbanas de la ciudad de Puebla	61
Capítulo IV. Análisis de la isla de calor y de la cubierta vegetal en la ciudad de Puebla	64
4.1 La isla de calor atmosférica	64
4.2 Isla de calor superficial	67
4.3 Análisis de la cubierta vegetal de la ciudad de Puebla a través del NDVI.....	74
4.4 Relación temperatura superficial y NDVI	77
Capítulo V. Estrategias para incrementar las áreas verdes urbanas en la ciudad de Puebla y reducir los efectos de la isla de calor	80

5.1 ¿Qué tipo de áreas verdes y qué especies vegetales nos ayudan a reducir la isla de calor?	80
5.1.1 Consideraciones para el control climático con el uso de la vegetación	80
5.1.2 Las especies arbóreas con mejor rendimiento para minimizar los efectos de la isla de calor.....	81
5.2 ¿Dónde necesitamos áreas verdes?.....	82
5.2.1 Zonas de Atención Prioritaria	82
5.2.2 Áreas de oportunidad.....	85
5.3 Cómo motivar la creación de las áreas verdes en la ciudad de Puebla	89
5.3.1 Las áreas verdes como una estrategia para incrementar la competitividad y la economía en la ciudad de Puebla.	89
5.3.2 La participación integral en la implementación, gestión y mantenimiento de las áreas verdes urbanas y la prevención de la formación de la isla de calor	91
5.3.2.1 El sector gubernamental.....	91
5.3.2.2 La participación del sector empresarial.....	94
5.3.3.3 La sociedad civil	96
Conclusiones	99
Anexo I Cálculo de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y estimación de la temperatura superficial para imágenes LADAST 8 OLI TIRS.....	102
Bibliografía	108

Introducción

El acelerado proceso de urbanización que la ciudad de Puebla sufre desde los años 60's ha provocado diversos problemas medioambientales que la han llevado a un continuo proceso de degradación ambiental. Su zona urbana y población crecen continuamente demandando, paralelamente, suelo para poder establecerse.

Abastecer de suelo urbano a la creciente población significa desplazar grandes cantidades de áreas naturales, esto trae como consecuencia cambios en la morfología del terreno y en sus propiedades ambientales. Las cubiertas vegetales que favorecen la recarga de mantos freáticos, producen oxígeno y regulan el clima son sustituidas por superficies duras como el asfalto y el cemento, las cuales almacenan más calor e inhiben la permeabilidad de los suelos, propiciando que las áreas urbanas sean más cálidas que las áreas naturales o rurales, a este fenómeno se le denomina isla de calor.

La isla de calor en la ciudad de Puebla se ha identificado desde 1970, pasaron dos décadas para que se retomara el tema y en 1998 se realizó otro estudio, los resultados en ambos casos muestran zonas cálidas en el centro de la ciudad, debido a que es ahí donde existe mayor densidad de construcciones, alta concentración de contaminantes, superficies con bajos albedos¹ y carencia de áreas verdes (Gaeb, 1970; Balderas, et al., 1998).

La escases de áreas verdes es una de las principales causas de la isla de calor, y la ciudad de Puebla padece de un déficit importante en ellas; per cápita, según datos del Plan Municipal de Desarrollo 2014-2018 existen en el municipio 3.1 mts² de área verde por habitante, mientras que la Organización Mundial de la Salud, OMS, recomienda 9 mts², sin embargo para fines climáticos no existe un parámetro ideal establecido.

Bajo este contexto surge la siguiente pregunta, que es el eje rector de este trabajo **¿Cómo incrementar los metros cuadrados de áreas verdes urbanas en la ciudad de Puebla para minimizar los efectos de la isla de calor?**

Las áreas verdes han sido un tema delicado a tratar en la ciudad, continuamente son taladas, abandonadas en materia de mantenimiento, y desplazadas para instalar

¹ Capacidad que tienen las superficies para reflejar u absorber la radiación solar

construcciones; además su creación es casi nula, a pesar de, las políticas municipales en torno al tema han hecho caso omiso de la problemática, enfocándose únicamente en implementar acciones de “embellecimiento”, dejando de lado la importancia ecológica, ambiental y climática, que las áreas verdes proporcionan.

Esta investigación tiene como objetivo, **establecer estrategias de planeación urbana orientadas a incrementar el porcentaje de áreas verdes para así mitigar los efectos negativos que la isla de calor provoca en la ciudad de Puebla, ello a través de la participación de los diferentes sectores de la sociedad.**

En los últimos 100 años Puebla ha incrementado 1°C su temperatura ambiente, ante tal situación es de suma importancia tomar medidas preventivas y correctivas que minimicen los efectos negativos de la isla de calor, los cuales se pueden ver reflejados en el aumento del consumo de energía con el fin de climatizar espacios y de enfermedades respiratorias por cambios bruscos de temperatura, de días lluviosos y de días con más sol, además de discomfort térmico.

Este trabajo se desarrolló a partir de la premisa de que no que no existe una conciencia de planificación urbana que considere la relación **urbanización-áreas verdes-isla de calor** en la ciudad de Puebla, generalmente se habla de áreas verdes en función de sus cualidades de cohesión social y de impacto visual, dejando atrás el papel que juegan en el clima y microclima urbano.

La comprensión de la importancia de las áreas verdes y su relación con el clima resulta de suma importancia, ello nos ayudará a tomar decisiones apropiadas en el proceso de diseño y planeación de la ciudad, de esta forma se evitara que fenómenos climatológicos como la isla de calor se agudicen.

Para el desarrollo de este trabajo se consideraron fuentes especializadas en el tema, estudios específicos de la isla de calor para la ciudad de Puebla; también se procesaron fotografías satelitales de la plataforma Landsat para obtener la temperatura de las superficies y la calidad de la vegetación a través de la obtención del índice normalizado de vegetación, NVDI.

El desarrollo de este estudio permitirá la posibilidad de poder entender la influencia del hombre en el microclima, echando mano de métodos de estudio que faciliten su

comprensión y que contribuyan a una mejor toma de decisiones al momento de planear la ciudad. Demostrando que las áreas verdes tienen una función esencial en el sistema ciudad. A partir de este análisis se dan algunas estrategias que pueden implementarse en los diferentes sectores: gobierno, sociedad civil y empresas para para incrementar y mantener las áreas verdes urbanas y disminuir la intensidad de la isla de calor.

Capítulo I. La isla de calor y las áreas verdes. Conceptos básicos

La expansión de las ciudades ha propiciado que los suelos naturales sean sustituidos por materiales duros como el concreto y el asfalto, los cuales se caracterizan por ser poco permeables y por almacenar calor. Esta modificación del territorio se manifiesta en la aparición de un clima específico en las ciudades, la variable climática más afectada es la temperatura, que suele ser más elevada en ambientes citadinos que en rurales, este fenómeno es conocido como isla de calor.

Este primer apartado tiene como objetivo aportar las bases teóricas necesarias para la comprensión del fenómeno, desde su definición, causas y consecuencias. Así mismo se describen brevemente algunas soluciones, para mitigar este fenómeno, planteadas por diversos estudios y se enfatiza en la mitigación de la isla de calor a través del uso de la vegetación, ya que es el tema de interés de esta investigación.

También se integran un par de casos análogos de países donde se han llevado políticas de intervención que consideran a las áreas verdes como elementos que minimizan los efectos de la isla calor. Por último se define el concepto de área verde que se usará en esta investigación.

1.1 Balance energético de la ciudad

Cuando hablamos de balance energético nos referimos a las ganancias y pérdidas de energía (calor) que ocurren entre la superficie y la atmósfera.

En una zona sin urbanizar estas pérdidas y ganancias de energía se dan de la siguiente manera: aproximadamente el 51% de la radiación es absorbida por la superficie terrestre el 30% es disipada o reflejada y tan solo el 19% es absorbida por la atmósfera (imagen 1). Esta interacción explica la elevación de la temperatura del aire en la atmósfera, pues este es calentado por la superficie y está a su vez por la cantidad de radiación que a ella llega.

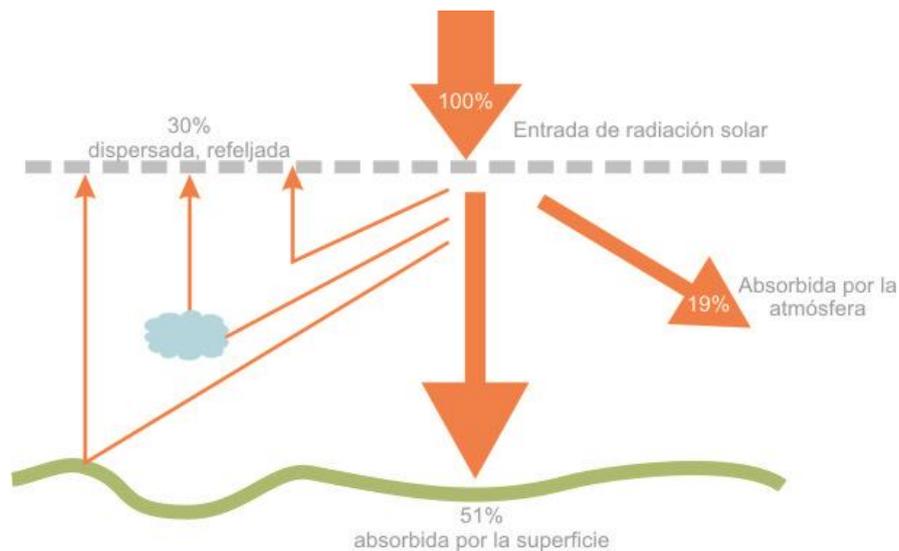


Imagen 1 Distribución de la radiación solar

Fuente: Notas de urbanismo bioclimático

Para el caso de la ciudad la modificación de los componentes naturales de suelo, lleva consigo a cambios en las propiedades físicas y químicas de la atmósfera alterándose el balance de energía (Barradas, 1987). Es por ello que en el contexto urbano se pueden encontrar una gran variedad de microclimas asociados a su vez a las variadas formas del espacio, pues se componen por materiales con un bajo albedo que absorben y almacenan más fácilmente la energía de la que reflejan.

1.2 ¿Qué es una isla de calor?

La isla de calor es un fenómeno estudiado desde principios del siglo XX. La primera descripción de este fenómeno la da Luck Howard en 1818 en su obra sobre el clima de Londres, en la cual, se da cuenta del efecto urbano sobre la temperatura, y advierte que la ciudad era 3.7 °F más cálida que su entorno durante la noche. Aunque aún no se emplea un término gráfico y geográfico para designar este fenómeno, las modificaciones del clima a causa de la urbanización eran ya evidentes (Moreno, 1993). En 1958 el geógrafo inglés Gordón Manley utiliza por primera vez el término isla de calor para referirse a estas modificaciones climáticas en la ciudad (Fernández, 1995).

Se entiende como un fenómeno propio de las ciudades y tiene como característica principal el aumento de la temperatura en el espacio urbanizado a diferencia de sus áreas periféricas (Imagen 2 e Imagen 3). Éste fenómeno es más evidente por la noche

y también se ha observado que las áreas con mayor temperatura coincide con el centro de las ciudades, allí donde las construcciones son densas y compactas, además del gran número de actividades que en ellas se desarrollan (Moreno, 1993, Lowy cit. por Hough, 1998).

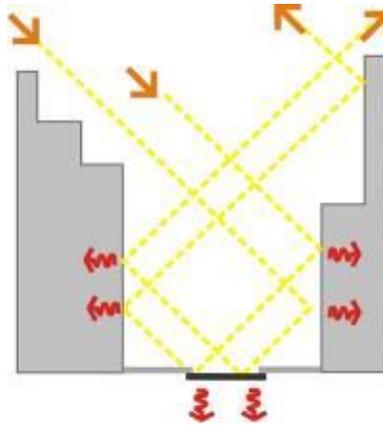


Imagen 2. En la ciudad los muros reflejan la radiación solar hacia el suelo y paredes de los edificios almacenando calor.

Fuente: William R Lowy cit. por Hough, 1998.

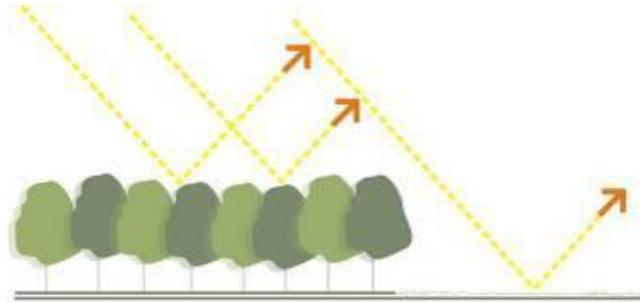


Imagen 3. En el campo la radiación solar se refleja de nuevo hacia el cielo .Debido a la falta de Superficies verticales.

Fuente: William R Lowy cit. por Hough, 1998.

La formación de este fenómeno es responsable de los cambios climáticos, a nivel local, en las ciudades. Los resultados que arrojan las comparaciones de la temperatura en la ciudad y el campo sugieren que las recientes tendencias de calentamiento son debido al efecto isla de calor más que a los cambios naturales del tiempo regional (Hough, 1998).

1.2.1 La isla de calor: tipos

Existen dos tipos de isla de calor: Isla de calor superficial e isla de calor atmosférica.

Isla de calor superficial, se puede distinguir cuando la temperatura de las fachadas, cubiertas y suelos es más alta que la temperatura del aire, este tipo de isla se puede apreciar con técnicas de teledetección, en donde satélites captan imágenes como Landsat y AVHRR las cuales son procesadas para obtener la temperatura radiante de las superficies urbanas.

Isla de calor atmosférica, tiene que ver con la temperatura del aire y se puede identificar cuando se establecen diferencias térmicas entre zonas urbanas y zonas rurales. Este tipo de isla puede darse en dos escalas atmosféricas:

Capa de palio urbano o dosel urbano (CDU), esta capa se extiende de los límites de los tejados hacia abajo, la atmósfera en esta capa es influenciada por las actividades humanas; es en el palio urbano en donde el viento y la temperatura sufren cambios importantes ya que ahí se encuentran espacios reducidos que favorecen la aparición de un entramado de microclimas a causa del trazado de las calles, del uso de suelo y de las orientaciones (Oke, 2006).

Capa límite urbana (CLU), esta capa se extiende desde los límites de los tejados hacia arriba, generalmente se extiende aproximadamente 1.5 km, su estado atmosférico está influenciado por las condiciones topográficas y características físicas del paisaje, excluye los efectos de la microescala o capa de palio urbano (Oke, 2006) (Imagen 4).

La isla que se presenta en la capa de *palio urbano o de dosel urbano* es la más estudiada, para detectarlas se usan datos de las redes de observatorios meteorológicos estableciendo comparaciones entre espacios urbanos y rurales. Otros, utilizan recorridos de medición en automóviles equipados con instrumentos de medida no convencionales, este tipo de mediciones permiten obtener “información sobre un gran número de puntos y se pueden identificar claramente las diferencias en las áreas urbanas, suburbanas y rurales, logrando establecer tipologías de islas de calor en relación a los diferentes espacios urbanos” (Fernández, 1996: 262).

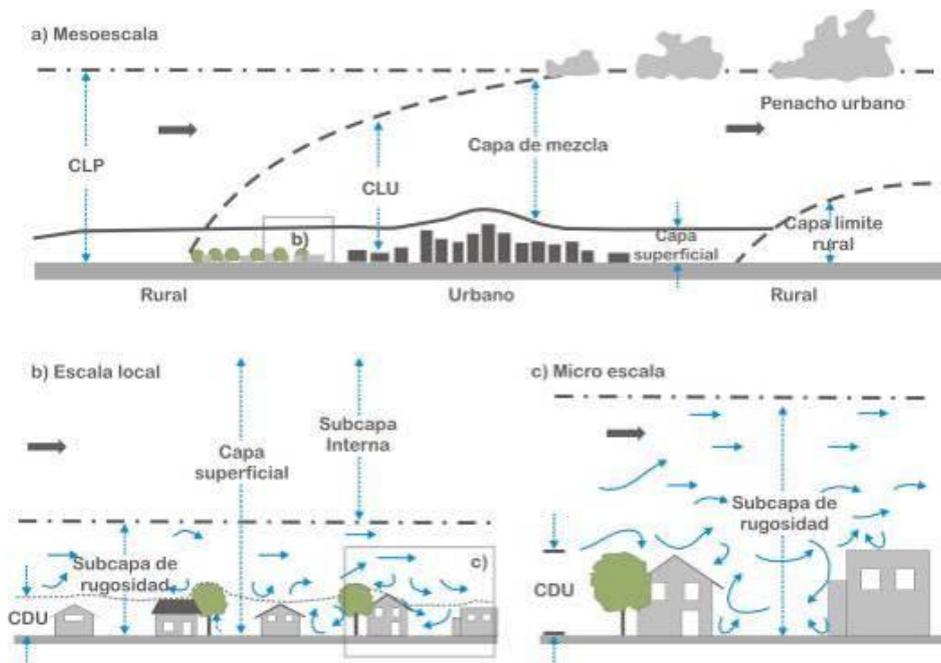


Imagen 4. Escalas climáticas en áreas urbanas. a) Mesoescala, CLP capa límite planetaria; b) Escala local, CLU capa límite urbana; c) Microescala, CDU capa dosel urbano o palio urbano.

Fuente: Oke, 2006

1.3 Causas y consecuencias de las islas de calor

Las causas que propician este fenómeno se deben principalmente a las características morfológicas propias de la ciudad, así como a las actividades que en ella se desarrollan. Dentro de las más importantes encontramos las siguientes:

Desplazamiento de la cubierta vegetal. Al desplazar las cubiertas vegetales se truncan sus efectos benéficos de regulación del clima como la capacidad de enfriamiento que brinda la vegetación a través de las sombras, de la intercepción de la radiación por el follaje y del incremento en el contenido de humedad del suelo, ya que al ser superficies permeables facilitan el escurrimiento superficial del agua y el empleo de energía en el proceso de evapotranspiración. Al ser truncados estos beneficios en la ciudad, el contenido de humedad en el ambiente disminuye y la temperatura aumenta. (Peña & Romero, 2005).

Geometría de calles y edificios. El conjunto de calles y edificios forman lo que se conoce como cañones urbanos, esta geometría facilita que la radiación solar incidente se refleje en las paredes, fachadas, tejados y suelos varias veces antes de salir a la atmósfera, a la vez, parte de esta radiación queda atrapada en los edificios y calles propiciando el aumento de la temperatura del aire (Moreno, 1993).

Esta causa se asocia también al llamado factor de cielo visible o *sky view factor*,² por sus siglas inglés, que provoca, en zonas con edificios altos o calles estrechas, una disminución de las pérdidas de calor por irradiación nocturna, debido a la pequeña porción de cielo visible desde la superficie (Fernández, 1996). La amplia variedad en la forma de edificios altera los flujos aéreos y la rugosidad de las edificaciones (diferencia o variedad en alturas de edificios) reduce la velocidad del viento provocando una menor pérdida de calor sensible ³ (Moreno, 1993).

Materiales usados en la construcción de la ciudad. El proceso de urbanización reemplaza los suelos y cubiertas naturales por superficies construidas, cuyos materiales tienen:

Bajo albedo. La mayoría de las superficies construidas -como el asfalto y el concreto- absorben del 75% al 90% de la radiación solar incidente. Cada material de la superficie tiene un albedo diferente: a mayor porcentaje de albedo mayor será la capacidad de la superficie para reflejar la radiación solar. Para una ciudad en conjunto, el albedo puede ser como mínimo de 10-15% lo que significa que gran parte de la energía solar que llega es absorbida por la ciudad, propiciando su calentamiento (Wypych & Bokwa, 2003).

Mayor capacidad calorífica y mayor conductividad térmica. Esto significa que los materiales almacenen más calor a diferencia de las superficies naturales (Wypych & Bokwa, 2003; Moreno, 1993). Así, al estar expuestos a la radiación solar, se calientan y retienen calor, mismo que será desprendido paulatinamente durante la noche de forma más lenta de lo que lo hacen las superficies naturales.

Producción de calor antropogénico. El término antropogénico hace referencia a las cosas producidas o que derivan del ser humano, por lo tanto el calor antropogénico es el calor producido por el hombre. Esta producción de calor resulta de los procesos de combustión que el ser humano usa en la vida diaria como son el uso de estufas y de calefacción; la quema de combustibles fósiles, gasolina, petróleo, gas; uso de la luz

² Factor que determina que la mayor parte de la radiación infrarroja emitida permanezca atrapada en el complejo entramado del palio urbano.

³ Calor sensible es el calor que propicia el aumento de temperatura de un cuerpo.

eléctrica, solo por mencionar algunos. Todas estas emisiones se agrupan, arrojando calor al ambiente y contribuyendo a la formación de la isla de calor.

Contaminación atmosférica. El aumento del bióxido de carbono incrementa las temperaturas y exacerba los problemas del ozono; los mayores responsables de estos problemas son los automóviles y las industrias, pues al llevarse a cabo el proceso de combustión, indispensable para el funcionamiento de éstos, se libera calor, el cual intensifica la isla de calor. Una gran carga de partículas sólidas, gases y contaminantes líquidos están presentes en la atmósfera urbana, hay 10 veces más partículas en el aire de la ciudad que en el campo, los cuales reflejan el aporte de luz solar y calor, y retardan a su vez, el flujo exterior del calor (Hough, 1998).

Este fenómeno trae consigo problemas asociados al aumento de la temperatura del ambiente, aunque este comportamiento en invierno favorece el calentamiento de los espacios sus consecuencias no son del todo favorables en otros aspectos y se ven reflejados en los siguientes aspectos:

Demanda de energía con fines de climatización. En invierno, grandes cantidades de calor se pierden en el exterior, y en verano los acondicionadores que enfrían el espacio interior expulsan el aire caliente al exterior aumentando así el problema de las altas temperaturas. La isla de calor, junto con las temporadas calurosas, requiere de un incremento en la demanda energética debido al aumento del uso de sistemas de climatización de los elementos urbanos para crear estados de confort (Cervantes, Vargas, & Barradas, 2001).

Convección urbana por el calentamiento de la ciudad, que favorece la formación de nubosidad y en ocasiones precipitación (Fernández, 1996; Moreno, 1997; Hough, 1998)

Enfermedades. La isla de calor puede asociarse con las llamadas “olas de calor” que si son muy intensas en casos extremos llegan a causar la muerte volviéndose ello un tema de salud pública. Asimismo, el incremento de la temperatura genera stress por calor, las consecuencias son calambres y la deshidratación del cuerpo al tratar de regular la temperatura corporal. Por otro lado los cambios bruscos de temperatura provocan enfermedades respiratorias (Barradas, 1987; Moreno, 1993), estas de igual forma se producen cuando el smog se incrementa a causa de las altas temperaturas.

Disconfort térmico. Al incrementarse la temperatura del aire el cuerpo humano trata de regular de alguna forma el exceso de calor, su defensa principal es transpirar. El cuerpo humano tiene en promedio 37°C de temperatura (Olgay, et al., 1998) y para que pueda mantenerse estable sin realizar ningún esfuerzo -transpirar- la temperatura ambiente debe oscilar en 26°C la máxima y 19 °C la mínima (Bazant, 1998), de otra forma el cuerpo comienza a sentirse incomodo, esta incomodidad por exceso de calor se puede traducir es stress por calor y modificaciones en la conducta anímica de las personas.

Aportación de los gases de efecto invernadero y calentamiento global. Como ya se mencionó antes las islas de calor en verano pueden aumentar la demanda de energía con el fin de climatizar espacios, lo cual libera más aire caliente y también gases de efecto invernadero (Rosenfeld et al cit. Por Voogt, 2008).

El CO₂, metano, óxido nitroso en pequeñas cantidades y los clorofluorocarbonos (gases de efecto invernadero) son inicialmente favorables para la tierra, ya que la mantienen con una temperatura apropiada para que en ella pueda existir vida, sin embargo al producirse en gran grandes cantidades la temperatura de la tierra aumenta originando lo que conocemos como “calentamiento global”, esto se produce a causa de la retención de la radiación solar por una capa protectora baja -troposfera- situada a unos 15 Km. de la superficie terrestre (Edwars, 2004).

Tolo lo anterior demuestra que la isla de calor repercute en diferentes ámbitos del medio ambiente y de la población que habita en las ciudades, ante dichas circunstancias y paralelo al descubrimiento del fenómeno surgen también algunas formas de contrarrestar sus efectos.

1.4 Las áreas verdes, un acercamiento teórico y su importancia para reducir la isla de calor

Como se mencionó, una de las principales causas de la formación de la isla de calor es la carencia de áreas verdes o cubiertas vegetales en las ciudades. Este apartado describe cómo estás áreas regulan la temperatura, asimismo se propone una definición y se categorizan, pues existen muchos vacíos en la materia.

1.4.1 ¿Cómo las áreas verdes regulan la temperatura?

La vegetación enfría el aire dos formas, la primera es a través del proceso de evapotranspiración, que es el efecto de enfriamiento evaporativo del agua que transpiran las plantas; la otra forma es por el control de la radiación solar, los árboles y vegetación provocan sombras en las superficies evitando que estas se calienten.

Con respecto al primer principio se debe considerar que a veces el efecto no es tan perceptible, si bien el aire atrapado en el follaje de la vegetación puede llegar a enfriarse debido a la evaporación directa del agua del suelo y a la transpiración de las plantas, siempre y cuando la humedad relativa del aire sea lo suficientemente baja, el efecto de enfriamiento se disipa rápidamente debido a la acción mezcladora del viento.

Este sistema es muy efectivo a escalas micro, en donde la configuración espacial impida el paso del aire y propicie que el aire fresco quede atrapado en el suelo, follaje y límites verticales, pero esta situación no es común. Por otro lado la vegetación rala y dispersa puede ser poco significativa sin embargo cuando se habla de superficies extensas grande parques urbanos y corredores verdes con alta densidad de vegetación el efecto isla de calor puede ser menor.

Con respecto al control de la radiación la vegetación tiene efectos considerables, del 100% de la energía solar incidente, las plantas absorben del 5 al 12 % en la fotosíntesis, reflejan del 5 al 20%, reflejan del 5 al 20%, disipan por evapotranspiración del 20 al 40%, emiten del 10 al 15% y transfieren del 5 al 30% (Ochoa, 1999).

La vegetación caducifolia es interesante en este sentido, puesto que permite en invierno el contacto directo con las superficies de tal modo que el aire es más cálido; por el contrario en verano estos árboles se llenan de hojas evitando el paso directo de la radiación y el sobrecalentamiento de la superficie y del aire.

1.4.2 ¿Qué son las áreas verdes?

Debido a que el interés de esta investigación radica en la mitigación de la isla de calor a través del incremento de las áreas verdes es necesario definir qué se entiende por áreas verdes dentro de la estructura de la ciudad.

Las áreas verdes, según concluyen diversos autores, pueden entenderse de forma general como espacios que se caracterizan por la presencia dominante de vegetación

(árboles, arbustos, pastos, etc.) (Falcón, 2007, Salvador, 2003; Krishnamurthy & Nascimento, 1998; Rivera, 2009; Peña, 2008; Barradas & J-Seres, 1988; Sukopp, 1991; Santiago, 2008). Bajo este entendido cualquier espacio con vegetación es un área verde, no diferenciando su tamaño, composición, ubicación, uso o propiedad.

Un área verde sería un parque o jardín, un cultivo fuera de la ciudad, un camellón con árboles y hasta un terreno abandonado en medio de la ciudad donde crezca maleza.

La definición de área verde como tal no debería causar ninguna confusión, sin embargo existe un problema de conceptualización a la hora estudiarlas. Autores, documentos legales y normativos sobreentienden el concepto a través de los tipos de espacios públicos que existen, por lo que es común que llamen áreas verdes a los parques, jardines, plazas, camellones, etc., pues una de sus principales características es la presencia de vegetación. Las siguientes definiciones son ejemplo de ello.

La Guía de Áreas Verdes para Desarrollos Habitacionales editada por el Consejo Nacional para la Vivienda (CONAFOVI), nos dice que se puede considerar área verde a aquellas áreas con superficie cubierta de vegetación que tengan 10 m² por unidad espacial; considera como tales a los parques urbanos (10, 000 y 1, 000, 000 m²), los jardines públicos (2, 500 y 10, 000 m²), los camellones (2 m y 3 m lineales), las banquetas y los jardines privados (CONAFOVI, 2005).

La ley ambiental del Distrito Federal define área verde como “toda superficie cubierta de vegetación, natural o inducida que se localice en el Distrito Federal” (ALDF, 2000), esta ley en su artículo 87 considera áreas verdes a: parques y jardines, plazas ajardinadas o arboladas, jardineras, zonas con cualquier cubierta en la vía pública, alamedas y arboledas, promontorios, cerros, colinas, elevaciones y depresiones orográficas, pastizales naturales y áreas rurales de producción forestal, agroindustrial o que presenten servicios eco turísticos, barrancas, zonas de recarga de mantos acuíferos, y las demás áreas análogas.

La ley de fraccionamientos y de acciones urbanísticas del estado de Puebla nos indica que se entenderá, para los efectos de esa ley como área verde, a la superficie verde en cada lote (CEP) .

El Código Reglamentario del Municipio de Puebla entiende como área verde a los jardines, parques, plazas, plazuelas, camellones, glorietas, eco-calles y parque urbanos (HCMP, 2004, última reforma mayo 2015).

Las definiciones anteriores, entienden implícitamente a las áreas verdes como espacios propios de las ciudades o localidades urbanizadas, no entrando en ésta categoría áreas verdes que se localicen fuera del ámbito urbano, a excepción de lo que indica la ley ambiental del Distrito Federal que incluye áreas verdes dentro y fuera de la ciudad.

Para evitar caer en ambigüedades una categorización que clasifica las áreas verdes en urbanas y naturales la da Rivera (2010). Peña (2008), también realiza una separación del concepto de área verde, su estudio se enfoca al medio urbano por lo que define a las áreas verdes urbanas como: “aquel suelo localizado dentro de la mancha urbana y/o áreas urbanas periféricas dentro del límite de centro de población constituido predominantemente por superficies permeables como tierra, provistas con cubre pisos, arbustos o árboles y eventualmente otro tipo de superficies impermeables o edificaciones menores, de carácter público o privado, ya sea de origen natural o acondicionado y que pueden desempeñar funciones ambientales, sociales o productivas” (Peña, 2008:21).

Reparando en esta última definición nos encontramos con otra nueva controversia en la delimitación del concepto de áreas verdes, lo público y lo privado. Se tiene ya definido que las áreas verdes pueden ser urbanas y naturales pero también tienen una connotación de propiedad que puede ser pública, entendida como de acceso a todos los ciudadanos, o privada, de acceso selectivo.

Bajo este entendido los parques nacionales o áreas naturales protegidas son áreas naturales públicas, por el contrario las zonas agrícolas fuera de la ciudad son áreas naturales privadas. Dentro de las áreas verdes públicas podemos encontrar a los jardines y parques que el gobierno administra (de uso colectivo) y como áreas verdes privadas encontramos a los jardines de casas, clubs de golf, unidades deportivas, etc.

Otro detalle que nos encontramos al tratar definir área verde es que muchas veces se sobre entienden como espacio público.

En el Programa de Desarrollo Urbano Sustentable del Municipio de Puebla (2007), se realiza una categorización de áreas verdes y espacios públicos, sin embargo no se define de forma clara cuando se debe considerar área verde. El programa indica que las áreas verdes y espacios públicos se encuentran conformados por: parques, jardines, plazas y paseos y funcionan como zonas de emplazamiento y puntos de concentración.

Rodríguez (1982 citado en Santiago 2008: 36) aclara este aspecto diciendo que las áreas verdes son los espacios libres en donde predomine la vegetación (parques y jardines), entendiendo como espacios libres al conjunto de espacios urbanos al aire libre. Así, Santiago define al espacio como aquel “espacio libre cuyo elemento característico es la presencia de la vegetación; se excluye así cualquier espacios como plazas o paseos donde las plantas estén ausentes o jueguen un papel secundario en la configuración del espacio” (Santiago, 2008:37), con ello el autor indica que las áreas verdes son un componente del espacio público.

La definición legal de área verde en Puebla carece de una categorización y tipología meticulosa lo que la convierte en algo ambiguo a la hora de definir, estudiar y cuantificar. Las normatividad que aplica al municipio en la materia es escasa y a decir verdad un tanto escueta y no es precisa a la hora de definir qué es un área verde y qué no.

La discrepancia surge a la hora de cuantificar la cantidad de áreas verdes ya que se sobre entiende que las áreas verdes solo se limitan a los parque y jardines públicos, por lo tanto, si sólo consideramos para la cuantificación a las áreas verdes públicas obtendremos números considerablemente bajos, sin embargo si sumamos las áreas particulares o naturales que están dentro del territorio municipal los números podrían sobre exponerse.

Para el enfoque climático de este estudio no se podrían desarticular las áreas verdes privadas de las públicas, ni las naturales de las urbanas, los fenómenos atmosféricos por naturaleza no respetan límites públicos y privados, es decir, el beneficio climático que un área verde pública o privada pueda dar a la ciudad será el mismo y en términos absolutos tendrá un impacto cuantificable en la atmósfera.

Sin embargo, el presente estudio se centrará en las áreas verdes ubicadas dentro de la ciudad y sean de carácter público⁴ a las que denominaremos “áreas verdes urbanas públicas” las cuales se entenderán como aquellos espacios permeables o con cubiertas mayoritariamente vegetales como árboles, arbusto, pastos, etc. que se encuentren en la ciudad de Puebla, estos pueden ser parques, jardines, plazas, camellones, andadores, alineación de árboles, canchas deportivas y los que se añadan que sean públicos. Se denominarán áreas verdes efectivas a aquellos espacios que superen el 80% del área con cubierta vegetal y áreas verdes de oportunidad a aquellos espacios permeables (sin vegetación o con un porcentaje de vegetación mínimo).

1.4.2 Tipología de áreas verdes

Además de ser definidas es importante establecer una tipología que permita su fácil identificación y cuantificación.

Retomando algunos aspectos del apartado anterior podemos decir que las áreas verdes se dividen de forma general en dos grandes grupos: urbanas y naturales, a su vez ambas categorías tienen un estatus de propiedad el cual puede ser privado o público y únicamente para las últimas se les asigna un estatus de competencia que puede ser del orden municipal, estatal y federal.

La tipología asignada a un área verde se dará en función de las características de su forma, de su diseño, de sus componentes vegetales y de sus actividades y se puede dar en alguna de las siguientes modalidades presentadas en el siguiente esquema (Imagen 5).

⁴ Bajo el entendido de que las áreas verdes son un servicio que el municipio debe de dar; artículo 115 constitucional.



Imagen 5 Esquema de tipología de áreas verdes

Fuente: Elaboración propia con base en revisión bibliográfica

Esta clasificación parte un tanto de la necesidad de tener un línea guía para la gestión de las áreas verdes, esta clasificación facilitará su medición, identificación y clasificación la cual será necesaria para su correcta administración, este punto se aclara debido a que anteriormente se mencionó que los beneficios climáticos y ambientales que las áreas verdes proporcionan no reconocen límites políticos, tipológicos o territoriales;

También es importante mencionar que no se debe de considerar como absolutas las dimensiones de las áreas verdes para asignar una tipología, ya que ello resulta un tanto ambiguo, sino más bien se debe considerar o tipificar a las áreas verdes por su tipo de composición, elementos que la conforman y tipo de actividades o servicio que proporcionan. Es decir, no podríamos establecer que para que un parque sea metropolitano deba de medir 1 hectarea, sino mas bien analizar si el alcance de usuarios que recibe sobrepasa límites municipales y si su estructura esta lo suficientemente calificada para abastecer el servicio, etc.

Por otro lado únicamente se consideraron a las áreas verdes urbanas y naturales públicas como propuesta para trabajar su incremento. Las plazas y camellones que no tienen cubierta vegetal son consideradas como áreas verdes de oportunidad.

1.5 Mitigación de las islas de calor

La aparición del fenómeno junto con el conocimiento profundo de sus causas y consecuencias, trajo consigo algunas propuestas para contrarrestar sus efectos negativos, el manejo de superficies claras en materiales, la reducción o control de emisiones de calor antrópico y la implementación de vegetación en la ciudad han sido de los más estudiados, para este caso nos concentraremos en las propuestas de mitigación con uso de vegetación.

1.5.1 Los estudios experimentales

Como bien es sabido una de las cualidades de la vegetación es su capacidad para regular el clima, esto es posible gracias a la forma en que usan la energía. La vegetación tiene un alto coeficiente de absorción de radiación solar, cuando esta incide sobre ella en vez de incrementar su temperatura eleva su humedad debido al proceso de evapotranspiración, que es el efecto de enfriamiento evaporativo del agua que transpiran las plantas (Ochoa, 1999).

Otra forma en que la vegetación regula el clima se da cuando esta se agrupa y genera sombras impidiendo que la radiación incidente recaiga directamente sobre superficies duras.

Las áreas verdes por lo tanto propician un incremento del calor latente (evaporación del agua), que es la energía que enfría el aire y una disminución del calor sensible, que es la energía que calienta el aire.

Al respecto existen numerosos estudios que comprueban esta teoría y sitúan a las áreas verdes como una alternativa para mitigar la isla de calor.

Ochoa (1999), por ejemplo, realiza un análisis térmico de algunos espacios abiertos en Barcelona, considera que el comportamiento térmico de estos espacios depende en gran medida de su estructura, composición y porcentaje de área verde, entre mayor sean las cubiertas vegetales los espacios serán más confortables térmicamente.

En México, Barradas (1991) realiza mediciones de temperatura y humedad en 5 parques de la ciudad de México y de sus alrededores usando una estación móvil con un termistor y un sensor de humedad con el fin de valorar cómo la estructura y el tamaño de los parques inflúan en la temperatura y humedad del aire; su estudio demuestra que

en el centro de los parques la temperatura era menor que en sus alrededores debido a que la densidad arbórea era mayor en esos puntos.

Cervantes *et al*/(2001) realizaron algunos estudios similares en las ciudades de Veracruz y el Distrito Federal, midieron la temperatura del aire en parques y encontraron diferencias térmicas hasta de 3°C entre zonas con vegetación y sin vegetación, reafirmando que las áreas verdes en sus diferentes modalidades son espacios potencialmente aptos para regular la temperatura.

También señalan que el impacto térmico de estos espacios dependerá de sus dimensiones, de su constitución y del tránsito vehicular; un ejemplo de ello son las diferencias térmicas de algunos parques del DF, el Parque Hundido es 2.2 °C más fresco que su alrededor y el Parque Arboledas es 3.0 °C; el primero cuenta con un área de 9.9 ha con pavimento en los corredores, el segundo tiene una superficie de 3 ha pero sin pavimento en sus andadores, lo que sugiere que el pavimento tiene un efecto en la disminución de la evaporación y permeabilidad del suelo, propiciando un aumento en la temperatura del aire.

Chung, *et al.*, (2014) realizaron un experimento en Colima a fin de determinar cual era la configuración óptima de los espacios abiertos para la reducción de la temperatura del aire en un clima cálido subhúmedo, su propuesta de trabajo consistió en la medición de variables climatológicas asociadas a variables de configuración espacial en tres parques de Colima, los resultados indican que la vegetación tiene una importante influencia en la reducción de la temperatura debido a la evapotranspiración y a la interceptación de la radiación solar.

En este mismo entendido también se ha considerado el tamaño, densidad y tipo de vegetación que las áreas verdes deben tener para lograr una influencia en la reducción de la isla de calor, Giridharan *et al*/(2004) menciona que estas áreas deben tener de 600 a 700 m² de área verde densa, o una cubierta suave de cada 1000 m² de espacio abierto. En Hong Kong se encontró una relación entre áreas verdes e isla de calor, en donde a mayor vegetación resulta una isla de calor menor y viceversa.

Autores como Hough (1995), Salvador (2003), Cervantes (2001) e Higeras (2006), coinciden en que el desarrollo de sistemas de áreas verdes en la ciudad como sembrado

de árboles, creación de jardines en predios baldíos, vegetación en tejados, etcétera; son una buena alternativa para mitigar la isla de calor; también plantean que en el diseño de los espacios urbanos el uso de cuerpos de agua y de albedos altos ayudan a contrarrestar este fenómeno. Barradas (2013), indica que colocar estratégicamente estas zonas vegetales en la ciudad podría ayudar a reducir la temperatura del aire hasta en 4°C.

Los estudios confirman que el uso de la vegetación en ambientes urbanos puede contribuir a la reducción de la temperatura del aire y de las superficies y por ende de los efectos de la isla de calor; aunque considerar los demás factores que la producen recaería en mejores resultados de mitigación.

1.5.2 Casos aplicados. Experiencias en Estados Unidos y Canadá

Los resultados de los estudios experimentales en materia de reducción de la isla de calor van desde implementar colores claros en las cubiertas de los edificios, la regulación del uso del automóvil, el control del crecimiento de la mancha urbana, el uso de materiales alternativos y como ya se ha mencionado la implementación de áreas verdes en sus diversas modalidades (parques, jardines, azoteas verdes, muros verdes, etc.).

Con esto podemos entender que las estrategias de mitigación de la isla de calor deben ser consideradas desde el diseño de proyectos urbano-arquitectónicos; sin embargo, muchos de ellos no toman en consideración lineamientos de diseño bioclimáticos y tampoco están concientes de las variaciones térmicas que sus proyectos tiene en el clima local y regional.

A pesar de, y ante un cambio climático inminente, no solo en las ciudades sino en todo el planeta, algunos gobiernos se están esforzando por crear ciudades confortables para vivir así como empáticas con la naturaleza, en este sentido, la mitigación de dicho fenómeno tiene ya algunos avances en ciudades como Estados Unidos y en la ciudad de Toronto, Canadá; las cuales han considerado en su sistema de planeación lineamientos para mitigar la isla de calor.

Estados Unidos

Estados Unidos a través de la Agencia de Protección Ambiental (*Environment Protection Agency*, EPA por sus siglas en inglés) desarrolló un documento informativo y de

estrategias para la reducción de este fenómeno denominado “Reduciendo las Islas Urbanas de Calor: Compendio de Estrategias” (*Reducing Urban Heat Island, Compendium of Strategies*, 2008), en él, es posible encontrar los conceptos básicos que generan este problema así como las estrategias para poder mitigarlo. El documento es una herramienta para la planeación de proyectos urbano-arquitectónicos de las comunidades de Estados Unidos. Su estrategia de reducción de isla de calor se basan en 5 grandes rubros: vegetación y árboles, azoteas verdes, azoteas frescas, pavimentos frescos y actividades comunitarias y gubernamentales. En este último se encuentran las acciones que los organismos gubernamentales pueden aplicar a fin de reducir los impactos de este fenómeno, a través de planes, programas y políticas.

Para los fines de esta investigación concentraré mi atención las Actividades para Reducir la Isla de Calor (*Heat Island Reduction Activities*, 2008), ya que en ellas es donde se desarrolla la parte de gestión y la implementación de áreas verde. Como un primer apartado maneja los esfuerzos voluntarios, es decir, enaltece, induce y premia las iniciativas que contribuyan a reducir las islas de calor. Estos esfuerzos voluntarios pueden ser:

Demostración de proyectos. En este apartado se apoyan a instituciones de investigación, universidades, gobiernos locales y organizaciones para desarrollar proyectos experimentales que demuestren o contribuyan a generar estrategias de reducción de islas de calor. Chicago desarrolló un proyecto experimental que buscaba reducir el consumo de energía de los edificios mediante de la implementación de azoteas verdes (EPAa, 2008).

Incentivos. Por medio de ellos se ha logrado motivar la implementación de acciones de reducción de islas de calor. Los incentivos de los gobiernos, servicios públicos y otras organizaciones van desde exenciones de impuestos, descuentos en productos, donaciones y obsequios. El gobierno de Chicago a través del programa de techos verdes y frescos (*Green and coll roof grant programs*) apoyó económicamente a interesados en instalar techos frescos y verdes en edificios residenciales, comerciales e industriales (EPAa, 2008).

Programas de forestación. Estos son los más usuales en las comunidades de Estados Unidos, estos programas además de evidenciar los beneficios ambientales de los árboles también enfatizan en la cualidad que poseen para regular la temperatura. El Departamento de Conservación y Recursos Naturales Pennsylvania supervisa el proyecto *TreeVitalize*, que reúne a los gobiernos del condado y locales, fundaciones, asociaciones de comercio y la industria privada para restaurar la cubierta forestal en la parte sureste del estado. *TreeVitalize* tenía como objetivo plantar más de 20.000 árboles en 40 barrios de Bucks, Chester, Delaware, Montgomery, y en los condados de Filadelfia. El programa de \$ 8, 000,000 dólares está dirigido a los barrios de las ciudades más antiguas, ciudades y municipios en los que la cubierta forestal es inferior al 25 % (EPAa, 2008).

Climatización. Son programas que intentan, además de disminuir la isla de calor, mejorar las salud de los habitantes y ahorrar energía. Los estados utilizan los fondos de climatización proporcionados por el Departamento de Energía de Estados Unidos mediante el “Programa de Asistencia de Climatización” (*Weatherization Assistance Program*) para ayudar a los beneficiarios a cubrir los gastos de calefacción y para que inviertan en acciones de eficiencia energética de costos bajos (EPAa, 2008).

Divulgación y educación. Esta se concentra en llevar a las escuelas información sobre la isla de calor. El programa de energía de Utah junto con otros departamentos crearon el programa *Kids Kool Utah*, su objetivo es enseñar a los estudiantes, principalmente de primaria y secundaria, sobre los sus impactos que las isla de calor tienen en la energía y calidad del aire, así como las estrategias de reducción del fenómeno (EPAa, 2008).

Premios. Los gobiernos, organizaciones y corporaciones premian las acciones aplicadas de mitigación de islas de calor. La fundación *Home Depot* otorga el premio de la excelencia en plantación de árboles (*Awards of Excellence for Community Trees*), los premios son en efectivo para los organismos, ya sean públicos o privados, por el desarrollo exitoso de programas de plantación de árboles (EPAa, 2008).

No solo existen, dentro de este marco de mitigación de isla de calor, acciones voluntarias; también se desarrollan esfuerzos políticos más estructurados. Algunos gobiernos locales y estatales han incluido estrategias de mitigación en sus políticas o

reglamentos, por ejemplo en los códigos de construcción, que reglamentan los materiales que se deben usar. Las medidas referentes a los esfuerzos políticos pueden ser:

Adquisiciones. Algunos municipios adquieren tecnologías “frescas” para sus edificios, esto como una forma de incentivar a la comunidad a adquirirlas también. La ciudad de Chicago después de demostrar con éxito el uso de pavimentos permeables aplicó la iniciativa de callejón verde, la cual consiste en usar pavimentos permeables siempre que estos tengan que ser repavimentados; para el 2007 se habían repavimentado 46 callejones (EPAa, 2008). Se editó “*The Chicago Green Alley Handbook*” en el 2010, el cual contiene los lineamientos de diseño que se deben considerar en los callejones, por supuesto recomienda materiales que eviten el calentamiento (CDOT, 2010).

Resoluciones. Se han presentado resoluciones de mitigación de la isla de calor, estas resoluciones son una declaración formal de una decisión o de expresión de opiniones aprobada por una asamblea. Una resolución no indica necesariamente que el programa contará con el apoyo financiero para poder ejecutarse, pero puede ser el primer paso para que la iniciativa comience. En 2001 el consejo municipal de Austin aprobó una resolución de mitigación de la isla de calor que incluían varias actividades, para ese mismo año el ayuntamiento otorgó un millón de dólares para su implementación. Actualmente se lleva a cabo el “Plan Comunitario de Árboles” (*Austin Community Tree Program*) que motiva a los ciudadanos a plantar árboles en sus lotes como medida de reducción de la isla de calor (EPAa, 2008).

Árboles y ordenanzas de paisaje. Por medio de las ordenanzas de paisaje se estimula la siembra de árboles como estrategia de mitigación, las ordenanzas en este sentido son: plantación de árboles en calles, árboles en estacionamientos para que den sombra y protección de estos (EPAa, 2008).

Planes integrales y lineamientos de diseño. Son otra forma en que las comunidades han incorporado las oportunidades para promover la reducción de IUC. Los planes integrales o generales, son adoptados por un órgano legislativo de un gobierno local, y establecen las políticas, metas y objetivos para el desarrollo de su localidad. En general, tienen un amplio alcance y una visión a largo plazo. Las pautas para el diseño proporcionan una

conexión entre las políticas generales de planificación y normativa de desarrollo, como los códigos de zonificación y reglamentos de subdivisión. El plan general de Gilbert, Arizona, pone como objetivo central la mitigación de las islas urbanas de calor. (EPAa, 2008; *The Environmental Planning Element of the General Plan describes Gilbert's*, 2010).

Códigos de zonificación. Son un reglamento general el cual determina los destinos de uso de suelo, densidad de población, altura y volumen de edificios, requisitos para estacionamientos, etc., son planes integrales que pueden contribuir a la mitigación de la isla de calor de varias formas. Sacramento, por ejemplo, pide como parte de su código de zonificación que los estacionamientos sean sombreados (EPAa, 2008).

Planes y programas para construcción verde. Muchos gobiernos locales, estatales y federales han adoptado programas de construcción verde, los cuales se validan por organizaciones externas como El Consejo de la Construcción Ecológica de los Estados Unidos (*US Green Building Council*, USGBC por sus siglas en inglés), este tipo de instituciones dan las pautas o reglas que deben de seguirse en la construcción verde.

Códigos de construcción. Estos marcan las pautas en el diseño y uso de materiales. Algunas ciudades y estados han comenzado incluyendo techos frescos en sus códigos de construcción debido a su capacidad de ahorro de energía. Georgia en 1995 fue el primer estado en agregar a su código de energía techos frescos.

Este compendio enfatiza mucho en la conservación y uso eficiente de la energía, que recae a su vez en el costo beneficio traducido no solo en bienestar bioclimático sino económico, por ejemplo, el ayuntamiento de Chicago dispone de un techo verde con el cual se pretende ahorrar anualmente 9,270 KWh de electricidad y con ello \$ 3,600 dólares, también anuales (EPAa, 2008). En general es un documento que incluye una cantidad importante de lineamientos integrales para disminuir la isla de calor, se deja ver, además, la preocupación por este tema por parte de los gobiernos, lo que es de suma importancia ya que ellos son los grandes actores en las tomas de decisiones con respecto al diseño de la ciudad. Ello se refleja no solo en la edición del compendio de estrategias de reducción de la isla de calor, el esfuerzo fue más allá y la EPA junto con los gobiernos locales ejecutó el Proyecto Piloto de Islas Urbanas de Calor (*Urban Heat*

Island Pilot Project, UHIPP por sus siglas en inglés). Se desarrolló de 1998 a 2002 y participaron las ciudades de Baton Rouge, Chicago, Houston, Sacramento y Salt Lake City. El objetivo de este ejercicio consistió en:

- Ayudar a las ciudades para adoptar y evaluar las estrategias y programas de reducción de las islas de calor
- Fomentar la investigación, la educación y la comunicación
- Demostrar y documentar proyectos de reducción de las islas de calor exitosas que podrían ser adoptadas en otras comunidades
- Fortalecer el apoyo y la comprensión de las estrategias de reducción de la isla de calor en las comunidades

Para la aplicación de UHIPP se ubicaron las zonas cálidas de cada ciudad, además de que se caracterizaron sus condiciones ambientales (climáticas) y físicas (tejido urbano) para detectar las áreas claves a atacar. Se hizo un análisis de ahorro de energía y de calidad del aire, estas fueron las herramientas con las cuales se pudieron determinar las acciones a tomar para reducir las islas urbanas de calor. Estos proyectos piloto fueron una especie de puesta en marcha de políticas para mitigar el fenómeno.

Algunas acciones que surgieron recayeron sobre ordenanzas de paisaje, en donde se promueve la plantación de árboles en calles, plazas y estacionamientos, a la par se desarrollaron campañas publicitarias para su cuidado y protección, así como programas de reforestación. Se implementaron, también, campañas para cambiar techos convencionales a techos frescos, estos con cubiertas blancas de materiales específicos por un lado y por otro con vegetación. Se manejó así mismo la aplicación de pavimentos permeables y frescos, o sea con albedos altos.

Los proyectos piloto recopilaron una gran cantidad de información con respecto a las acciones a seguir por parte de las dependencias gubernamentales y la sociedad para reducir la isla de calor. La participación de diferentes niveles de gobierno representó una gran tarea de coordinación por parte de autoridades, dependencias, empresas y sociedad. Sin embargo, los resultados no dejan ver en cuantos grados se redujo la isla de calor en cada localidad, lo que si podríamos asegurar, y que ya está bastante

documentado por estudios de medición particulares para cada caso, es que por lo menos a nivel microclimático las acciones sí tuvieron un impacto a favor de la disminución de la temperatura ⁵.

Medir en cuantos grados se redujo la isla de calor es una tarea difícil ya que las acciones que se tomaron, además de tener que ser continuas, indispensablemente deben ser monitoreadas, por lo que queda como un reto a futuro que se apliquen nuevamente estudios de isla de calor en cada comunidad con el fin de medir el impacto de las acciones que se implementaron, por el momento es loable la tarea que investigadores, instituciones, especialistas, gobierno y sociedad civil lograron.

Toronto, Canadá

Toronto es otra de las ciudades que se ha preocupado por los efectos causados por la isla de calor y refleja esta preocupación en la inclusión de estrategias de reducción de este fenómeno en políticas y programas. Los esfuerzos municipales que se resumen a continuación fueron presentados en la cumbre Isla Urbana de Calor (*Urban Heat Island Summit*, celebrada en Toronto en mayo del 2010) por Jennifer Forkes de la Asociación Aire Limpio (*Clear Air Partnership*, por sus siglas en inglés) y nos dan un panorama general de cómo se está manejando el fenómeno en esta ciudad; las acciones son:

- Altos albedos y alta emisividad en materiales. Principalmente en la construcción de edificios “verdes”.
- Plantación de árboles y demás vegetación. Programas de plantación aplicados en varias comunidades y reglamentos para la protección del árbol.
- Infraestructura verde (techos verdes, pavimentos porosos)
- Planes de uso de aguas pluviales. Se dan los reglamentos y directrices para aumentar la retención de agua por la vegetación.
- Reducción del calor antrópico y contaminación del aire.

⁵ Por mencionar un ejemplo la Agencia Coordinación de Energía (*Energy Coordinating Agency*, ECA por sus siglas en inglés) de Filadelfia, aplicó recubrimientos térmicos para techos como parte de su programa “Hogares frescos”. La ECA encargó un estudio para medir los resultados y encontró que los recubrimientos frescos y de mayor aislamiento eliminaron el 90 % de la ganancia de calor a través del techo, lo que reduce las temperaturas del techo de la planta superior en un promedio de 4.7 ° F (2.6 ° C) (EPAa, 2008).

- Diversas acciones que van desde la educación ambiental, uso eficiente de la energía, etc.
- Cambios en la forma urbana. Algunos códigos de zonificación aplican políticas para la reducción de superficies pavimentadas.

Estas iniciativas se fundamentan desde el “Plan oficial de Toronto” (*Toronto’s Official Plan, TOP*) que es el principal instrumento de planificación urbana de la ciudad. En los capítulos dos, tres y cinco podemos encontrar algunas políticas entorno a la mitigación de la isla de calor.

El capítulo dos denominado “Dando forma a la ciudad” (*Shaping the City*) está destinado a establecer la estructura urbana de la ciudad; se desarrolla la estrategia de la dirección de crecimiento dentro de la estructura y establece políticas para la gestión del cambio, a través de la integración de los usos del suelo y transporte (TOP, 2010). De forma más específica en su política número 3 (c)(vii)(5) del apartado de “Estudios de Avenidas y Aplicaciones de Desarrollo” (*Avenue Studies and Development Applications*) nos dice que se deben crear áreas verdes innovadoras como techos verdes y diseños que reduzcan la isla de calor, este mismo objetivo se maneja en la política 18 (f) del capítulo tres “Construyendo una ciudad exitosa” (*Building a Successful City*), este proporciona las políticas para orientar la toma de decisiones al cumplimiento de las metas de los planes para el ser humano, la economía y el medio ambiente. La política 18 (f) hace énfasis en innovar la construcción verde para minimizar la isla de calor (TOP, 2010).

Por último, el capítulo cinco llamado “Haciendo que las Cosas Sucedan” (*Making Things Happen*) está dedicado a la aplicación -ejecución- de las políticas a través de la implementación de planes sectoriales o específicos. Para lo que concierne a la mitigación de isla de calor se aplica el “Plan Sustentable de Diseño de Espacios Exteriores” (*Site Plan and Sustainable Exterior Design*). La política número 3 (b) es muy puntual y nos dice que para asegurar que el diseño de las construcciones sea sustentable se deben: usar albedos altos en las superficies, pavimentos porosos, generar sombras con los árboles, implementar techos frescos y verdes para reducir la temperatura de las superficies y con ello minimizar los efectos de la isla de calor (TOP,

2010), estos lineamientos se basan en la “Norma Verde de Toronto” (*The Toronto Green Standard*, TGS por sus siglas en inglés).

TGS es otro instrumento normativo oficial que contiene un conjunto de medidas que para el diseño de construcciones sustentables. Las que conciernen a la reducción de isla de calor son:

El uso de albedos altos en materiales, estos deberán tener una reflectancia de 0.3 de índice de reflectancia solar.

Plantación de árboles de sombra, a lo largo de las calles y espacios abiertos, caminos públicos, en los aparcamientos, en estos últimos en proporción de un árbol por cada 5 cajones de estacionamiento.

Jardines verticales, techos frescos con materiales de alto albedo o con vegetación, sin embargo a diferencia de los primeros estas iniciativas son voluntarias.

Otro instrumento normativo son los “Lineamientos de diseño para la ecologización de aparcamientos” (*Design Guidelines for Greening Surface Parking Lots*, DGGSP), es un documento editado en el 2007, y nos da lineamientos de diseño. La ecologización de las superficie de los aparcamientos implica la plantación de árboles, proporcionando suelos de buena calidad y zonas ajardinadas; mejorar las condiciones peatonales y la infraestructura ciclista, la gestión de aguas pluviales, el uso de materiales y tecnología sostenible que reduzcan el calentamiento urbano (efecto isla de calor). Igualmente se recomienda que las superficies no sean oscuras -asfalto- y se instalen mejor, materiales claros, como hormigón blanco, asfalto blanco o adoquines (DGGSP, 2007).

En este trabajo de mitigación de isla de calor organizaciones no gubernamentales también hacen aportaciones, la CAP lleva a cabo en el 2010 la “Cumbre Isla Urbana de Calor” (*Urban Heat Island Summit*). Esta cumbre tenía como objetivo proporcionar un foro para el intercambio de conocimientos entre quienes toman las decisiones locales (salud pública, la planificación, el agua y el personal de ingeniería), investigadores de la isla de calor (académicos, gobierno y ONG’s) y representantes de grupos de la industria (construcción y fabricantes), con el fin de compartir las mejores prácticas y enfoques políticos para mitigar y adaptarse al calor extremo en las ciudades (isla de calor). Las metas eran proteger la salud de los habitantes, mejorar la eficiencia

energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la resiliencia al cambio climático.

Los resultados de esta cumbre dejan como opciones de reducción de islas de calor: techos frescos, techos verdes, pavimentos, forestación urbana, políticas y estrategias de planeación. Un resultado interesante fue considerar al mapeo y uso de SIG's como herramienta para detectar zonas que padezcan de islas de calor.

Aunque para este caso fue difícil ubicar a las comunidades donde se han materializado estas políticas el hecho de que sean documentos normativos es ya una señal de que se está trabajando en ello. Lo que sí se puede mencionar es que no solo Toronto ha aplicado estas medidas, otras comunidades de Canadá como Calgary, AB, Kingston, ON, y Ottawa están también aplicando, por ejemplo, lineamientos de construcción verde que incluyen el manejo eficiente de energía y materiales con albedos altos (Forkes, 2010a).

Capítulo II. Características geográficas y configuración urbana de la ciudad de Puebla

La ciudad de Puebla, capital del estado, es la 4ta más grande en población del país, actualmente su zona urbana ocupa el 45 % del territorio municipal. Su especialización económica es en el sector de los servicios lo cual ha generado la atracción de la población de diferentes partes del Estado; ante ello el suelo ha sido continuamente adaptado para abastecer la necesidad de vivienda y de servicios de la creciente población. Como resultado la ciudad se ha expandido sin control desde finales de los años 60's provocando la pérdida de áreas naturales y por consecuencia ha modificado de su clima local.

En este apartado se expondrán las condiciones geográficas y los elementos de configuración urbana de la ciudad que favorecen o se relacionan con la formación de la isla de calor en la ciudad de Puebla.

2.1 Características climáticas generales

Puebla se caracteriza por tener un clima templado subhúmedo con régimen de lluvias de verano, la lluvia aumenta en el verano por tres factores principales: por la formación

de nubes orográficas, por el movimiento convectivo y por la aportación de humedad de los sistemas tropicales. La zona central del municipio presenta un clima, templado subhúmedo con régimen de lluvias de verano, la temperatura media anual oscila entre 12°C y 18°C, con verano fresco largo, oscilación térmica entre 5°C y 7°C, marcha anual de la temperatura tipo Ganges, lluvia anual de 43.2 a 55.3 mm por cada grado de temperatura media anual. (PDUSP, 2007)

Temperatura. La marcha anual de la temperatura registra un mínimo en el mes de enero, el mes más frío del año en el municipio, el valor máximo corresponde al mes de mayo; en el mes de junio la temperatura presenta un ligero descenso, reflejo directo del aumento de la humedad en la región, el aumento de la nubosidad y la lluvia. De los meses de julio a septiembre la temperatura media mensual se mantiene sin cambio importante. En el mes de octubre la entrada de frentes fríos y los efectos de la masa de aire polar continental son sistemas meteorológicos que determinan un marcado descenso de temperatura en la región (Imagen 6).

Precipitación. El período de lluvia en el valle de Puebla es de mayo a octubre, con dos máximos: uno en el mes de junio y el otro en el mes de septiembre.

Vientos. La presencia del extenso Valle de Puebla delimitado al Norte por el volcán La Malinche y al sureste por la Sierra del Tentzo, conforman un valle abierto de NNE a SSO que nos indica que el 85% de las corrientes de aire vienen en el sentido NNE. La dirección dominante de los vientos son: NNE, SSW, con una velocidad promedio de 1.6 m/s, siendo la más alta en enero con 2.4 m/s y la más baja en diciembre con 0.5 m/s. Ésta corriente de vientos se mezcla con la corriente fría de la cima de La Malinche formando corrientes frías en toda la zona metropolitana del Municipio Puebla.

El Municipio queda bajo la influencia de la corriente húmeda de los vientos alisios, desde mediados de mayo hasta mediados de octubre, determinando la época de lluvias; de fines de octubre a mediados de mayo dominan los vientos secos y fuertes del Oeste que descienden de las latitudes templadas en el Oeste de los Estados Unidos y/o del Océano Pacífico del Norte.

Estas características marcan dos períodos climáticos en la atmósfera de la ciudad: temporada seca (noviembre a febrero) y temporada húmeda (de abril a octubre).

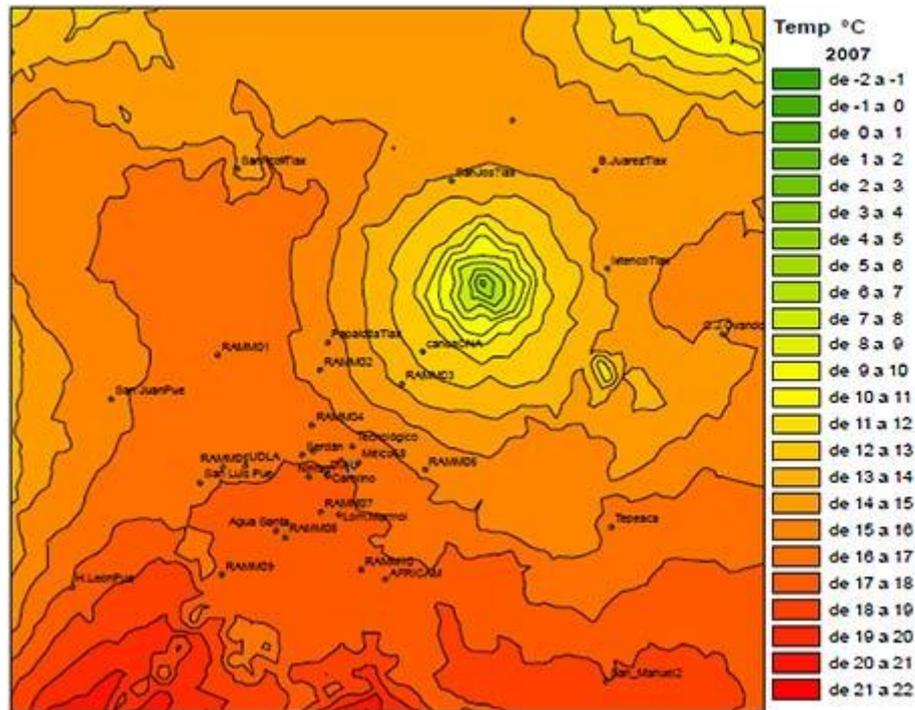


Imagen 6. Temperatura media anual

Fuente: Balderas, 2008

2.2 Evolución y estructura urbana de la ciudad de Puebla

Las condiciones climáticas generales imponen el ritmo de los procesos atmosféricos por un lado, por el otro el proceso de urbanización junto con la configuración de la estructura urbana son es el factor principal de los cambios climáticos en la atmósfera, a continuación se describe cómo se dio el proceso de crecimiento de la ciudad y cómo esta se fue estructurando.

2.2.1 Evolución urbana de la ciudad de Puebla

La ciudad de Puebla se comienza a edificar en 1531 a partir de la conquista y colonia española; desempeñó un papel importante entre los siglos XVI, XVII y XVIII. Se conformó a partir de las ordenanzas españolas de Felipe II, como la mayoría de las ciudades de índole novohispano. Su diseño se basó en manzanas rectangulares de 100 x 200 varas y calles de 14 varas (168x84 y 12.21 metros respectivamente) (Méndez, 1988).

Como centro de la ciudad se estableció la plaza de armas o central, hoy zócalo, alrededor se ubicaron las actividades comerciales, gubernamentales y religiosas. Su trazo consideró premisas importantes con respecto a la orientación de sus manzanas para que se beneficiaran de una adecuada ventilación y asoleamiento.

La traza se orientó de nor-noroeste a sur-sureste el que da a los lados largos de las manzanas y nor-noreste a sur-suroeste el que recorre los lados cortos. El giro hacia el este forma con el meridiano un ángulo de $24^{\circ} 30'$ (Imagen 7). Esta orientación respondía, según el historiador Antonio Carrión, a la necesidad de aprovechar la pendiente del terreno al río San Francisco y de esta manera evitar inundaciones en tiempo de lluvias. De esta forma también se resguardan las aceras de los rayos directos del sol en la temporada más cálida (abril a mayo) y se protegía a los pobladores de los vientos del norte (Cuenya, 1999).

La ciudad inicio su construcción con 9 manzanas (Imagen 8); el crecimiento poblacional fue adosando al tejido otras más respetando la proyección inicial; las dimensiones y proporciones de la traza original siguieron esta tendencia hasta 1537. Su estructura se basaba en vivienda, equipamiento, molinos, batanes y huertos, estos últimos tres ubicados en las periferias de la ciudad.

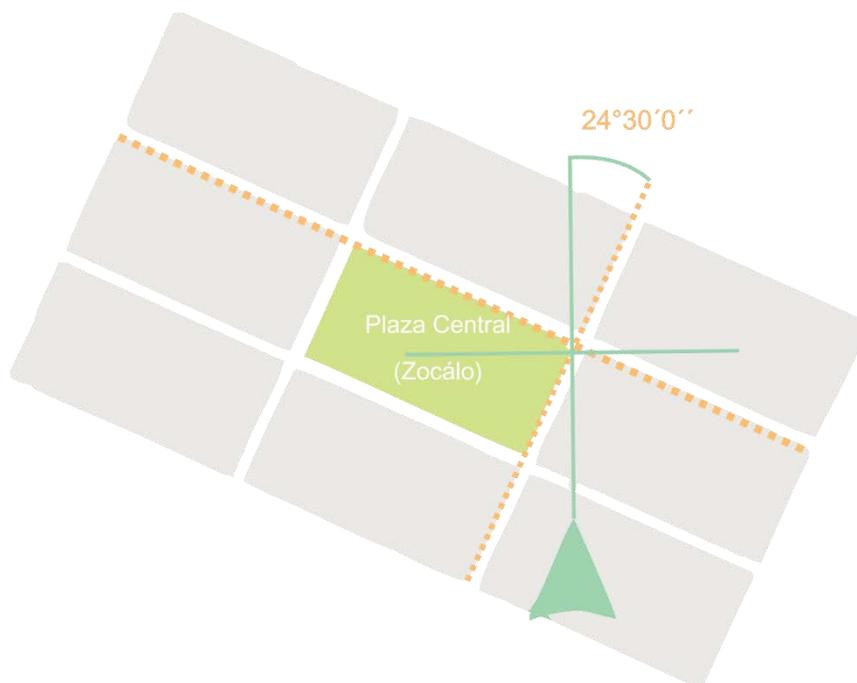


Imagen 7 Esquema representativo de la orientación de la ciudad.

Fuente: Recreación propia con datos de Méndez, 1988

Para el período colonial la ciudad presenta un gran impulso en el desarrollo urbano gracias al aumento de las actividades agrícolas y el auge textil. Estas condiciones favorecen el crecimiento de la ciudad que para mediados del siglo VXII ya es sustancial.

La ciudad comienza a crecer homogéneamente, los primeros pobladores habitan la traza urbana inicial de la ciudad, mientras que los barrios y arrabales que circundan esta zona son espacios destinados al establecimiento de los indígenas, que eran ocupados en la agricultura y construcción de la ciudad.

Durante el siglo XVI y XVII se establecen los barrios de San Juan del Río o Tlalcatecapan, Analco, Santiago, San Pablo de los Naturales, San Sebastián, Santa Clara y su arrabal de San Antonio y San Miguelito. Al norte de la ciudad se establecieron Xonacatepec y Xanenetla, que no se constituyen propiamente como barrios, sino como arrabales que más tarde se incorporan al conjunto de la traza urbana; también están el Barrio de El Alto, el Barrio del Carmen ubicado al sureste de la ciudad y el Barrio de San José (INEGI, 2008; Cuenya, 1999; Méndez, 1988).

De las 14 has de territorio que ocupaba la zona urbana en 1531, hacia 1650 pasan a ser 349 has (Imagen 8). Para los ritmos de crecimiento de aquella época representó un acelerado crecimiento. En cuanto a su estructura urbana la ciudad sigue conservando su esquema inicial: vivienda, equipamiento, molinos, batanes y huertos.

A mediados del siglo XVII la ciudad entra en un proceso de decadencia producto de los cambios administrativos de en la corona española, la interrupción del comercio con Perú, la escases de combustible, la migración de la población a la ciudad de México y epidemias. Esta situación permaneció hasta finales del siglo XVIII y se reflejó en la disminución de sus habitantes y en un crecimiento mínimo de su mancha urbana de 1650 a 1796 (Imagen 9).

A finales del siglo XVIII la ciudad retoma su crecimiento poblacional mismo que para el siglo XIX ya es evidente, el boletín municipal registra en 1888 un total de 72 743 habitantes, para 1892 la población asciende a 91 295 habitantes.

Este crecimiento poblacional es el reflejo del desarrollo industrial que comienza a gestarse en 1833 por iniciativas de Don Esteban de Antuñano. Producto de estos esfuerzos en 1843 se establecen en la ciudad las primeras 6 fábricas de hilados y tejidos.

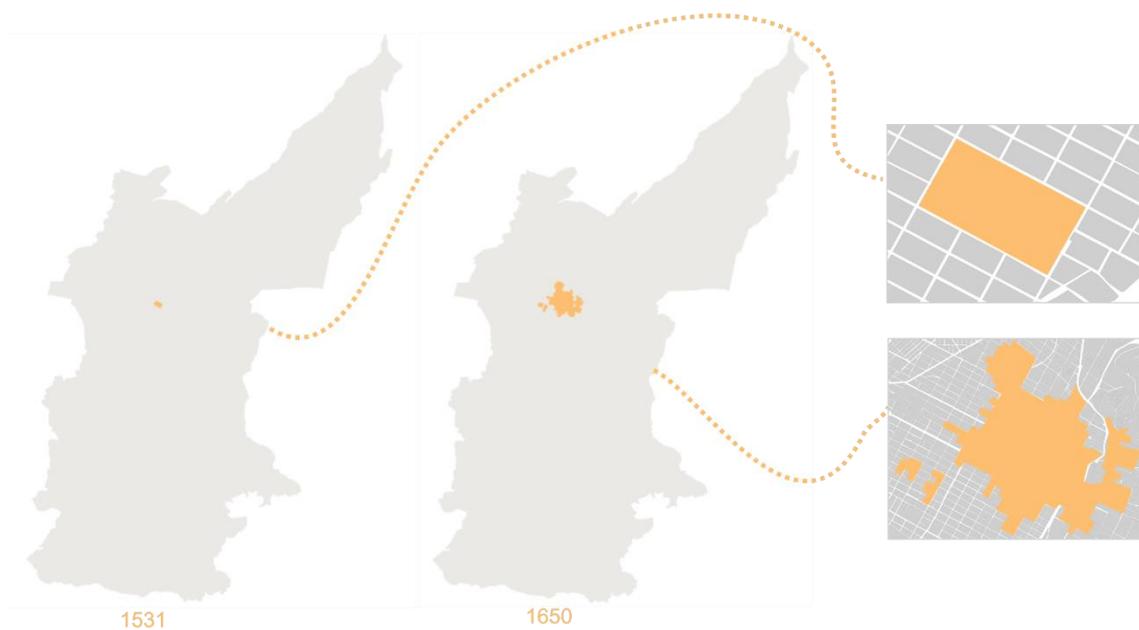


Imagen 8. Zonas urbanas en 1531 y 1650

Fuente: Elaborado con información de Méndez, 1988 e INEGI, 2008

Los límites de la ciudad a finales del siglo XVIII y principios del XIX permanecen casi intactos (Imagen 9). Es hasta mediados del siglo XX que la ciudad tiene un crecimiento interesante de su zona urbana debido a la influencia y estabilidad económica que trajo la industria.

El siglo XX representa el período de modernización de la ciudad, la llegada del ferrocarril en 1900 marca significativamente la estructura urbana. También, la ampliación de la red eléctrica y el inicio de las obras de alcantarillado, agua potable, alumbrado, drenaje, transporte público y telefonía contribuyen a este desarrollo.

La cartografía de los primeros años del siglo XX muestra que la ciudad y los barrios ubicados al oriente reproducen la conformación espacial de la traza original; los predios, molinos, ranchos, ladrilleras y caleras del sur y oriente son espacios que al ser fraccionados para la construcción respetan su tipo regular, esto continúa hasta mediados de siglo XX (Méndez, 1988; INEGI, 2008). A pesar del crecimiento poblacional, la ciudad continúa creciendo con lentitud. Es a partir de 1940 cuando se da un proceso determinante de urbanización y de crecimiento de población que persiste hasta nuestros días (Imagen 9).



Imagen 9. Zonas urbanas en 1796, 1883 y 1946

Fuente: Fuente: Elaborado con información de Méndez;1988 e INEGI, 2008

Hasta finales del siglo XX la ciudad mantenía un ritmo de crecimiento bajo. Los avances que la industrialización trajo a la ciudad tuvieron como consecuencia el incremento de la población; el cambio de actividades laborales, la agricultura y ganadería fueron sustituidos por las actividades industriales. Puebla tuvo una gran inserción en curtidoras y actividades textiles. Derivado de este crecimiento, la población rural comienza a emigrar a la ciudad, ya que el campo perdía fuerza laboral y económica.

En 1950 y 1960 la actividad textil pierde fuerza y entran en crisis por lo que la ciudad deja de ser un centro de atracción económica. Sin embargo, la población y su zona urbana no dejan de crecer, una de las obras que contribuye a la expansión urbana es la inauguración de la autopista México-Puebla en 1962; otras vialidades, que se construyen años más tarde, como la diagonal Defensores de la República, Hermanos Serdán, Ruta Quetzalcoat, que une a las ciudades de Cholula y Tlaxcala con Puebla, aceleran el crecimiento de la zona urbana.

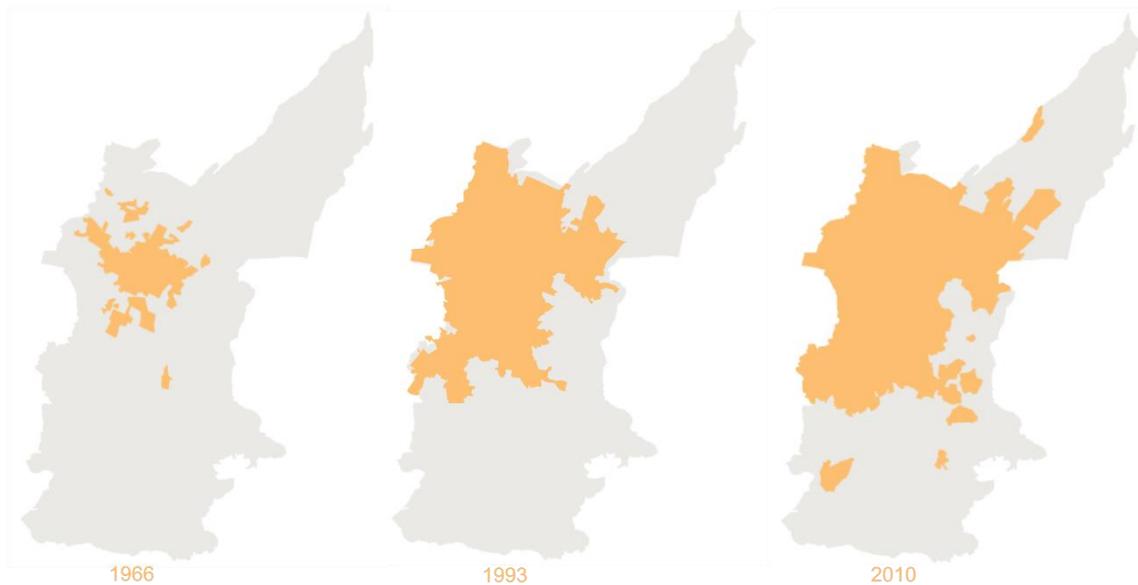


Imagen 10 Zonas urbanas en los años 1966, 1993 y 2010

Fuente: Fuente: Elaborado con información de Méndez, 1988 e INEGI, 2008

La llegada de la planta armadora de la Volkswagen al municipio de Cuatlancingo en 1965, muy cercana a la ciudad de Puebla, y el terremoto de 1985, que junto con el auge del desarrollo industrial de aquella época, no solo añade más población sino que promueve la construcción y proliferación de multifamiliares como la Hacienda, la Margarita, Amalucan y Bosques de San Sebastián; estos serán los primeros tipos de vivienda de alta densidad. También más tarde se integran a la zona urbana los pueblos de San Felipe Hueyotipla, San Jerónimo Caleras, La libertad, así como los ranchos de Ocotlán, La Calva y Rancho Colorado.

La ciudad se expande hacia el sur con unidades habitacionales de crecimiento vertical y colonias populares en horizontal; el norte por otro lado se consolida como la zona industrial.

La expansión del suelo urbano en el municipio se ha dado de forma desmedida y desordenada, tan sólo en 1990 la mancha urbana ocupaba el 19.23 % del territorio municipal, para el 2006 la superficie ocupada era del 39.84 %, casi el doble desde 1990 (PMDUS, 2007) para el 2009 la superficie urbana es del 45 % (INEGI, 2009) (Imagen 10). Actualmente la ciudad continua expandiéndose hacia el sur y oeste debido a la obras de infraestructura que ahí se desarrollan, esto está causando conurbación con municipios como Santa Clara Ocoyucan y Amozóc.

La forma en la se ha conformando la ciudad ha dado lugar a una zonificación muy propia que Balderas (2008) clasifica en 4 zonas:

Centro. Es la zona declarada como patrimonio cultural de la humanidad por su gran valor histórico, lugar donde se empezó a desarrollar la ciudad.

Norte. Es la zona que colinda con la autopista México-Puebla, es una zona de colonias populares, de unidades habitacionales y donde se establecen diversas zonas industriales.

Este. Se integra por diversas colonias populares que se conectan por la carretera federal a Tehuacán y que se establecieron en los márgenes del río Alseseca.

Sur. Es la zona de crecimiento actual de la ciudad, se conforma por diversas zonas habitacionales: zonas residenciales, colonias populares y unidades habitacionales. Su desarrollo se generó sobre vialidades como la 16 de septiembre, 11 sur y periférico ecológico.

Actualmente se podría añadir una nueva zona que corresponde a la parte oeste, y se conformaría en su mayoría por zonas residenciales que se desarrollaron a lo largo de la parte oeste del periférico ecológico y de la vía Atlixcayotl.

La ciudad vive un momento histórico importante en cuanto al desarrollo de vivienda, mismo que se ha sobrepasado la demanda de usuarios, esto ha favorecido la aparición altos niveles de desocupación de vivienda y altos índices de urbanización que acentúan y contribuyen al cambio climático local y al daño medio ambiental de la ciudad.

Algunas afectaciones ambientales en la zona norte, según el programa de gestión de la calidad del aire en la zona metropolitana del valle del Puebla (2006), su baja calidad de aire, es la zona más contaminada y corresponde a la parte industrial de la ciudad.

Por otro lado, cientos de árboles son talados constantemente para abrir camino a calles, fraccionamientos, infraestructura, unidades habitacionales, plazas comerciales, entre otras obras de urbanización; estas practicas remueven suelos y cubiertas naturales que son sustituidas por concreto y asfalto provocando la disminución de las superficies permeables y de los beneficios ambientales que aumentan la temperatura de la ciudad.

2.3 Los materiales de construcción de la estructura urbana

Es importante mencionar los materiales con los que se construye la ciudad pues es un factor importante en la formación de la isla de calor.

Bajo un contexto histórico, los materiales usados en las edificaciones inicialmente eran cal, barro y piedra que conformaban mampostería, ocasionalmente se utilizó el abobe que se puede llegar a encontrar en algunos barrios, pero no fue un material muy utilizado como en otras ciudades.

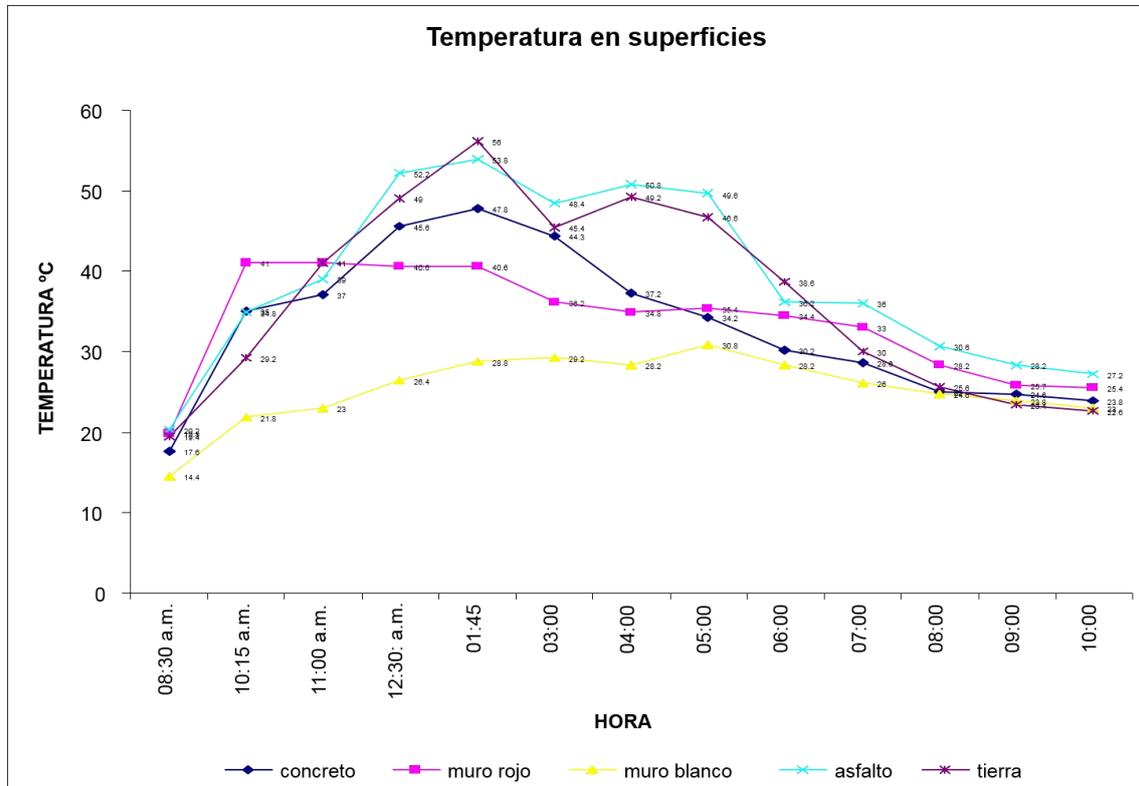
Un material predominante era el basalto que por su resistencia y abundancia era continuamente usado en fachadas y en el recubrimiento de calles y banquetas. El xalnene, la piedra pómez para las cúpulas de templos, el mármol, el alabastro, la grava, el barro, los ladrillos rojos en fachadas –comúnmente usado en siglo XVIII-, la madera para los marcos de puertas y ventanas, así como las mismas puertas, eran otros materiales usados frecuentemente en la arquitectura de la ciudad (Bühler, 2001).

Con la llegada de la industria y el avance tecnológico para inicios de siglo XX hasta nuestra actualidad los materiales más usados han sido el cemento y ladrillo en las edificaciones; en las zonas industriales, principalmente en algunas naves, se utilizan cubiertas de láminas de asbesto y galvanizada.

Para las superficies de rodamiento los materiales más comunes han sido el asfalto, adoquín y concreto hidráulico; por otro lado se han comenzado a implementar algunos nuevos materiales como el adocreto y el ecocreto, que facilitan el escurrimiento, principalmente en parques y plazas, aunque su uso no se ha generalizado.

No solo el tipo de material influye en el incremento de la temperatura de un espacio, su color es también un factor que condiciona dicho incremento, para ejemplificar esto en la Gráfica 1 se muestra el comportamiento térmico de algunos materiales. Esta medición se realizó cada hora en el lapso de un día en la zona sur de la ciudad de Puebla, se consideraron diferentes materiales y colores; en la gráfica se puede observar que el muro de ladrillo color blanco es el que menor temperatura presenta a lo largo del día, contrario a los que ocurre con el suelo descubierto (tierra) y el asfalto; Sin embargo el suelo descubierto presenta una pérdida de calor más rápida conforme llega la noche y

llega a alcanzar una temperatura similar (baja) al del muro blanco, esto se debe a que el suelo descubierto disipa más rápido el calor.



Gráfica 1. Temperatura de superficies a lo largo de un día
Fuente: Tzoni, 2010

2.4 Espacios públicos y áreas verdes

Con respecto a los espacios públicos y áreas verdes podemos decir que no existe información fidedigna y actualizada que las cuantifique y categorice, no se tiene claro qué es un área verde y de ahí el sesgo de información al respecto. Sin embargo, se tomarán los datos proporcionados por el organismo operador de parque y jardines para desarrollar este apartado.

La dependencia considera como áreas verdes a parques, camellones, ecoparque, jardines y plazas. En total se tienen cuantificados 615 espacios que dan un total de 115 has aproximadamente, lo que representaría el .5% de la zona urbana.

Las áreas verdes de la ciudad presentan un patrón de distribución irregular. La zona central cuenta con áreas verdes parcialmente distribuidas y en buen estado aunque sus dimensiones son pequeñas. Es común encontrar mayor porcentaje de áreas verdes en

colonias y fraccionamientos de tipo residencial, no así en las colonias populares ni en unidades habitacionales.

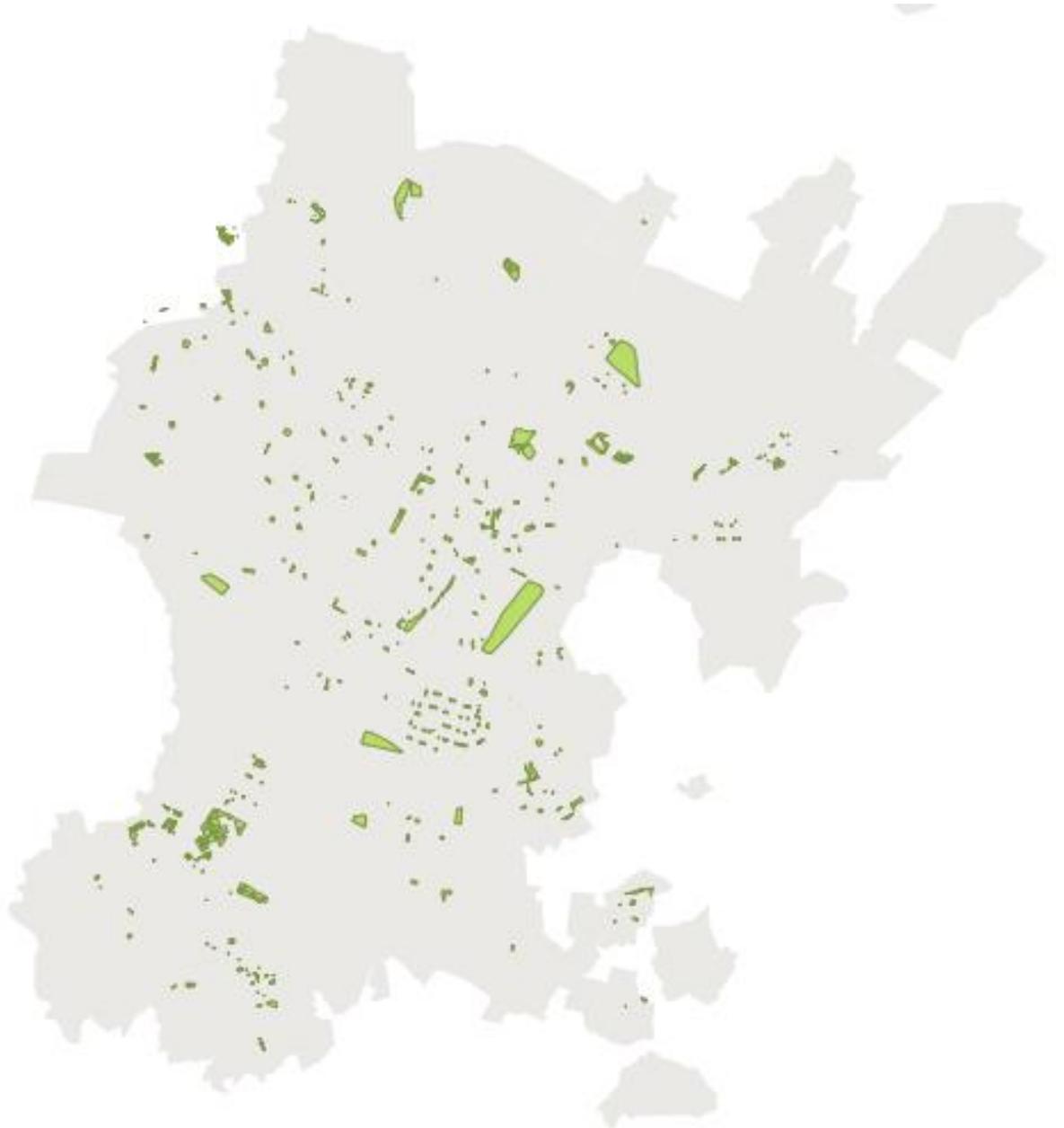


Imagen 11 Distribución de las áreas verdes en las ciudad
Fuente: Parques y jardines del municipio

Es importante mencionar que a nivel climático las áreas verdes tendrán un impacto significativo solo si su superficie vegetal es lo suficientemente densa.

En este sentido el municipio cuenta con pocos espacios con estas características, los más representativos son Paseo Bravo, Parque Revolución Mexicana, Parque de los Ferrocarriles, Parque del Arte, Laguna de Chapulco, Laguna de San Baltazar, zona histórica Fuertes de Loreto y Guadalupe. En general el resto de los parques y jardines tienen dimensiones medianas a pequeñas.

Por otro lado la clasificación de las áreas verdes del municipio contempla a las plazas como áreas verdes, aunque su configuración no incluya zonas con vegetación, por lo tanto no se puede establecer una cuantificación exacta en la materia debido a este sesgo.

Otros espacios considerados como áreas verdes pero que siempre tienen vegetación, son los camellones, en la ciudad los más representativos y con alta densidad vegetal son la avenida Juárez, Bulevar 5 de mayo, Bulevar Hermanos Serdán, Bulevar Atlixco, Bulevar del Niño Poblano por mencionar los más importantes.

Las especies vegetales más comunes que podemos encontrar en la ciudad son los ficus benjamina (*ficus benjamina*) laurel de la india (*ficus microcarpa*), trueno ramo de novia (*ligustrum japonicum*), fresnos (*fraxinus excelsior*); jacarandas (*jacaranda mimosifolia*); colorines, (*erythrina coralloides*); álamos (*populos alba*) y pirules (*Schinus molle*).

En general el municipio cuenta con pocas áreas verdes de calidad y no existe una distribución ni mantenimiento adecuado.

Capítulo III. El estatus de las áreas verdes y la isla de calor en la ciudad de Puebla

Como ya se mencionó en capítulos anteriores las áreas verdes o vegetación tienen una influencia en la temperatura del aire y de las superficies, y que por esta razón podrían considerarse como elementos de la estructura urbana que contrarresten los efectos negativos de la isla de calor. Sin embargo, estas áreas en la ciudad de Puebla son las menos y se enfrentan a una serie de problemas que ponen en riesgo su permanencia y posible construcción a futuro.

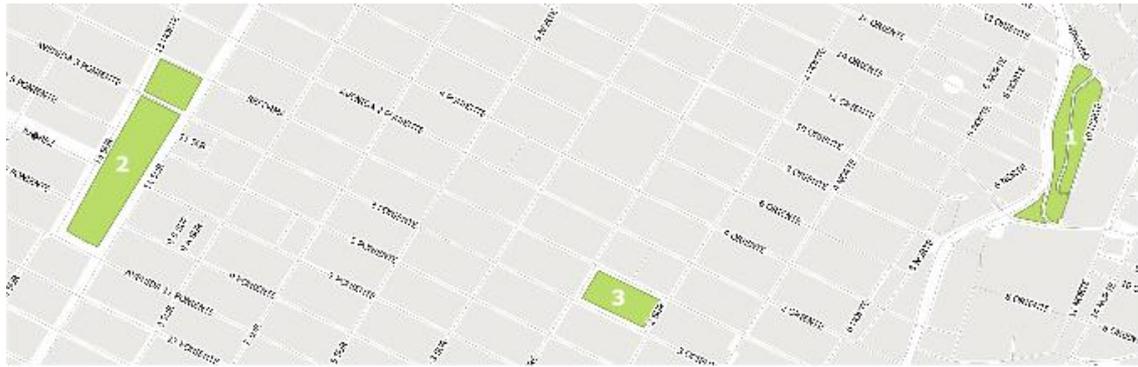
El presente capítulo expone la situación actual de las áreas verdes en la ciudad, así como los problemas en materia de gestión y planeación que estos espacios padecen. También se considera la asociación en materia de cambio climático, en el entendido de que la isla de calor es una modificación del clima local.

3.1 Evolución de las áreas verdes en la ciudad de Puebla

La traza de la ciudad de Puebla, como se mencionó en el capítulo 2, se diseñó con las ordenanzas acordadas por Felipe II, las cuales definían un diseño de centro de población particular que consistía en una plaza central o de armas, hoy zócalo; un espacio para el clero, que representaba el poder eclesiástico; y portales alrededor de la plaza de armas en donde se albergaban las actividades gubernamentales y comerciales; a partir de este primer cuadro se situaron solares para vivienda, hospitales, escuelas y mercados.

Los áreas verdes (parques y jardines) fueron únicamente incluidas en las en los patios interiores de las casas, conventos y edificios públicos, en esta etapa de fundación no se reservó ningún espacio para área verde como tal, fuera de estos.

Años más tarde y por la influencia del concepto de embellecimiento de la ciudad se crean espacios ajardinados con un fin esencialmente estético y social; producto de esta influencia surge en la ciudad el paseo de San Francisco entre 1775 y 1780 convirtiéndose este espacio en el más antiguo de la ciudad, posteriormente se construye el Paseo Bravo en 1838 (Jimarez, 2008) (Imagen 12).



1. Paseo de San Francisco



2. Paseo de Bravo



3. Zócalo

Imagen 12 Primeras áreas verdes de la ciudad

Fuente: Elaboración propia

La ciudad tuvo un auge en la inserción de áreas verdes a principios del siglo XX, su proyección sigue siendo ornamental, aunque se empieza a conocer la importancia sobre la salubridad que representa tener cerca parques y jardines, tomando esta idea como base se proyectan jardines como los de Ángela Peralta, San José, San Luís, Los Remedios y Santiago (Montero, 2002).

En este período las áreas verdes no estaban reguladas ni promovidas por el gobierno, eran producto de la espontaneidad y voluntad política y social que no respondía a un proyecto de planificación urbana. Es hasta 1930 que se asienta el primer antecedente legislativo en materia de áreas verdes con el reglamento para la formación de colonias urbanas y nuevos centros de población, que en su artículo 8 indica:

Sustanciado el expediente o en su caso, emitido el parecer del Departamento Consultivo, el jefe de Departamento de Fomento dará cuenta con el expediente C. Gobernador, acompañado dictamen técnico formulado por el propio Departamento sobre el asunto, así como plano de lotificación, en el que se incluirá lugar para las calles, escuelas, mercados, parques, etc.

Más adelante, al crecer la ciudad los espacios destinados para áreas verdes se incluyeron en las norma de urbanización de colonias y fraccionamientos. Hacia 1940 en la ley sobre fraccionamientos urbanos de la ciudad de Puebla, en su artículo 35 se hace referencia a las áreas de donación para estos espacios.

En todo fraccionamiento debe hacerse donación a favor del ayuntamiento, del tanto por ciento que a continuación se especifica sobre la superficie total lotificada, para el establecimiento de parques, construcciones de mercados, escuelas y demás edificios públicos necesarios. En fraccionamientos que tengan superficies de 4 hectáreas o menos la donación será del diez por ciento de la superficie total, y cuando la superficie sea mayor de 4 hectáreas la donación será del seis por ciento.

El ayuntamiento tomará posesión de las superficies que según este artículo debe serle donadas para usos públicos, tan pronto como haya sido otorgada la garantía a que se refiere el artículo 11 y se hará constar dicha donación en el mismo instrumento público que al efecto se otorgue. En un fraccionamiento cuya superficie sea inferior a una manzana, el ayuntamiento podrá dispensar a los fraccionadores de la donación a que este artículo se refiere.

Los fraccionamientos que lograron consolidarse bajo este esquema fueron el fraccionamiento: San Francisco, que en la parte central destinó una manzana para el parque la Pérgola; La colonia Santa María en donde se estableció el parque Niños de Puebla; La colonia Humboldt que incluyó en su traza rotondas ajardinadas y la colonia el Carmen que reservo solares para dos jardines: el del Carmen y Federico Escobedo (Jimarez, 2008; Montero, 2002) (Imagen 13).

Es también en los años 30´s cuando que se dan políticas importantes de mantenimiento a parque, jardines y avenidas beneficiándose de la siembra de árboles y arbustos la avenida La Paz (hoy avenida Juárez), el jardín de Analco y el Paseo de San Francisco.

Para los años 80´s y 90´s se trasforman en pequeños parques y jardines algunas gasolineras que se encontraban en el centro histórico surgiendo el parque Luis Donaldo Colisio, parque Sor Juan Inés de la Cruz, parque Vicente Lombardo Toledano y parque Gutierrez de Cetina (Imagen 13).

También se crean a finales de los 90´s áreas verdes de grandes dimensiones y que hoy son consideradas los pulmones urbanos de Puebla, el parque Ecológico Revolución

Mexica en 1985, que se asentó en los parajes de lo que era aviación y la laguna de San Baltazar, que se rescató en 1983 en la junta auxiliar San Baltazar Campeche y le parque Benito Juárez (Imagen 14).

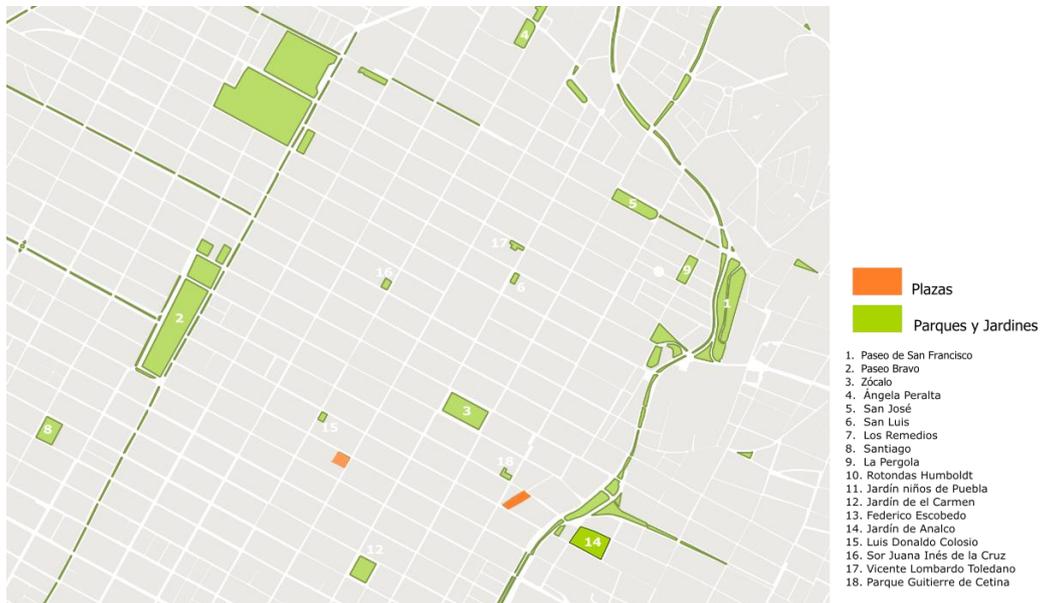


Imagen 13 Primeras áreas verdes de la ciudad

Fuente: Elaboración propia con información de departamento de parques y jardines

En los últimos 15 años se han creado parques de grandes dimensiones como la laguna de Chapulco que fue rescatada y trasformada en parque el parque del Centenario, el parque del Arte en la reserva de Angelopolis, el rescate del Hagüey de Agua Santa, el Bioparque la Calera y otro más de menores dimensiones que nacen junto con las nuevas colonias y fraccionamientos.



Imagen 14 Grandes áreas verdes de la ciudad

Fuente: Elaboración propia con información de departamento de parques y jardines

Actualmente la ley de fraccionamientos y acciones urbanísticas del Estado Libre y soberano de Puebla no establece un porcentaje concreto para áreas verdes, únicamente menciona que se deberá donar el 20% para implementación de equipamiento urbano, y en su artículo 12 menciona que se deberá destinar hasta el 50% de la superficie de terreno que reciba en donación gratuita para equipamiento urbano, recreación y/o deporte y el resto para área verde, de conformidad con los Planes y Programas de Desarrollo Urbano vigente, esto nos deja en un 10% para estas áreas como hace 60 años.

Las áreas verdes en la ciudad de Puebla en su proceso histórico no han sido consideradas con una visión ecológica ambiental ni de planificación, se les ha visto únicamente como áreas para realzar el valor estético de los espacios, esto se ha dejado ver en las normas y diversos programas que impulsan su creación, remodelación, y rescate.

Además a nivel global la importancia de las áreas verdes se remonta apenas a unas cuantas décadas con la reciente crisis ambiental que vive el planeta, es posible que por ello aún no se consoliden reglamentos y una cultura en cuanto a su creación.

3.2 La actualidad de las áreas verdes y la isla de calor en la ciudad de Puebla

En la actualidad uno de los problemas más evidentes en la ciudad de Puebla aparte de su carencia es la definición, no se tiene definida, ni estructurado una metodología para categorizar a las áreas verdes, no existen planes espaciales que favorezcan su creación, desarrollo y mantenimiento y tampoco existe una legislación específica en esa misma línea.

Con respecto a la isla de calor no es mencionada en ningún instrumento de planeación a nivel gubernamental ni mucho menos a nivel legislativo, su estudio se limita únicamente al quehacer académico.

3.2.1 Las áreas verdes y el cambio climático en la Puebla, un intento fallido en la planeación urbana

Siendo las áreas verdes un servicio que debe dar el municipio⁶ se analizará el papel que juegan en los planes y programas de desarrollo, asimismo se mencionan las iniciativas que han considerado la relación áreas verdes-clima.

Programa de desarrollo urbano sustentable de Puebla 2007⁷. La carta de uso de suelo.

El programa de desarrollo urbano sustentable de Puebla nos da un amplio diagnóstico de las áreas verdes de la ciudad, sin embargo, tiende a centrarse en los parques y jardines que se localizan en la zona de monumentos, se hace referencia a la mala planeación, poca creación y su casi nulo mantenimiento (PDUSP, 2007).

En las propuestas se limita a recomendar franjas de césped con el fin de incrementar espacios naturales, los datos expuestos carecen de análisis, por lo tanto las propuestas en la materia resultan escuetas. Por otro lado no se hace referencia a la relación áreas verdes-clima.

Pla de desarrollo municipal 2008-2011. Puebla sistema verde

El plan de desarrollo municipal 2008-2011 no hace explícita la problemática de las áreas verdes, sin embargo propone un esquema de remodelación de espacios públicos, considerando a parques y jardines.

La iniciativa era bastante prometedora, sin embargo las intervenciones en parques y jardines se limitaron a resaltar el aspecto de impacto visual-estético, además, las acciones se concentraron en la zona de monumentos. La falta de visión ecológica en estos programas provocó una importante pérdida de cubierta vegetal y natural al transformar en plazas a jardines como el del Carmen, San Luis y Sebastián Bach (Imagen 15).

Esta administración impulsó una estrategia llamada “Manos a la Obra”, considerada en el eje 3 del plan de Desarrollo Urbano Sustentable y Servicios Públicos, y planteaba como meta garantizar la sustentabilidad del desarrollo a través de Puebla Sistema

⁶ Según el artículo 115 constitucional

⁷ Es el programa de desarrollo urbano sustentable vigente. Actualmente se está sometiendo a revisión conforme lo indica la ley de planeación en su artículo 45 y 46 para validar su actualización.

Verde, el objetivo era ambicioso y muy puntual: **incrementar de manera sustentable y ante condiciones de mitigación y adaptación del cambio climático los espacios verdes para mejorar el indicador mediante programas de reforestación y custodia de áreas verdes.**

Sin embargo, las acciones realizadas con las remodelaciones dejaron de lado este objetivo ya que se trasgredió el principio básico para la regulación del clima, reducción de cubiertas vegetales.



Imagen 15 Jardines transformados en plazas: a) plazuela del Carmen b) plazuela Carmen Serdán c) Plazuela San Luis

Fuente: Elaboración propia

Este plan tenía buenas intenciones ya que habla de un sistema y además incluye el enfoque de cambio climático. Algunos resultados positivos fueron el rescate de la laguna de Chapulco y la creación del parque Arboledas de Rementería, además se impulsaron obras de reforestación y se creó una Agencia de Protección al Ambiente que esperaba consolidarse como una institución especializada en resolver problemas ambientales, sin embargo al término de la administración desapareció dejando nuevamente un hueco en la materia. (PMD, Plan Municipal de Desarrollo 2011-2014, 2011) (ONU-HABITAT, 2012).

Plan municipal de desarrollo 2011-2014. Programa Integral para la identificación y diagnóstico de los recursos naturales y áreas verdes

Este plan presenta un diagnóstico objetivo de las situación de las áreas verdes, plantea una problemática general y soluciones a partir de una línea estratégica llamada planeación, manejo y protección de los recursos naturales, la cual tenía como objetivo: promover la planeación, gestión y control ambiental de los recursos naturales, las áreas verdes, los espacios públicos y las fuentes fijas de emisiones al ambiente de competencias municipal.

También consideraba implementar el manejo, preservación y ampliación de los recursos naturales y áreas verdes del municipio de Puebla, además de establecer acciones que impulsaban el rescate, protección y conservación de los recursos naturales y áreas verdes, así como su incremento. Incluyó también la rehabilitación, mantenimiento y/o conservación de áreas verdes, calles y fuentes en parques y jardines, y una de las más importantes: promover la adquisición de suelo para destinarlo al uso de áreas verdes y equipamiento.

Los resultados de estas líneas estratégicas se focalizaron a la siembra de árboles y el mantenimiento estacional de los parques, jardines y camellones.

En esta administración se fortaleció el programa custodia de áreas verdes que consiste en invitar a la iniciativa privada y a la ciudadanía a adoptar un área verde a fin de darle mantenimiento.

La creación de áreas verdes no se reflejó como se esperaba, el único parque que se creó fue el Ecoparque Metropolitano en las laderas del río Atoyac y como tal no se puede considerar un parque sino un rescate, este mismo esquema se aplicó en las áreas verdes del cerro de Lotero y Guadalupe.

Estas intervenciones evidenciaron la necesidad de mantenimiento de estas áreas, ya que se instalaron en algunos tramos pasto sintético a fin de evitar el mantenimiento de estas áreas, esto expuso la falta de enfoque ecológico de los proyectistas encargados y del propio gobierno quien autorizó dichas obras.

Con respecto al cambio climático se integra al plan un diagnóstico de adaptación y mitigación al cambio climático, sin embargo no expone ninguna línea de acción en específica (PMD, 2011).

Plan de gestión ambiental para el municipio de Puebla 2013

Uno de los aciertos en el período de gobierno de Eduardo Rivera (2011-2014) fue la elaboración del plan de gestión ambiental en donde se expone la problemática de las áreas verdes.

Propone un inventario de áreas verdes, participación ciudadana en el mantenimiento, creación de fondos verdes para la reforestación de especies nativas, y menciona que éstas deben usarse para regular el microclima.

Se proponen algunas líneas con respecto a la integración de fenómenos climáticos adversos al atlas de riesgos y se menciona la tendencia de elevación de la temperatura (PGAMP, 2013), no obstante la propuesta de éstas políticas no llegaron a materializarse.

Plan de acción climática municipal PACMUN 2011-2015

El Plan de Acción Climática Municipal es un programa impulsado en México por ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad con el respaldo técnico del Instituto Nacional de Ecología (INECC) y financiado por la Embajada Británica en México en el período 2011-2015 (PACMUN, 2014)

El PACMUN busca difundir la problemática del cambio climático a nivel municipal a fin de facilitar estrategias y acciones en materia de cambio climático. Es decir, cada municipio debe identificar sus principales fuentes de CO₂ para así evaluar y proponer medidas de mitigación y adaptación, además de medir los impactos del cambio climático en los diferentes sectores productivos y por ende en la calidad de vida de los habitantes.

El Municipio de Puebla desarrollo su PACMUN en el 2012, sin embargo por falta de información de seguimiento de empresas que generan CO₂ el plan se quedó con ciertos vacíos, a pesar de, es un buen antecedente y el primer esfuerzo que se asienta en el municipio en materia de cambio climático.

Para el interés de este estudio el PACMUN únicamente se centra en el proceso de adaptación del cambio climático en los sectores de producción, no se hace referencia a los cambios climáticos que se llevan a cabo en la ciudad ni se explican sus consecuencias, se limita al cambio climático por CO₂. La isla de calor que es una manifestación de cambio climático en la ciudad no se menciona.

En las propuestas establecidas se plantea un adecuado manejo de uso de suelo y promover el rescate y recuperación de las áreas verdes, destinar más áreas con uso específico de reservas naturales en el entendido de que son buenos receptores de CO₂.

Plan municipal de desarrollo 2014-2018. La meta: duplicar las áreas verdes urbanas

El plan municipal actual concentra sus acciones en una problemática específica, el déficit de áreas verdes; la meta al final de la administración: duplicar las áreas verdes urbanas a cargo del municipio, además promueve la rehabilitación de parques y jardines.

A la fecha se han realizado algunas labores de rescate de áreas verdes, arborización y trabajos de jardinería.

Con respecto al clima únicamente considera la revaloración del Plan de Acción Climática Municipal (PMD, 2014).

Se planea que las áreas verdes se incrementen transformando en parques a cuatro terrenos localizados en la periferia de la ciudad, esto indica una falta de planeación y de conocimiento del problema del déficit de las áreas verdes, no deben colarse arbitrariamente, su implementación debe responder a la necesidad en función del espacio.

Con respecto a cuestiones climáticas no se identifican acciones específicas que vinculen áreas verdes y clima, únicamente se enfoca en la reducción de gases de efecto invernadero con mecanismos que impulsen el uso racional de la energía.

3.2.2 Los estándares nacionales e internacionales de áreas verdes, la ciudad de Puebla sin llegar a la meta

Las áreas verdes actualmente representan un reto para las ciudades, la gran problemática ambiental que éstas padecen las hacen regresar o traer a espacios urbanos ambientes naturales para mejorar la salud mental y física de sus habitantes y de la propia atmósfera urbana.

Ante esta problemática generalizada, a nivel mundial surgen acuerdos que buscan resarcir los daños ambientales a través de iniciativas generalizadas; para las áreas verdes la institución que marca un estándar es la Organización Mundial de Salud (OMS).

La norma internacional usada como indicador en materia de áreas verdes, dice que una ciudad o asentamiento debe de contar con un estimado de 9 m² de área verde por habitante.

El contexto de esta norma está dirigida a la prevención de la salud en ambientes de vivienda. Por otro lado, no existe un informe detallado por la ONU y la OMS que sustente por qué 9 metros cuadrados por habitante, el antecedente que se tiene al respecto data del año 1965 en el Informe del Medio Ambiente Relacionado con la Ordenación Urbana y la Urbanización en donde se resalta la importancia de los espacios libres en el medio urbano como elementos generadores de salud.

También ahí mismo se hace referencia al quinto informe del comité de expertos de la OMS en administración sanitaria en donde se hace notar que la reducción constante de las zonas verdes ha alterado el microclima de las ciudades (OMS, 1965) y se recomienda la planificación regional para asegurar un medio salubre.

En México los indicadores de áreas verdes (entendidos como parques y jardines) se sustentan en el artículo 73 La ley de vivienda que establece la dotación de equipamiento con respecto a espacios públicos de la siguiente manera:

Para localidades de 100 hasta 1,400 habitantes se requerida de espacios públicos que cubran 2mts² por habitante.

A partir 100 y hasta 1,400 habitantes se destinaran 2mts² por habitante para jardines con juegos infantiles. Mínimo de superficie de 200 mts²; y partir de 1400 habitantes está superficie podrá ser de 1.5mts²/hab. Los recorridos para acceder a estos espacios no deberán exceder de 300 mts y los usuarios no tendrán que cruzar vialidades primarias.

A partir de 1, 400 habitantes se destinaran por lo menos 1mts²/hab para parques. Los habitantes no tendrán que recorrer más de 1,000 mts para poder acceder a estos espacios.

A partir de 10,000 habitantes se destinaran 0.15 mts²/hab para plazas públicas. Mínimo de superficie 1,500 mts². El usuario no deberá recorrer más de 2,000 mts para acceder a este espacio.

A partir de 10,00 habitantes se destinaran al menos 0,5 mts² /hab. para módulos deportivos. Superficie mínima de 5,000 mts². Para acceder a estos espacios la población no deberá recorrer más de 2,000 m.

La ciudad de Puebla tiene diversos índices de áreas verdes, no existe una metodología específica para determinar el número exacto de área verde por habitante, el programa de desarrollo urbano sustentable vigente dice que hay en un total de 2.1 m² y el plan de desarrollo 2014-2018 nos dice que hay 3.1, parques y jardines no tiene actualizado el catálogo de áreas verdes por lo que no puede especificar un número.

Las diferencias en la estimación de áreas verdes se debe a que no existe una homogenización en el término, no se sabe a ciencia cierta qué es un área verde, además existen áreas verdes a cargo del gobierno del Estado y del municipio, por lo que las medidas que solo consideren a las que están a cargo de las municipales se verán modificadas si se le excluyen las que están a cargo del Estado aunque estas sigan en el mismo territorio, un ejemplo de ello son los parques del Arte y Revolución Mexicana quienes están a cargo del Estado y por lo tanto el municipio no las cuenta dentro de sus sistema de indicadores.

Se requiere de una homogenización de los términos entre las diferentes instituciones que se ocupan de las áreas verdes para poder establecer un indicador más certero, dejando de lado la discriminación de áreas estatales y municipales para el conteo, haciendo referencia a que los servicios ambientales que estas áreas presentan no se limitan geográfica o territorialmente.

3.2.3 Las legislación en materia de aéreas verde y cambio climático un hueco en la gestión de la ciudad

Las áreas verdes y el clima son temas que se están empezando a considerar dentro de la planeación de la ciudad, el cambio climático inminente que le planeta sufre por causas naturales y por acciones del hombre ha evidenciado sus consecuencias en la forma de vida de los habitantes, lo mismo las que las áreas naturales.

Por lo tanto, y ante está necesidad de ambientes salubres que mantengan un modo de vida digno en las ciudades y en general en el planeta, ya que el cambio climático y el daño a los ambientes naturales son problemas de interés global, se establecen normas o líneas de acción que los gobiernos comienzan a establecer bases legales a fin de regular estos temas.

Las leyes a continuación mencionadas hacen referencia en su contenido a las áreas verdes, entendidas como parques, jardines, plazas, camellones y demás.

Constitución 115-federal. Por medio de la asignación a los municipios de proveer a la población de parques y jardines, en esta ley se entienden como servicios.

Ley General de Asentamientos Humanos (Federal). Da al Estado la facultad de determinar el porcentaje de área verde en cada asentamiento.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Preservación al Ambiente (Federal). Faculta a los municipios para la creación y administración de zonas de preservación ecológica de los centros de población, parques urbanos, jardines públicos y demás áreas análogas previstas por la legislación local.

Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla (Estatal). Delega la responsabilidad de abastecimiento como servicio público los municipios a parques, jardines y su equipamiento.

Ley Fraccionamientos y Acciones Urbanísticas de Puebla (Estatal). Define a las áreas verdes como la superficie verde en cada lote; destina una superficie para área verde, la cual está en función del sobrante del 50% que debe ser donado como terreno para equipamiento. También, establece las normas que los fraccionadores deben cumplir en materia de áreas verdes en donde nos indica que se debe destinar la superficie de área verde conforme se establezcan los coeficientes de uso y ocupación del suelo.

Por último, Establece que los propietarios de lotes deberán de cercar su propiedad conservando y preservando el medio ambiente, los árboles y en general las áreas verdes de los mismo.

Ley de Desarrollo Urbano Sustentable de Puebla. Indica que la proporción entre las áreas verdes y las edificaciones destinadas a la habitación, los servicios urbanos y las actividades productivas estarán dictadas en el Programa de Desarrollo Urbano Sustentable de Puebla.

Faculta a los municipios para estos puedan crear y administrar parques y jardines.

Menciona a la dasonomía urbana como el cultivo y aprovechamiento de los bosques urbanos, periurbanos y de los árboles en las vialidades.

Ley de Fomento Económico del Estado de Puebla (Estatad). Fomenta áreas verdes en las zonas industriales.

Ley de Registro de la Propiedad (Estatad).

Ley para la Protección del Ambiente Natural y el Desarrollo Sustentable del Estado de Puebla (Estatad)

Ley de Agua para el Estado de Puebla (Estatad)

Ley Estatal de Salud (Estatad)

Ley Orgánica (Estatad)

Código Reglamentario Municipal (Estatad)

Es importante mencionar que no existe una ley concreta que impulse y proteja a las áreas verdes; al parecer solo se delega la dotación y responsabilidad de las áreas verdes a reglamentos, leyes y programas que al revisarlos no cuentan con información al respecto y cuando existe no es sustancial.

3.3 Los retos que enfrentan las áreas verdes urbanas de la ciudad de Puebla

Una de las preguntas más comunes que suelen hacerse los ambientalistas es ¿Por qué, si sabemos de los beneficios que las áreas verdes nos dan, no se impulsa la creación de estas? El Banco Internacional de Desarrollo, BID, reconoce que las áreas verdes juegan un papel importante dentro de la ciudad, estudios realizados por esta organismo demuestran que el financiamiento en este campo contribuye al bienestar ambiental, social y económico de las sociedades urbanas. Sin embargo, existen diversos contratiempos que las áreas verdes enfrentan y que hacen complicada su implementación, particularmente en en la ciudad de Puebla y se describen a continuación.

Evaluación económica. La pregunta inicial es la siguiente ¿cómo asignar un valor económico a los bienes naturales? Las áreas verdes para su creación dentro de la ciudad generan un gasto económico, posteriormente en el momento en que entran en operación también; estos gastos son difíciles de recuperar ya que son espacios públicos. Si se quisieran recuperar entonces se tendría que cobrar una cuota por el acceso a

ellas, esto resulta difícil porque son servicios de equipamiento que deben ser gratuitos para la población.

La ciudad de Puebla presenta este problema, son pocas áreas verdes debido a que su creación genera un costo beneficio muy bajo en términos monetarios, los beneficios que las áreas verdes proveen no son lo suficientemente explícitos y para el sistema en el que nos encontramos, cualquier obra se rige bajo el principio de inversión. Y hasta el momento no se ha logrado ver en esa forma debido a que no existe conocimiento de cómo volver un proyecto de área verde un proyecto de inversión.

Retos institucionales. Es uno de los más importantes y que se dejan ver claramente en las municipalidades. En una entrevista con Juan Carlos Rivera Arenas, del departamento de parques y jardines, nos pudimos percatar que no existe una coordinación institucional. No se tiene un programa o plan de manejo de áreas verdes, ni un departamento como tal. Parques y jardines del municipio es una institución meramente operativa, sin la capacidad de proyectar ni planificar.

Por otro lado, la importancia y por ende la implementación de proyectos depende de la visión de quien esté a cargo de las instituciones correspondientes, y al parecer no existe una comprensión adecuada de los beneficios que las áreas verdes por los directivos de las dependencias, lo que ha mermado los avances en esta área.

Sustentabilidad financiera. Es de los retos más grandes que las áreas verdes padecen al crearse ¿cómo se mantiene un área verde? El municipio destina recursos financieros para el mantenimiento de las áreas verdes, no obstante pareciera que solo alcanza para cuidar las ubicadas en el centro histórico de la ciudad, las que se encuentran fuera de este buffer son difícilmente beneficiadas, sobre todo las que se encuentran en las colonias populares o unidades habitacionales.

Algunas áreas verdes como La laguna de San Baltasar se mantienen gracias a una cuota de recuperación que piden a los usuarios. Camellones y arbolado viario puede permanecer varios meses sin recibir mantenimiento. Algunas otras áreas como el parque Ecológico y la Laguna de Chapulco al permitir que pequeños comercios vendan sus productos aseguran ingresos para su mantenimiento. Las áreas verdes del Centro

Histórico se ven beneficias por estar dentro de una zona de monumentos y que por ende obliga al cabildo, de alguna forma, a mantenerlas en buenas condiciones.

A modo de conclusión podemos mencionar que las áreas verdes no tienen atención legal y son consideradas como elementos importantes en la planeación de la ciudad, únicamente son vistas, y solo en algunas partes de la ciudad, como elementos estéticos. Además estas áreas representan un costo beneficio económico muy bajo por lo que resulta difícil su mantenimiento. Con respecto a la isla de calor no se tiene ninguna consideración ni en el ámbito de planeación ni en el ámbito legal.

Capítulo IV. Análisis de la isla de calor y de la cubierta vegetal en la ciudad de Puebla

En este apartado se exponen los estudios previamente realizados de isla de calor; estos datan de apenas unas cuantas décadas y ubican una isla de calor de tipo atmosférica; por otro lado para complementar este estudio se procesaron imágenes satelitales a fin de generar información reciente, no obstante como se menciona en el capítulo I el tipo de isla de calor que es posible detectar mediante esta técnica es de tipo superficial.

Considerando que la energía radiada por las superficies es la causa principal de la isla de calor debido a los intercambios de calor entre la superficie y la atmósfera, se considera válido el uso de imágenes satelitales para su detección. También se realizó con esta misma técnica un análisis de la calidad de la vegetación de la ciudad a través del cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, que identifica cubiertas vegetales en función del contenido de agua; de esta forma fue posible correlacionar las variables vegetal y térmica.

4.1 La isla de calor atmosférica

Estudios desarrollados en materia de clima urbano, y que evidencian la presencia de la isla de calor de tipo atmosférica en la ciudad de Puebla, estuvieron a cargo de Guenther Michael Gaeb (1970) de la universidad de Bonn, dichos estudios consistieron en realizar recorridos por la ciudad con un automóvil equipado con sensores.

Según su estudio las mayores temperaturas se registraron en el centro histórico, sin embargo, el Paseo Bravo y el Zócalo son de 2 a 3 °C más fríos que algunos puntos del núcleo de la ciudad situados a sólo 100 mts de distancia; también el paseo de San Francisco y el centro escolar Niños Héroes de Chapultepec fueron 4 y 5 ° C más fríos que sitios localizados a 1 km de distancia” (Gaeb, 1970), lo mismo sucedió con lugares como el Panteón la Piedad y los Ferrocarriles. Las temperaturas más bajas se ubican al norte del cerro de Loreto donde se formó una acumulación de aire frío (Imagen 16, Imagen 17).

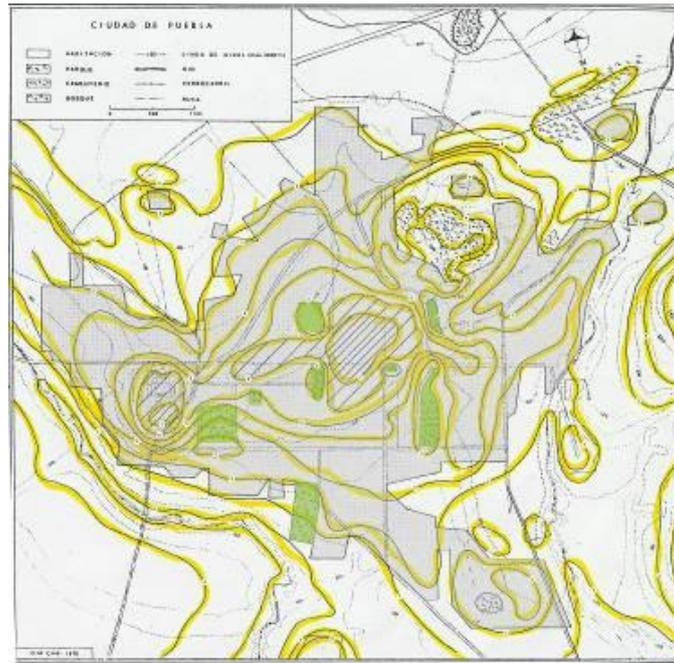


Imagen 16 Isla de calor 16 de enero de 1970 a las 7 a.m.

Fuente: Gaeb, 1970

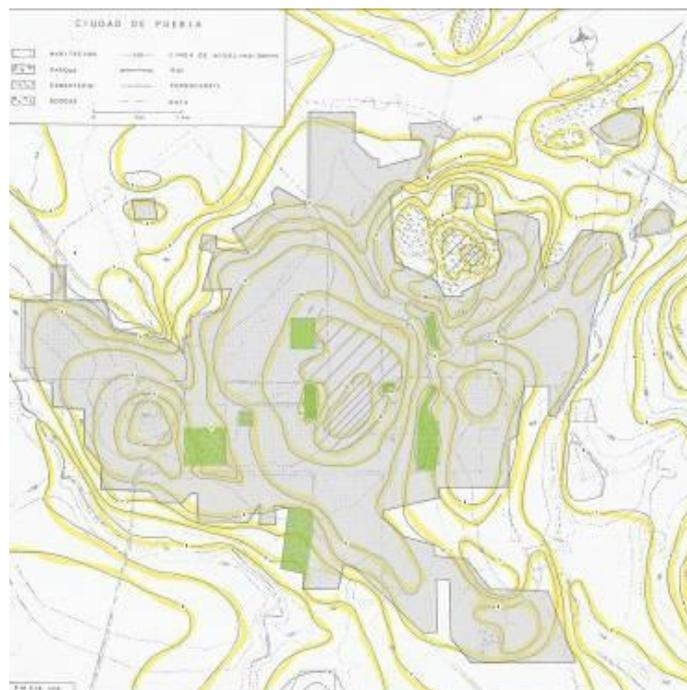


Imagen 17 Isla de calor 24 de abril de 1970 a las 6:30 a.m.

Fuente: Gaeb, 1970

Más tarde en 1998 Gabriel Balderas del Departamento de Investigaciones Arquitectónicas y Urbanísticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, realizó una investigación denominada “El clima urbano en Puebla” quien también, por medio de recorridos nocturnos en un automóvil equipado identificó la formación de

núcleos calientes en el centro de la ciudad y en la colonia San Manuel (Imagen 18). Al igual que Gaeb, halló una isla fría en el cerro de Loreto y Guadalupe, menciona que su formación se debe a la influencia del bosque (Balderas et al, 1998).

También, tomó datos de estaciones meteorológicas a fin de observar la evolución diurna y estacional de la isla de calor. Los resultados fueron similares a los recorridos, los islotes de calor se concentran en el centro de la ciudad -centro histórico- debido a las construcciones masivas, de mayor altura y áreas más densificadas. El resultado de ambos estudios muestran que “las temperaturas más altas se ubican en la parte central de la ciudad y al inferior de la zona norte, confirmándose que los efectos urbanos imponen las características térmicas de la ciudad” (Balderas et al, 1998). También coincidieron que las zonas con vegetación presentan temperaturas atmosféricas más bajas.

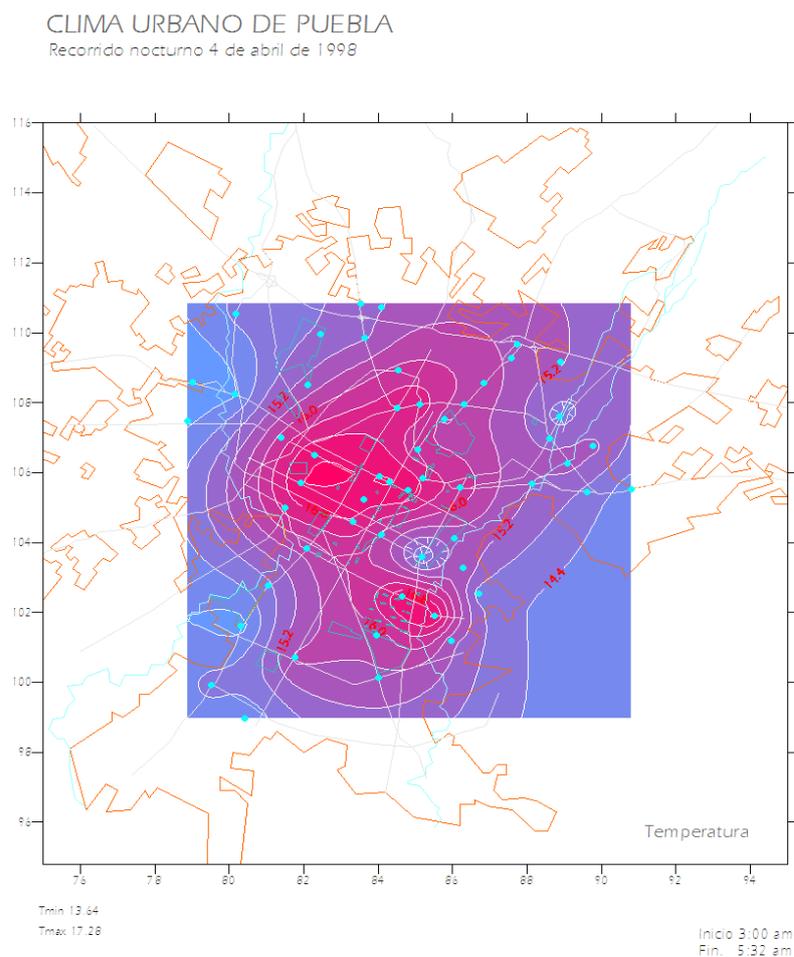


Imagen 18 Isla de urbana de calor en Puebla, 4 de abril 1998

Fuente: Balderas et al, 1998

4.2 Isla de calor superficial

Para identificar la isla de calor de tipo superficial se procesaron dos imágenes satelitales que corresponden a la temporada seca y húmeda de la ciudad, ello se hizo con el fin de poder establecer una comparación temporal.

Las fotografías se obtuvieron de la plataforma Landsat OIL TIRS, las fechas de las fotografías son del 14 de abril del 2014 y del 17 de Julio del mismo año. La hora de la toma fotográfica por el satélite fue a las 16:53:42 hora en el ecuador, hora local 15:53:42; esta hora facilita la localización de la isla de calor debido a que en esas horas del día la radiación solar alcanza sus niveles más altos.

El procesamiento de las imágenes satelitales consistió en la aplicación de una corrección radiométrica para transformar los niveles digitales crudos de la fotografía a parámetros físicos, específicamente a valores de radiancia, posteriormente se procedió a transformar dichos valores a temperatura⁸.

Para el 14 de abril de 2014 se obtuvieron rangos de temperatura que oscilan entre los 22.08 °C min y 46.33 °C (Imagen 19).

Las zonas que presentan máximos en temperatura, entre los 38 °C y 46°C, corresponden a suelos naturales descubiertos de vegetación y a terrenos agrícolas, este fenómeno posiblemente se deba a dos situaciones: la primera es que al momento de la toma de la fotografía estos terrenos hayan sufrido quema de vegetación (actividad común en estas temporadas); la segunda es que los suelos descubiertos o sin vegetación seca suelen tener un albedo bajo⁹, se ubican principalmente en la zona norte de la ciudad (Imagen 20).

⁸ En el anexo 1 se especifica el proceso metodológico que se aplicó a las fotografías obtenidas.

⁹ Aunque estas superficies presenten temperaturas altas en el día, por la noche su proceso de disipación es más rápido que en superficies duras como el concreto y asfalto.

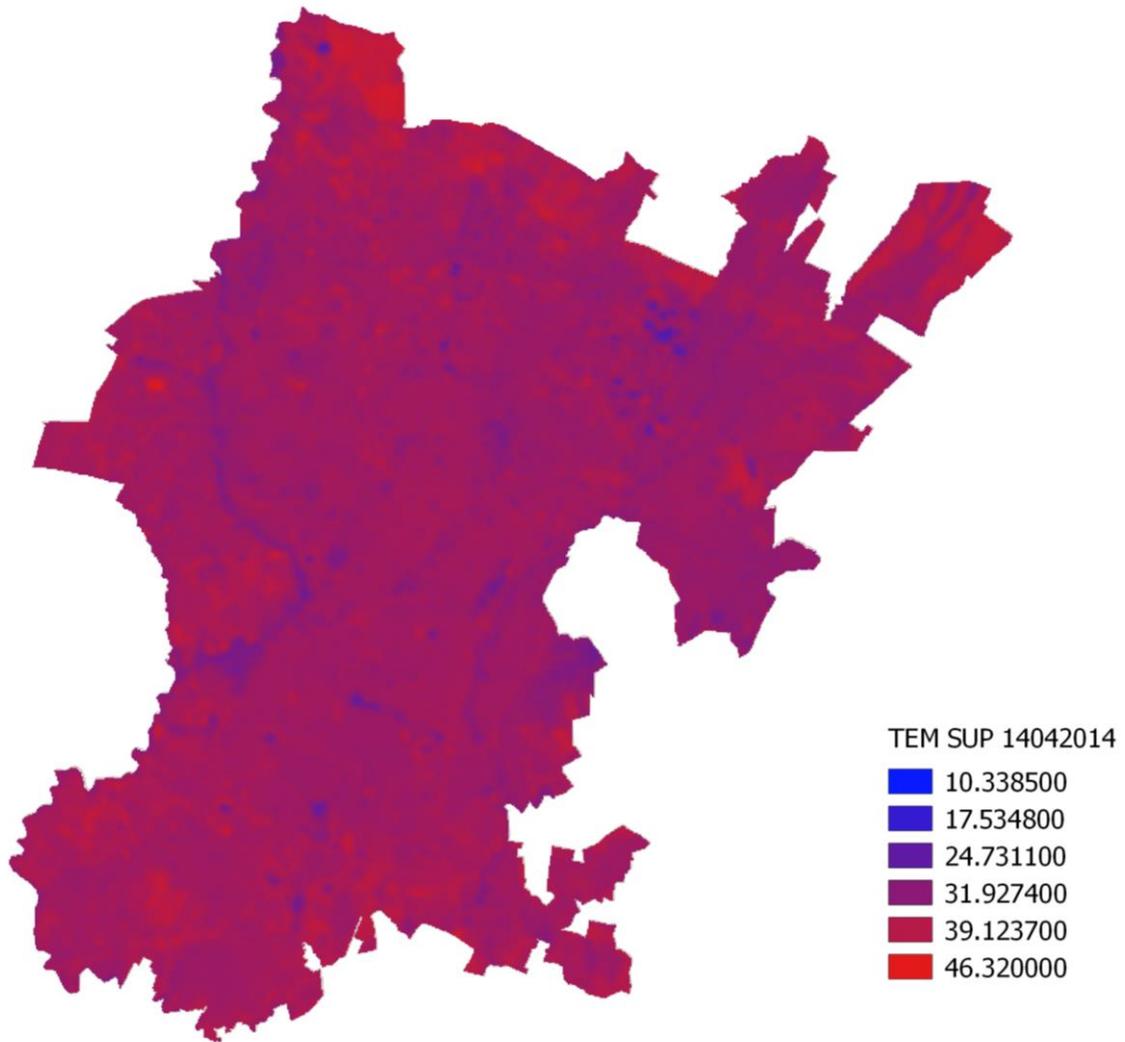


Imagen 19 Temperatura superficial en el municipio de Puebla, abril 2014.
Fuente: elaboración propia con información de *United States Geological Survey, USGS*

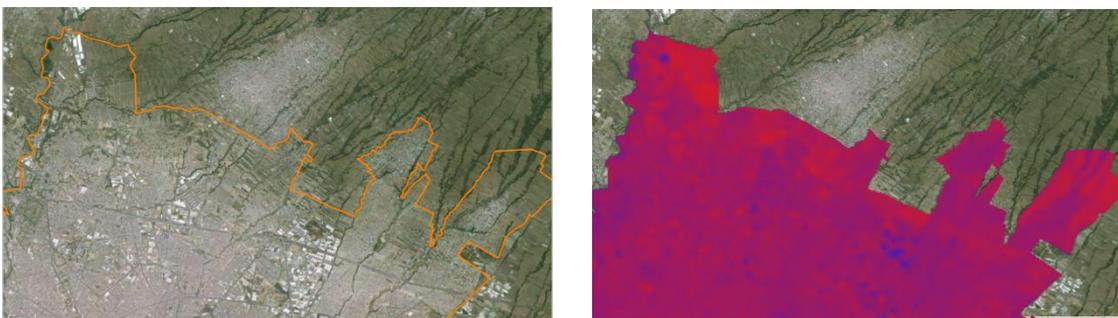


Imagen 20 Zona norte de la ciudad donde se localizan suelos naturales con temperatura superficial alta

Fuente: Elaboración propia con información de *United States Geological Survey, USGS*

También, las canchas con empastado sintético reportan altas temperaturas superficiales, sobresalen por sus dimensiones las canchas del: Instituto Tecnológico del Estado de Puebla (a), SINED-Universidad, Centro Escolar Morelos, cancha de béisbol colonia Pino Suárez, Benemérito Instituto Normal del Estado de Puebla (b), Tecnológico de Monterrey, plaza San Bartolo, cancha Loma Bella y club Alpha 3, en estos casos el tipo de material podría ser el responsable de dicho comportamiento (Imagen 21).

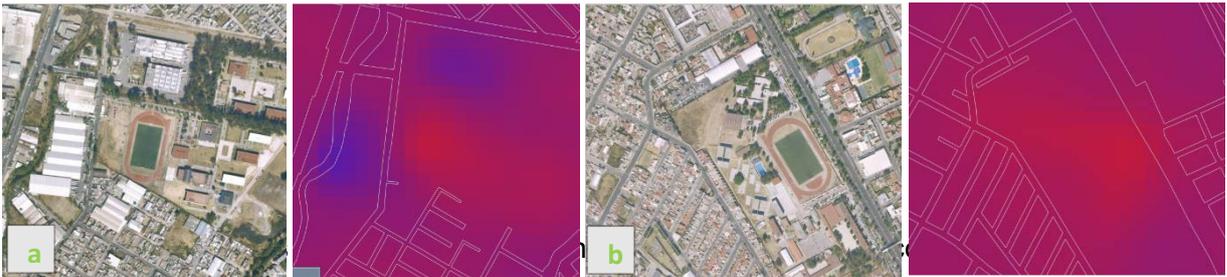


Imagen 21 Canchas de empastado sintético con altas temperaturas: a) Instituto Tecnológico del Estado de Puebla, b) Benemérito Instituto Normal del Estado de Puebla.

Angelópolis, The Home Depot Angelópolis, The Home Depot Plaza San Pedro, centro comercial Cruz del Sur, Abarrotos Bacalao, Palmas Plaza, Complejo Cultural Universitario y plaza Centro Sur también presentan altas temperaturas, la causa se asocia al tipo de material en su pavimentación (asfalto) y la exposición directa de estos a largos períodos de radiación.

Otras zonas en las mismas condiciones son el Cerro de Amalucan, Seminario Palafoxiano, cruceros del trébol de la autopista México-Puebla-avenida San Felipe, y trébol de la avenida Las Torres-vía Atlixcayotl.

Por otro lado las zonas con temperaturas más bajas, de 22 °C a 32 °C, corresponden a zonas naturales como las riveras de los ríos Atoyac (a) y Alseseca, laguna del jardín botánico BUAP, cerro de Loreto y Guadalupe (d), cerro de Tepozuchitl, partes bajas del cerro de Amalucan, laguna de San Baltazar (c) y laguna de Chapulco; otros sitios con estas características son zonas como el panteón municipal, club de Golf de Puebla, Club Campestre, parque Revolución Mexicana (b) y club de golf las Fuentes, esto se debe a la presencia de cuerpos de agua y vegetación abundante. Así mismo parques como Paseo Bravo, Ferrocarriles, Zócalo y Parque Juárez también presentan bajas temperaturas (Imagen 22).



Imagen 22 Zonas con bajas temperaturas superficiales con vegetación: a) las riveras de los ríos Atoyac, b) parque Revolución Mexicana, c) laguna de San Baltazar y d) cerro de Loreto y Guadalupe.

Las cubiertas blancas en las cubiertas del centro comercial las Torres de plaza Torrecillas (a), Walmart San Manuel (b), Plaza La Noria (c), zona industrial Puebla 2000, zona industrial Resurrección (d) y grupo de Convermex también presentan bajas temperaturas debido a que el color blanco tienen mayor capacidad para reflejar la radiación (Imagen 23).



Imagen 23 Temperaturas bajas en cubiertas blancas: a) centro comercial las Torres de plaza Torrecillas, b) Walmart San Manuel, c) Plaza La Noria y d) zona industrial Puebla 2000, zona industrial Resurrección.

Las temperaturas más frecuentes en ésta fecha van de los 31 °C a los 36°C y corresponden a superficies urbanas como asfalto y concreto (pavimentos y cubiertas de vivienda).

Para el 19 de julio de 2014 el comportamiento de la temperatura se vuelve más homogéneo, la presencia de la lluvia y la disminución de la intensidad de radiación contribuyen a ello; los rasgos de temperatura en esta temporada húmeda van de 10 °C la mínima a 38°C la máxima (Imagen 24).

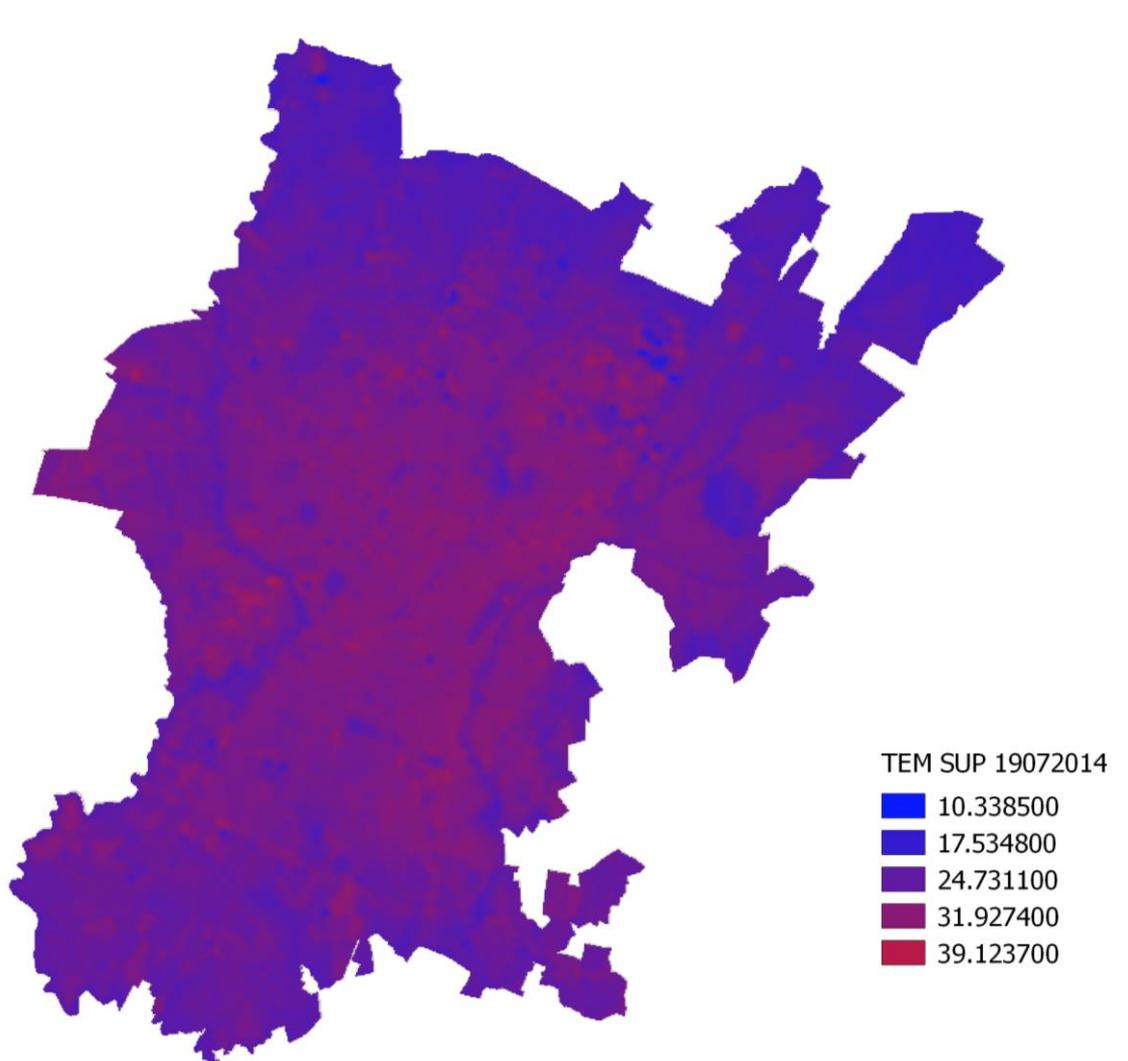


Imagen 24 Temperatura superficial en el municipio de Puebla, julio 2014.

Fuente: Elaboración propia con información de United States Geological Survey, USGS

Las temperaturas más altas oscilan entre los 35°C y los 38 °C, corresponden a los estacionamientos de centro comercial Cruz del Sur (a), Centro comercial Cosco(b), The Home Depot Periférico, Home Depot Angelópolis, centro comercial Angelópolis, Ciudad

Universitaria (c), unidad comercial Xilotzingo, estadios y zona industrial Puebla 2000 (d) (Imagen 25).

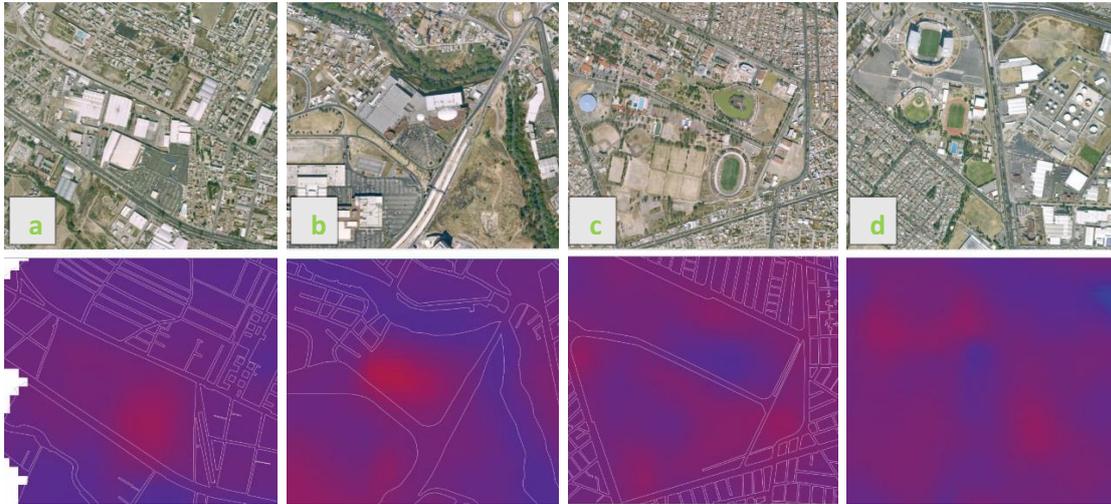


Imagen 25 Temperaturas superficiales altas en julio 2014: a) Estacionamientos del centro comercial Cruz del Sur, b) Centro comercial Cosco, c) Ciudad Universitaria y d) zona industrial Puebla 2000.

Otros espacios con temperaturas altas son la cancha de pasto sintético del parque Revolución Mexicana y la cubierta de Plaza Cristal.

Las temperaturas superficiales mínimas, que van de los 10°C a los 24°C, corresponden a zonas naturales dentro de la ciudad como: revieras de los ríos Atoyac y Alseseca, cerro de Amalucan; lagunas de Chapulco y San Baltazar; cerros de Tepozuchilt y de Loreto y Guadalupe. También el parque Revolución Mexicana; los panteones La Piedad, Municipal y de San Felipe; zonas periféricas al norte y sur de la ciudad que conservan suelos naturales.

Algunas cubiertas blancas como las de plaza Torrecillas (a), cubiertas del Tienaguis Independencia (b) y Walmart San Manuel (c) presentan también bajas temperaturas (Imagen 26).

En general para esta fecha se pueden distinguir dos zonas, una es la periferia de la ciudad con temperaturas que van de los 20 °C a los 24 °C y la segunda es la zona central de la ciudad con temperaturas que oscilan entre los 28° y 31 °C.

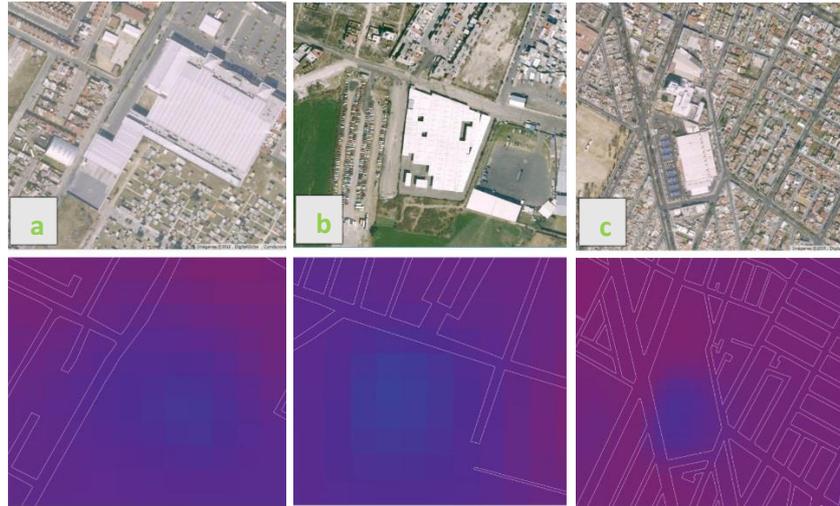
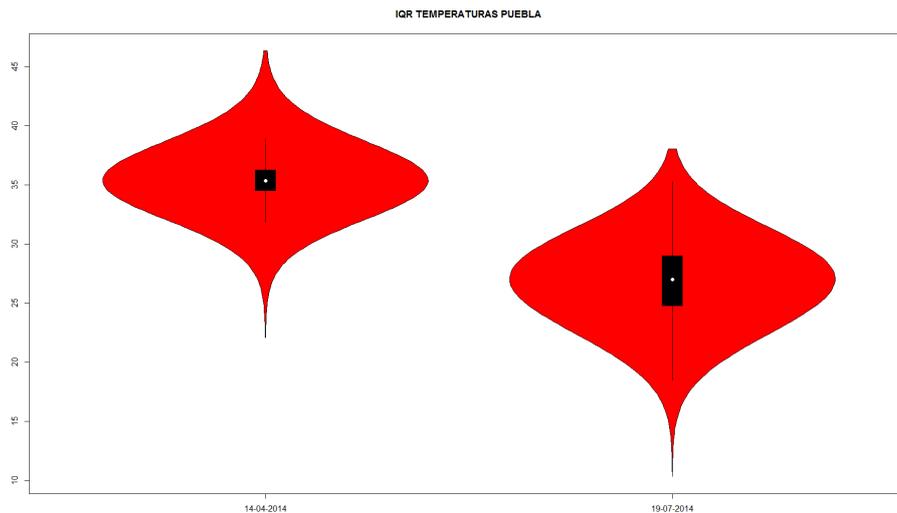


Imagen 26 Cubiertas con bajas temperaturas en julio 2015: a) plaza Torrecillas, b) Tienaguis Independencia y c) Walmart San Manuel.

A modo de conclusión podemos indicar la presencia de la isla de calor superficial que se ubica, en ambas temporadas, en la parte central y más densa de la ciudad, esta zona se caracteriza tener pocas áreas verdes y superficies duras.

También se puede observar que la temperatura disminuye considerablemente en la temporada húmeda (mes de julio) a causa de la presencia de la lluvia y a la intensidad de radiación solar que llega a la superficie. En la Gráfica 2 se pueden observar notablemente estos cambios y la distribución de los valores de la temperatura para cada caso.



Gráfica 2 Comparación de temperaturas superficiales de abril y julio
Fuente: Elaboración propia

Las zonas ensanchadas de las gráficas corresponden a las superficies urbanas, el extremo superior vertical corresponde a los casos máximos y máximos extremos como las canchas de pasto sintético, estacionamientos o zonas con suelo natural posiblemente quemadas; situación inversa ocurre en la parte inferior de las gráficas, donde se muestran los valores mínimos y mínimos extremos que coinciden con cuerpos de agua, zonas con abundante vegetación o cubiertas blancas. Únicamente para julio se omiten en los extremos los suelos naturales quemados. Para este mes se puede observar un comportamiento más homogéneo de la temperatura.

4.3 Análisis de la cubierta vegetal de la ciudad de Puebla a través del NDVI

El índice de vegetación diferencial normalizado NDVI permite identificar la presencia de vegetación verde en las superficies; asimismo mide el vigor y el estado de salud de las plantas, usa la respuesta a la reflectancia de la luz roja e infrarroja de la vegetación verde: a mayor cantidad de clorofila, mayor absorción de la luz incidente roja; a mayor volumen foliar, mayor reflectancia de la luz infrarroja cercana.

Los valores del NDVI fluctúan entre el -1 y 1, donde valores por encima del 0.2 indican presencia de vegetación y entre más alto sea el número la vigorosidad de la vegetación es mayor; por otro lado los valores por debajo del 0.2 indican ausencia de vegetación.

Los resultados del índice de vegetación para las fotografías seleccionadas son los siguientes:

Para el 14 de abril de 2014 se encontró que los valores más altos de NDVI, valores de 0.4 a 0.7, corresponden a las riberas del río Atoyac, club de Golf Las Fuentes, Panteón Municipal, club de golf Campestre de Puebla, laguna de San Baltazar, Parque Ecológico, Zócalo, Parque Juárez, CU, Panteón las Torres, Paseo Bravo, Cerro de los Fuerte de Loreto Y Guadalupe, Laguna de Chapulco, Ferrocarriles, Zona Militar, Cerro de Amalucan, Estadio Cuauhtémoc y Centro Escolar Niños Héroes de Chapultepec (Imagen 27).

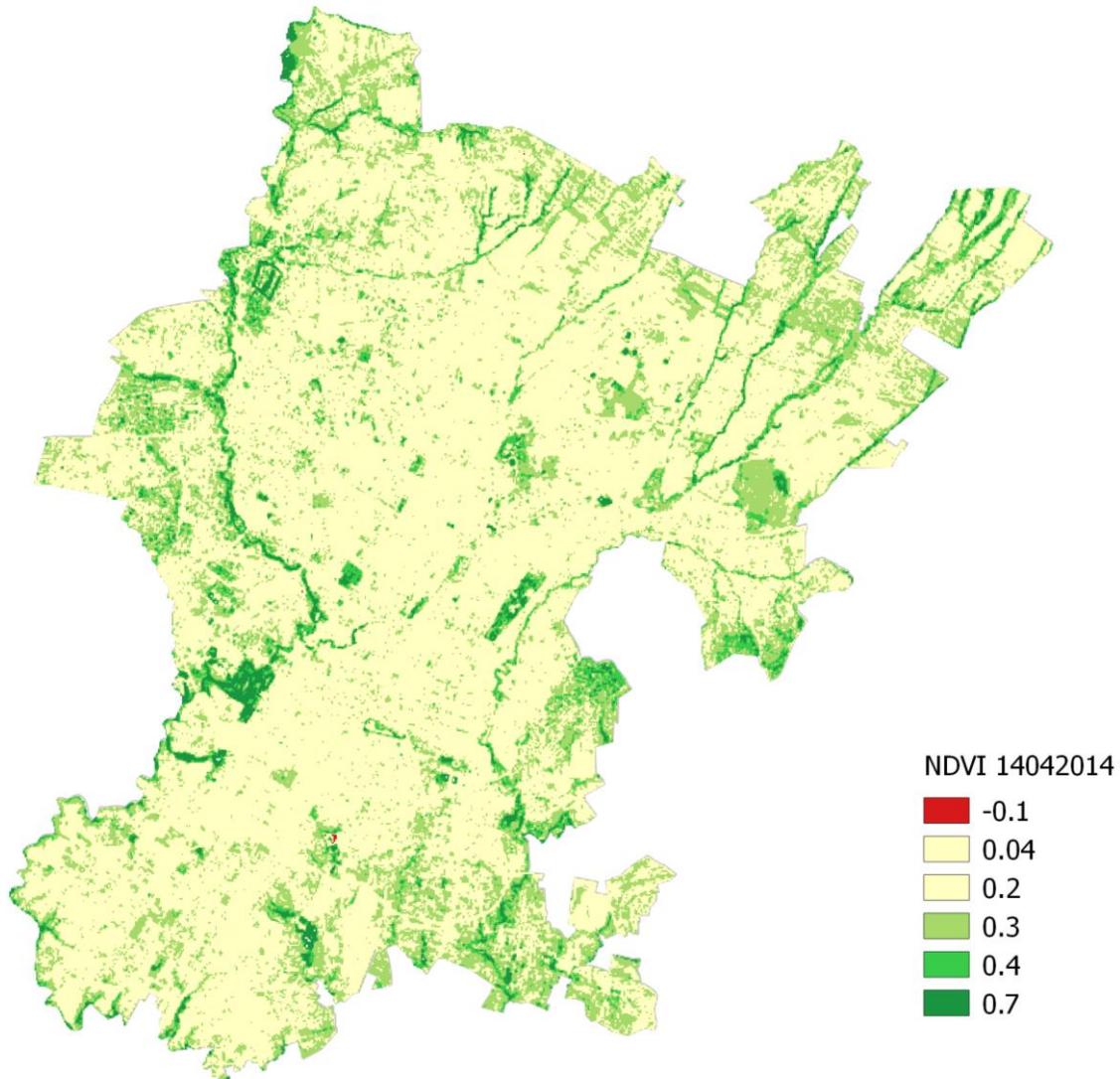


Imagen 27 NDVI para el 14 de abril de 2014

Fuente: Elaboración propia con información de *United States Geological Survey, USGS*

Los valores de NDVI de 0.3 indican presencia de vegetación rala, dispersa o con algún tipo de estrés, en la zona urbana corresponde a vegetación en parques, jardines, zonas naturales periféricas del sur y norte. Los valores más bajos de NDVI corresponden a las superficies urbanas, finalmente los valores negativos indican presencia de agua y nubes, en este caso sólo se identifica la laguna de Chapulco.

Para el 19 de julio de 2014 los valores de NDVI aumentan, lo que hace ver a la ciudad más verde, esto se debe al incremento de hidratación que las plantas tienen en la temporada lluviosa (Imagen 28).

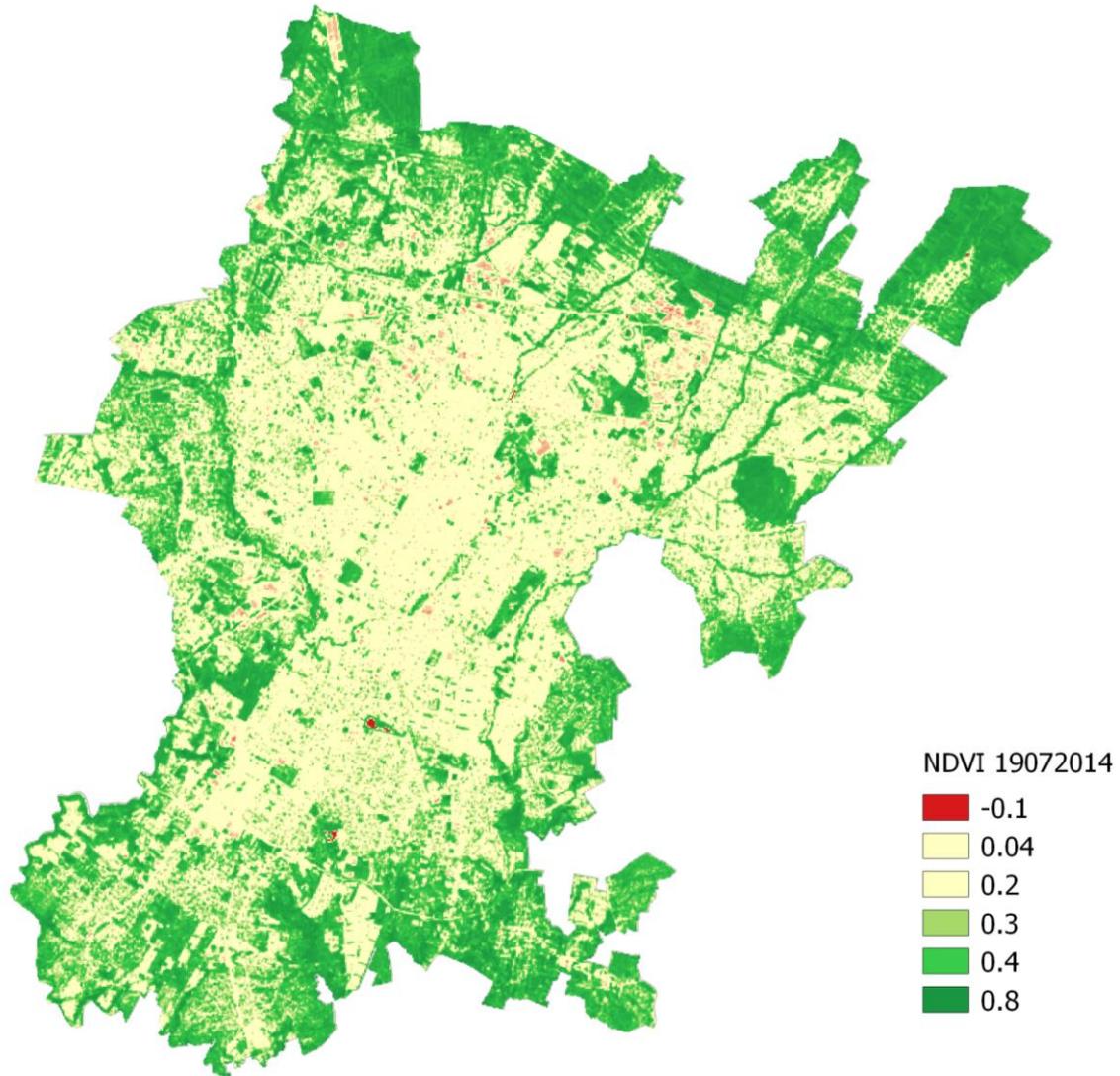


Imagen 28 NDVI para el 17 de julio de 2014

Fuente: Elaboración propia con información de United States Geological Survey, USGS

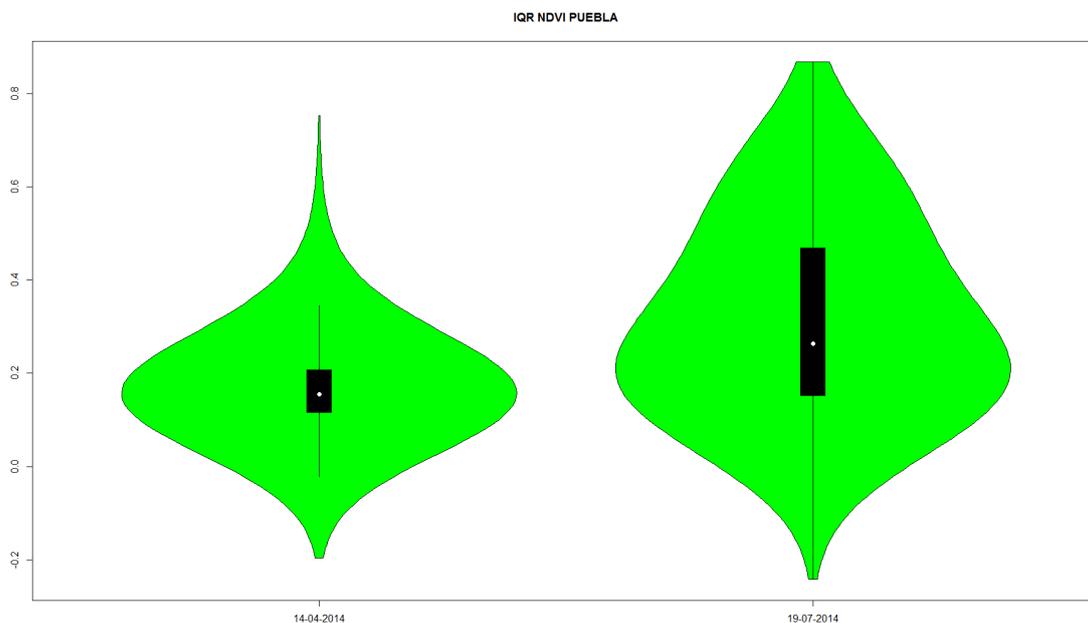
Como se puede observar los valores de NDVI se incrementan a 0.8, siendo las periferias de la ciudad las más beneficiadas debido a que ahí existen suelos aún descubiertos que permiten la filtración de agua y por consecuencia el crecimiento e hidratación de la vegetación, así mismo los parques, jardines y áreas naturales de la ciudad incrementan también sus valores.

En la gráfica Gráfica 3 se observa la distribución de los resultados con el objetivo de establecer una comparación. Los valores de NDVI menores a 0.2 son similares en ambas temporadas, esto es debido a que los valores en ambos casos corresponden a

la zona urbana. Las diferencias notables ocurren en valores mayores a 0.4 y que incrementan en temporada de lluvia hasta 0.8.

Lo anterior demuestra diversas situaciones, las más importantes son:

- La presencia de lluvia favorece el crecimiento de vegetación en suelos descubiertos en zonas periféricas.
- La vegetación incrementa su hidratación y por consecuencia reflectancia resultando en un incremento en los valores de NDVI.



Gráfica 3 Comparación de NDVI de abril y julio

Fuente: Elaboración propia

4.4 Relación temperatura superficial y NDVI

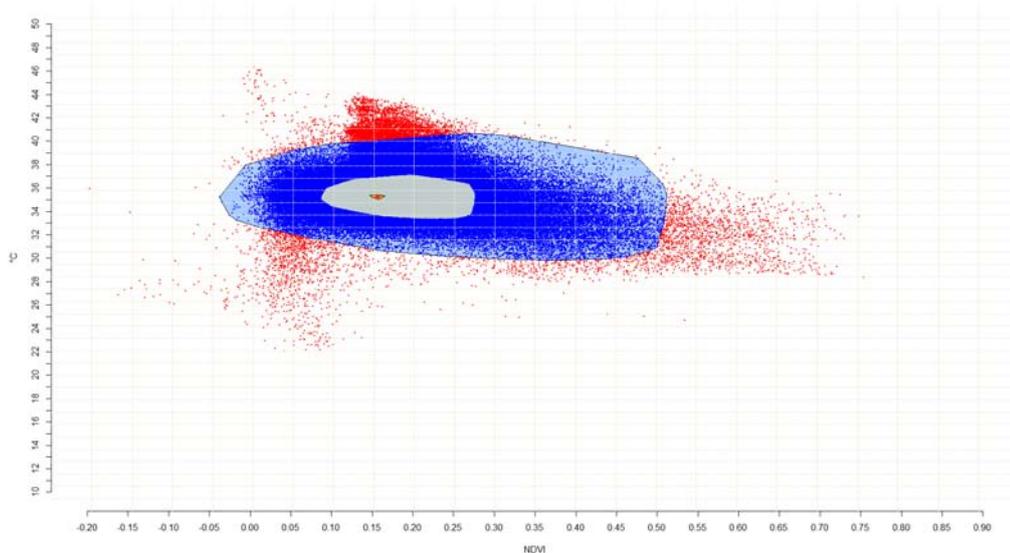
El interés de esta investigación es la relación que puede llegar a darse entre la temperatura y la vegetación, por ello resultó indispensable verificar dicha relación a través de un análisis de datos, para esto se utilizó el modelo estadístico IQR, el cual estima la dispersión de los datos.

Para el mes de abril podemos observar en la Gráfica 4 que sí existe una relación entre la temperatura de las superficies y el valor del NDVI, se observa fuera de la elipse azul valores particulares o atípicos que corresponden a diferentes factores y que al realizar un análisis de interpretación fotográfica resultó en lo siguiente:

- Valores bajos de NDVI con temperaturas bajas corresponde a techos blancos.

- NDVI bajos con temperaturas altas corresponden a suelos desprovistos de vegetación o con vegetación seca (posiblemente con incendios), canchas con empastado sintético y estacionamientos.
- Valores de VDMI entre 0.12 a 0.24 y temperaturas superiores a 40°C son áreas desprovistas de vegetación, estacionamientos y canchas sintéticas, como en el anterior caso.
- Valores de NDVI altos con temperaturas bajas corresponden a cuerpos de agua y a vegetación densa o semi densa.

Los contrastes para esta temporada son interesante, muestran una relación estrecha y una diferenciación importante entre las áreas con vegetación y áreas sin vegetación.

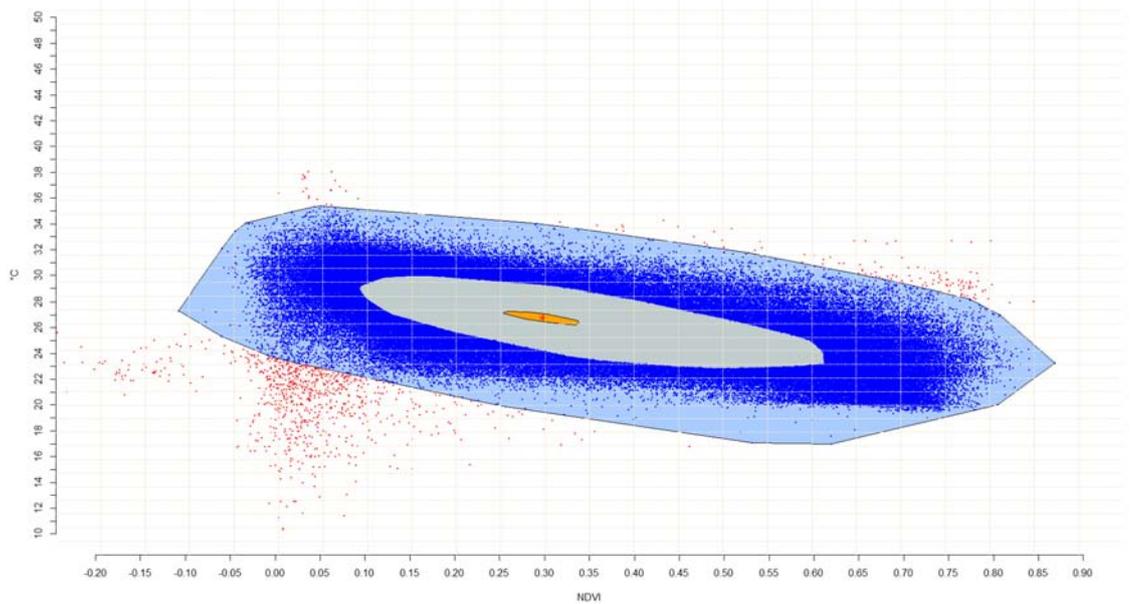


Gráfica 4 Relación temperatura superficial y NDVI en el mes de abril

Fuente: Elaboración propia

Para el mes de julio se observa también una relación entre las variables, en donde a mayores valores de NDVI menor temperatura (Gráfica 5). Sin embargo los datos tienen un comportamiento más homogéneo, los valores atípicos son menores.

En este caso valores extremadamente bajos en NDVI y en temperatura coinciden con cuerpos de agua y con cubiertas blancas (en el mapa zonas rojisas).



Gráfica 5 Relación temperatura superficial y NDVI para el mes de julio

Fuente: Elaboración propia

A modo de conclusión podríamos mencionar que el principal reto que se tiene es incrementar los valores de NDVI en temporada cálida, ya que se pudo observar que las zonas con vegetación rala no influyen de forma considerable en la disminución de la temperatura.

Finalmente, retomando los estudios de isla de calor atmosférica, en donde se menciona que las temperaturas altas se concentran en el centro de la ciudad y que las áreas verdes son sumideros de calor podemos concluir, con los resultados aquí mostrados, que existe una estrecha relación entre la temperatura atmosférica y la temperatura superficial y el valor del NDVI (áreas verdes).

Capítulo V. Estrategias para incrementar las áreas verdes urbanas en la ciudad de Puebla y reducir los efectos de la isla de calor

En este último capítulo tiene como propósito establecer algunas alternativas para disminuir los efectos de la isla de calor en la ciudad de Puebla a través del incremento de las áreas verdes. Inicialmente se hace una propuesta del manejo de vegetación que se debe considerarse en las áreas verdes junto con la identificación de especies que favorecen el control climático; subsecuentemente se exponen las zonas de atención prioritaria que deben atenderse y se identifican las áreas de oportunidad. Finalmente se mencionan las estrategias que podrían implementarse para mitigar los efectos de la isla de calor en la ciudad de Puebla con uso de la vegetación y a través de la participación de los diferentes actores de la sociedad (gobierno, sociedad civil y empresas).

5.1 Manejo de la vegetación y especies que ayudan a reducir la isla de calor

Antes de determinar dónde necesitamos áreas verdes es importante tener un panorama general de cómo podemos organizar la vegetación para lograr el control de la temperatura, ya que es el objetivo de este trabajo, por lo tanto en este apartado se presentan algunas consideraciones al respecto, además se indica un conjunto de especies arbóreas que tienen un buen rendimiento ante dicha situación.

5.1.1 Consideraciones para el control climático con el uso de la vegetación

Las recomendaciones para usar la vegetación como elemento de control de la temperatura tienen que ver con los siguientes aspectos:

- La siembra de árboles con follajes densos minimiza el calentamiento de la superficie y por ende el del aire, fomentar el uso de especies arbóreas caducifolias para obtener zonas cálidas en invierno y frescas en verano ayudará tener ambientes más frescos.
- El control de la temperatura a través del proceso evaporativo de las plantas, como anteriormente se mencionó es limitado, por ello es importante impulsar la creación de áreas verdes de grandes superficies con cubiertas vegetales densas para que este efecto tenga un impacto positivo en la disminución de la isla de calor.

- Evitar la siembra aislada de árboles y propiciar la siembra densa y en grupos de estos para que los beneficios tengan impacto.
- Motivar la siembra de superficies vegetales (pastos y arbusto) para disminuir el calentamiento de las superficies duras -concreto y asfalto-.

El uso de la vegetación para el control climático generalmente está orientado al control de la radiación solar debido a que la implementación de grandes áreas verdes resulta complicada, en el caso específico de la ciudad de la ciudad de Puebla recurrir a esta alternativa en la zona urbana consolidada representaría muchos problemas, pues no se cuentan con espacios disponibles dentro de la ciudad, sin embargo esto debe ser considerado en la fundación de nuevos asentamientos humanos, buscar que exista el equilibrio entre las áreas construidas y las áreas verdes.

5.1.2 Las especies arbóreas para minimizar los efectos de la isla de calor

La implementación de la vegetación para reducir los efectos de la isla de calor deberán cuidar las siguientes variables:

- Selección de vegetación dependiendo del tipo de espacio a intervenir. Las calles, camellones y banquetas requieren vegetación que desarrolle sus raíces hacia abajo, de no ser así se estropearían los pavimentos, de ahí la importancia de la vegetación apropiada, no considerar esto podría recaer en un mayor gasto de recursos ya que se tendrían que revertir los daños causados. Muchas veces cuando ya es imposible revertirlos se cortan árboles y esto responde a la falta de cuidado a la hora de seleccionarlos.
- Selección de vegetación dependiendo de medio ambiente de desarrollo. La vegetación tendrá un mejor desarrollo y un mejor rendimiento ambiental si se consideran sus necesidades básicas de habitabilidad y sobrevivencia, tales como tipo de suelo, disponibilidad de agua y clima.
- Selección de la vegetación para el control del clima. Por naturaleza la vegetación tendrá un determinado rendimiento en el control del clima dependiendo de su estructura y composición física. Árboles con masa foliar abundante tienen mejores rendimientos, contrario a aquellos con masa foliar baja. Se puede hacer

una combinación de especies caducifolias y perenes para tener espacios cálidos en invierno y frescos en verano.

En un estudio realizado por Ballinas (2011), recomienda algunas especies con buena respuesta para el control de temperatura para la ciudad de México; por las condiciones geográficas y físicas estas especies podrían considerarse para la ciudad de Puebla.

- *Populus tremuloides* (Alamillo)
- *Morus celtidifolia* (Morera)
- *Fraxinus uhdei* (Fresno)
- *Alnus acuminata* (Aile)
- *Acer neguro* (acezintle)
- *Liquidambar styraciflua* (Liquidámbar)
- *Buddleia cordata* (Tepozán)
- *Phytolacca dioica* (Bella Sombra)
- *Ligustrum lucidum* (Trueno)
- *Ligustrum lucidum* (Trueno Dorado)
- *Cupressus Lindleyi* (Ciprés)
- *Acacia Longifolia* (Acacia)
- *Pinus ayacahuite* (Pino Ocote)

5.2 ¿Dónde necesitamos áreas verdes?

Los resultados mostrados a lo largo de este estudio nos indican que existe un déficit importante en áreas verdes en toda la ciudad, sin embargo para acotar las áreas clave que mayor atención requieren que se delimitaron zonas de atención prioritaria y áreas de oportunidad.

5.2.1 Zonas de Atención Prioritaria

Producto del análisis de fotografías satelitales se pudieron extraer las zonas de atención prioritaria (Imagen 29), es decir las zonas con temperatura altas de la ciudad, descartando en este procedimiento las de temperaturas máximas extremas como los

suelos naturales posiblemente quemados en temporada seca. La delimitación de éstas fueron producto de la combinación de las zonas cálidas de las dos temporadas analizadas y corresponden a las zonas más densificadas de la mancha urbana, aproximadamente el 33% de la ciudad requiere intervención que corresponde a un total de 168 colonias aproximadamente (Ver anexo II de colonias).

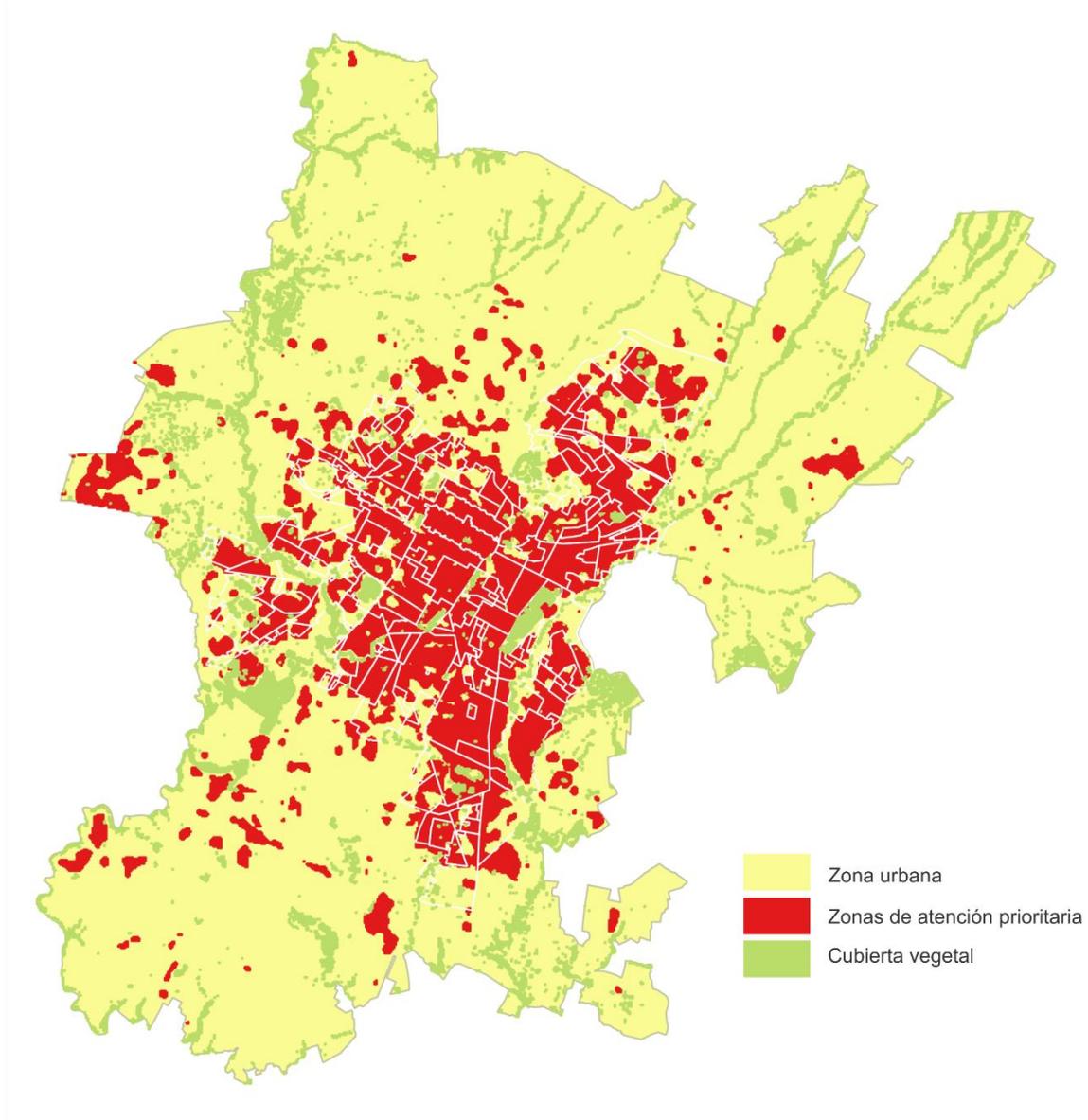


Imagen 29 Colonias de atención prioritaria de la ciudad de Puebla

Fuente: Elaboración propia

Las colonias importantes a resaltar son: en la parte central el centro histórico, sus barrios antiguos y las primeras colonias. En parte oriente sobresalen colonias como Insurgentes, INFONAVIT La Margarita. Al nororiente Ciudad Satélite y Bosques de

Manzanilla. Por el lado poniente la zona comercial de Angelópolis y colonia Bello horizonte. Al sur colonia Universidades, Universidad, Universitaria, Geovillas los Encinos, Tres cruces, Infonavit San Jose´Xilotzingo, Vista Alegre y Barrios de Arboledas.

La mayoría de estas zonas son áreas altamente densificadas; se requiere tener especial atención es estacionamientos de grandes dimensiones como los del centro comercial Angelópolis que marcan un alza importante en la temperatura de la superficie.

Las colonias se agruparon en polígonos para su fácil identificación y tratamiento quedando de la siguiente forma zona 1: Centro, zona 2: Nororiente, Zona 3 Oriente, Zona 4 Sur Poniente (Imagen 1).

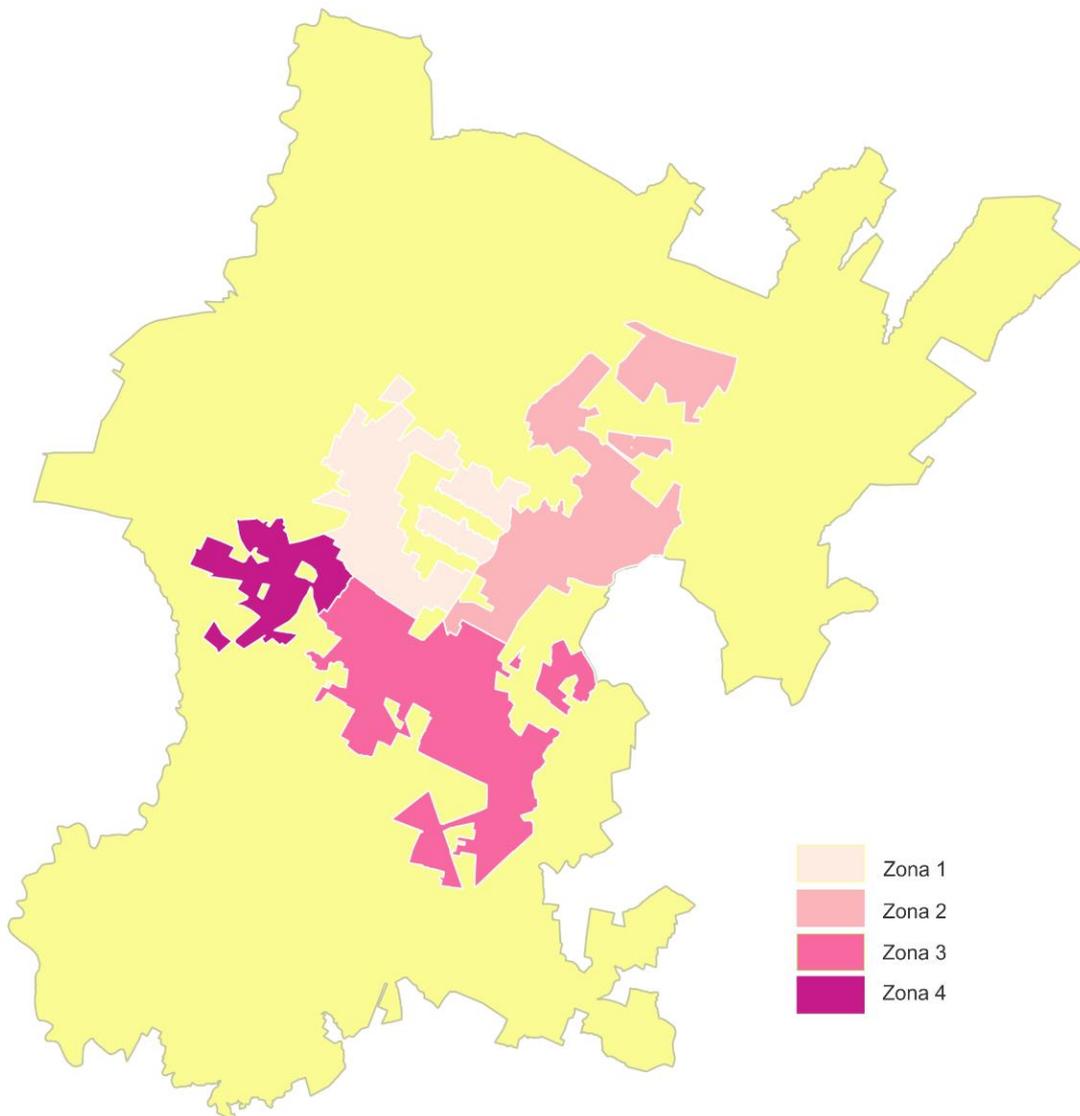


Imagen 30 Polígonos de zonas de atención prioritaria

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Áreas de oportunidad

Las áreas de oportunidad son aquellos espacios donde pueden ser implementadas áreas verdes, con la ayuda de un sistema de información geográfica pudimos identificarlas y en su mayoría de ellas corresponden a plazas, camellones o canchas que podrían incrementar su cubierta vegetal. A continuación se presenta por zona, las áreas de oportunidad.

Zona uno. Esta zona corresponde a la parte central de la ciudad, presenta áreas verdes consolidadas como el Paseo Bravo, Museo de los Ferrocarriles, Zócalo, Parque de las Ninfas y jardín de Santiago. Presenta áreas de oportunidad y de incremento, dentro de las más importantes en la primera categoría se localizan los camellones de la 11 sur, Diagonal de los Defensores de la República, Av, 15 de Mayo y Blvd. Norte. Por otro lado en la segunda categoría se ubica únicamente un tramo entre la 3 poniente y 2 poniente sobre la diagonal Defensores de la República (Imagen 31).

La zona centro es de las más complicadas debido a que es la zona con mayor presencia de la isla de calor y carece de espacios disponibles para implementar áreas verdes nuevas, sin embargo sería importante para esta zona valorar la posibilidad de identificar terrenos baldíos de casonas abandonadas para transformarlos en zonas verdes, también otra forma de incrementar el verde en zonas donde ya no existen espacios disponibles es la implementación de cubiertas verdes, para ello se recomienda la valoración de expertos debido a que la zona es de carácter histórico y es posible que sus inmuebles no soporten el peso; también un análisis de ancho de banquetas permitiría el establecimiento de arbolado.

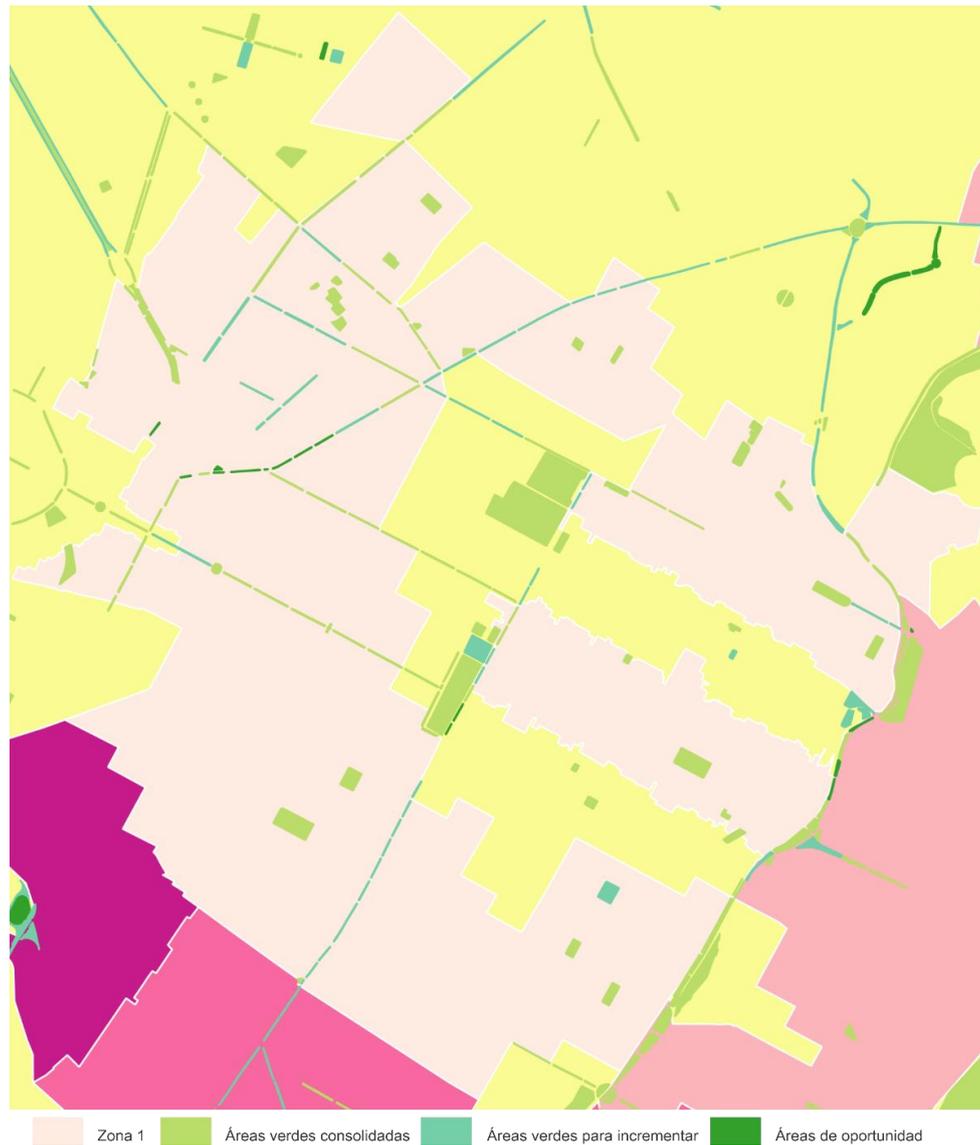


Imagen 31 Áreas de oportunidad en zona 1

Fuente: Elaboración propia

Zona dos. La zona dos es de la más complicadas debido a que no presenta en la parte norte de su trama camellones que permitan la instalación de árboles o arbustos, tampoco cuenta con espacios recreativos como parques, jardines o áreas deportivas. Para este caso la recomendación es buscar inmuebles propiedad del ayuntamiento que puedan ser habilitados como tal, además de una valoración en sus banquetas para poder incorporar a su trama arbolado; así mismo se deben considerar como una posibilidad cubiertas verdes en casas y edificios públicos.

No obstante, pese a antes mencionado, encontramos pequeñas áreas de oportunidad e incremento, esto en los camellones de la Calzada Ignacio Zaragoza a la altura de la colonia los Pinos y San Pedro. Así mismo en la parte sur de esta zona a la altura de la diagonal Defensores de la República también encontramos camellones que podrían incrementar su cubierta vegetal.

Las áreas verdes consolidadas en este polígono son las menos e incluyen al parque Revolución Mexicana ubicado al Sur y algunos parques y jardines del fraccionamiento Maravillas (Imagen 32).

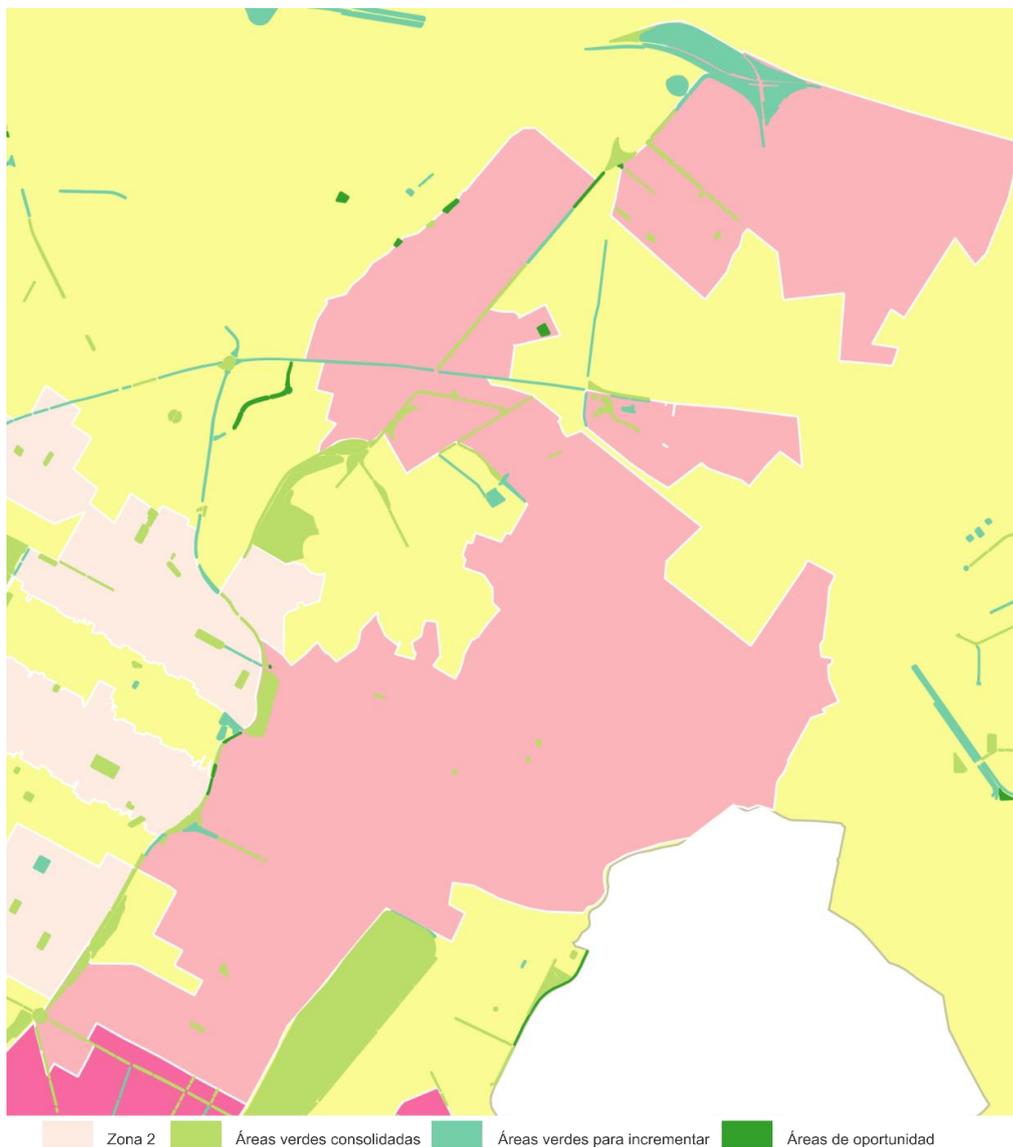


Imagen 32 Áreas de oportunidad en zona 2

Fuente: Elaboración propia

Zona tres. Esta zona presenta importantes áreas de oportunidad las más importantes son en la colonia San Manuel, en la Unidad habitacional La Margarita y el los camellones del boulevard Valsequillo, avenida 11 sur y de los existentes en la colonia San Manuel. Las áreas verdes consolidadas se distribuyen a lo largo y ancho de la zona, principalmente en los jardines de San Manuel y en sus camellones (Imagen 33)

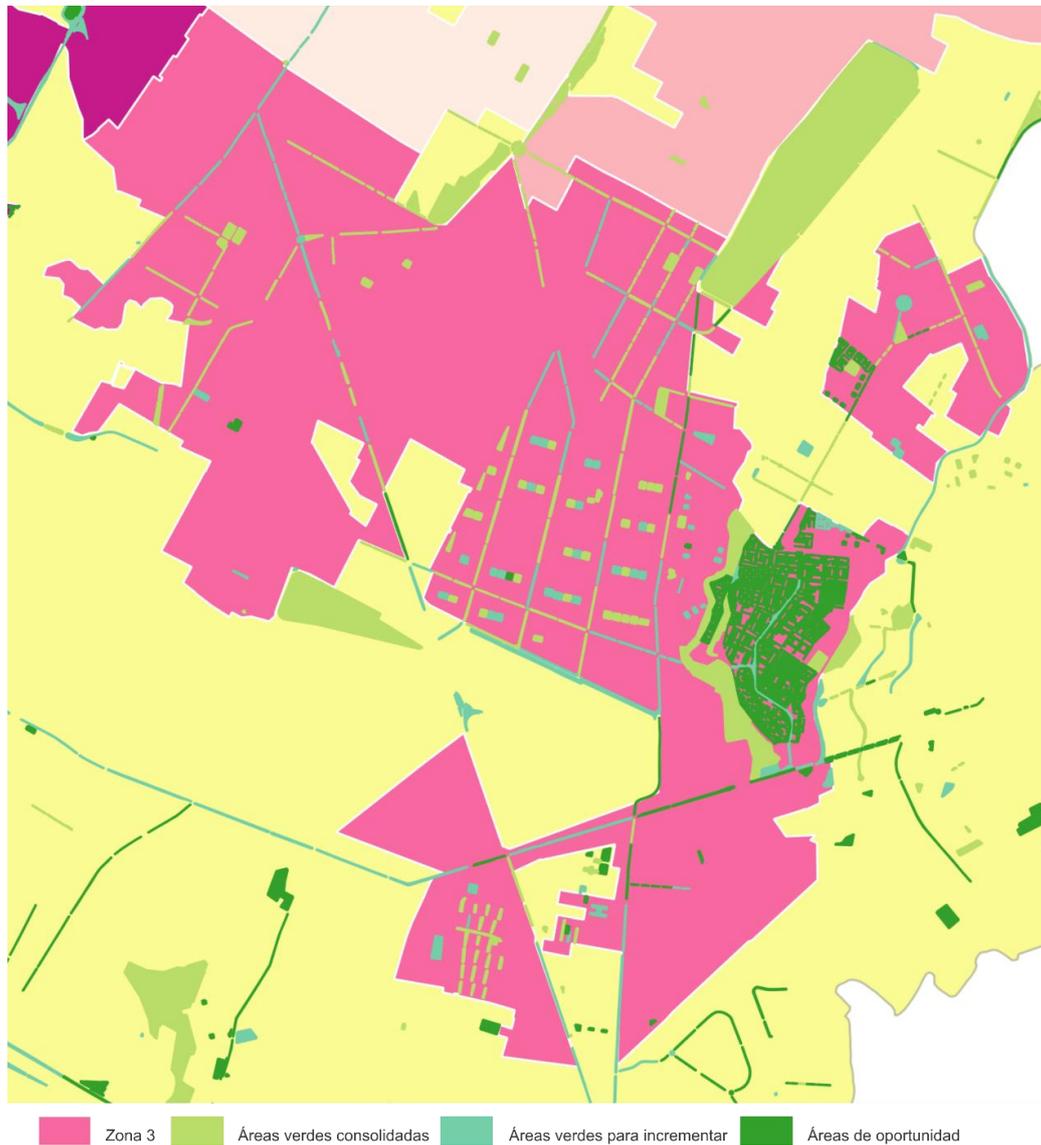


Imagen 33 Áreas de oportunidad en zona 3

Fuente: Elaboración propia

Zona cuatro Esta zona se caracteriza por tener pocas áreas de oportunidad pero si tiene posibilidades de incrementar su cubierta vegetal en espacios ya existentes, sobre todo en el extremo norte. Hay que recordar que el área de estacionamientos del centro comercial Angelópolis presentó altas temperaturas por lo tanto se deben considerar

alternativas en estos espacios, como incremento de su masa arbórea o cambio de pavimento permeable y de color claro. El jardín del Arte y camellones sobre Boulevard Atlixco y Niño Poblano pueden considerarse áreas verdes consolidadas, ya que con de las zonas de las ciudad con mayor densidad de cubierta vegetal.



5.3 Cómo motivar la creación de las áreas verdes en la ciudad de Puebla

Actualmente las áreas verdes representan un gasto para el municipio con un reducido costo-beneficio, únicamente permanecen en buen estado aquellos espacios “importantes” que coinciden con la zona de monumentos, no existe el mayor interés por invertir en áreas verdes, la razón es porque no existe una retribución económica de ningún tipo, no existe pago de impuestos por predial o por uso de suelo ni por cobro de servicios, sino al contrario, generan gastos que no son retroactivos visiblemente. Sin

emebargo, el hecho de estos beneficios no sean evidentes no significa que no existan. A continuación se presentan algunas opciones para motivar la creación y permanencia de las áreas verdes.

5.3.1 Las áreas verdes como una estrategia para incrementar la competitividad y la economía en la ciudad de Puebla.

Actualmente los indicadores miden la efectividad de las políticas gubernamentales; en estudios recientes se han incluido a las áreas verdes y espacios públicos como un indicador para medir la competitividad y generar inversión. La competitividad es la cualidad que pueden llegar a desarrollar las ciudades para generar oportunidades para atraer talento.

Las ciudades con altos porcentajes de áreas verdes son atractivas para inversionistas ya que indican armonía, equilibrio y respeto no solo por los recursos naturales sino que además proyectan compromiso y responsabilidad en sus políticas, temas muy en boga en estos días. Además también se asocian al sentido de bienestar, ya que las áreas verdes tienen un alto impacto en la salud mental de la población, se dice a nivel psicológico que a mayor contacto con la naturaleza mayor confort, traduciendo esto a términos económicos si una persona se encuentra tranquila ésta incrementará sus niveles de productividad y rendimiento, por lo tanto mejores trabajadores que ejecutan sus labores con altos índices de efectividad, lo mismo ocurrirá con los estudiantes y la población en general de tal forma que mejores espacios públicos mejor calidad animica en los ciudadanos.

Por ello si se motiva la creación y manteniendo de áreas verdes es posible que más adelante este factor sea capaz de atraer inversión y desarrollo a la ciudad, generando más prestigio del que ya actualmente tiene con la denominación de ciudad patrimonio de la humanidad.

Por otro lado y contarrestando el bajo costo beneficio que las áreas verdes generan, es importante cambiar sus esquemas de gestión y administración. Es decir, comenzar a impulsar la generación de recursos económicos en ellas. Algunas oportunidades al respecto son la implantación de actividades de producción forestal maderable sustentable en parques de grandes dimensiones o crear parques públicos que cumplan

con está función. Una desventaja en este sistema es que las ganancias no son visibles hasta que el producto este maduro para ser proesado.

En espacios más reducidos implementar viveros y mecanismos de agricultura urbana, ambas propuestas propiciarán el ingreso de un recurso económico derivado de la venta de productos que ahí mismo se generen, mismos que pueden ser utilizados en su mantenimiento, de está forma no solo se promueve el valor ambiental y social de estas áreas sino que también se fomenta su valor económico.

Es importante mencionar que estás estrategias deben ir acompañadas por una estricta política que incluya la participación de la sociedad civil a fin de evitar el ya tan marcado ,ineficiente e inequitativo, reparto de recursos y de oportunidades.

5.3.2 La participación integral en la implementación, gestión y mantenimiento de las áreas verdes urbanas y la prevención de la formación de la isla de calor

La implementación de las áreas verdes no será posible si no se cuenta con la participación integral de la sociedad, es claro que los alcances por parte del gobierno en este sentido han rebasado sus posibilidades de atención, es por ello que resulta de suma importancia incorporar a la sociedad para que con pequeñas acciones participe en la prevención y mitigación de fenómenos como la isla de calor a través del usos de la vegetación en sus localidades.

5.3.2.1 El sector gubernamental

Desde hace mucho tiempo se tiene por entendido que el gobierno debe velar por nuestros intereses de habitabilidad y bienestar social, ello se menciona en las leyes y se tiene por entendido en la conciencia de la sociedad. Sin embargo en los últimos años esta situación no ha logrado materializarse de forma exitosa.

En términos de áreas verdes y espacios públicos la participación gubernamental está implícita principalmente a dos acciones, una en la creación y la segunda al mantenimiento.

La primera acción está involucrada en la planeación de las ciudades, en donde se tiene por entendido que existe personal calificado en la materia de zonificación que establece los usos y destinos de suelo necesarios para que un asentamiento humano pueda desarrollarse apropiadamente.

La segunda está relacionada con darle seguimiento y mantenimiento a estas áreas, que como bien se menciona en capítulos anteriores, por falta de personal no se logra abastecer de este servicio a todas la ciudad.

Lo aquí expuesto propone crear sinergia entre el gobierno y la sociedad como ente regulador y dotador de instrumentos técnicos y legales para poder mantener y crear dichas áreas verdes.

El gobierno puede cooperar, más puntualmente en los siguientes aspectos:

Crear sinergia con dependencias que puedan contribuir a la creación y mantenimiento de áreas verdes. Debe existir una dependencia responsable, la cual deberá buscar apoyo con demás instituciones federales, estatales y municipales que puedan contribuir en la metería. Para el caso de la ciudad de Puebla este aspecto no está definido, no se tiene certeza de la dependencia encargada de las áreas verdes.

La propuesta es que el departamento de servicios municipales en su departamento de parques y jardines tenga la responsabilidad gestionar las áreas verdes de modo integral. Esta área deberá apoyarse en dependencias como la Secretaria de Medio Ambiente, Instituto Municipal de la Planeación, Instituto de Ecología, Consejo de Ecología y Obras Públicas a fin de obtener una visión más amplia de las áreas verdes.

Actualmente el departamento de parques y jardines solo es operativo y los proyectos de áreas verdes se desarrollan en diversas dependencias y la parte de ejecución está relegada a obras públicas.

Suministrar herramientas de sus departamentos y a su personal para poder intervenir y /o mantener las áreas verdes. El departamento de servicios municipales del municipio cuanta con jardineros e instrumentos de jardinería, los cuales podrían se prestados para ser utilizados, previa capacitación, por la población.

Facilitar, asesorar y dar seguimiento en la asignación de recursos de los diferentes programas internacionales, federales, estatales y municipales existentes en materia de medio ambiente, áreas verdes y espacios públicos. Muchas veces existen recursos disponibles para este tipo de proyectos, sin embargo no son del conocimiento de la sociedad, por lo tanto el gobierno deberá dotar de la información y asesoría necesaria

para poder facilitar el concurso de proyectos de áreas verdes en los diferentes programas.

Para el municipio de Puebla se pueden obtener recursos de programas en el siguiente nivel:

Programas Federales

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales

- Programa de desarrollo Institucional Ambiental
- Programa de Subsidios a Organizaciones de la Sociedad Civil
- Programa de subsidios a Proyectos de Educación Ambiental

Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano

- Programa de Rescate de Espacios Públicos

Comisión Nacional Forestal

- Programa Nacional Forestal PRONAFOR

Programas municipales

- Mantenimiento y rescate de áreas verdes

Existen otros programas municipales que no necesariamente implicar recursos pero sí gestión para poder, en este caso, mantener las áreas verdes; un ejemplo de ello es el Programa de Custodia de Áreas verdes, inicialmente es un programa extendido hacia las empresas para que den mantenimiento a las áreas verdes, los beneficios planteados son la responsabilidad social y aspectos relacionados con la mercadotecnia ya que cada empresa es premiada con una placa con sus datos que es colocada en el área verde adoptada.

En este sentido estos programas pueden ser considerador como programas de incentivos y reconocimiento para aquellas personas responsables con el medio ambiente.

Otro aspecto importante en donde el gobierno puede contribuir es en estructurar programas de educación ambiental en donde se anexe información, como lo hacen es

Estados Unidos, acerca de la isla de calor, sus causas, consecuencias y sus diferentes formas de mitigación de tal forma que se genere conciencia social de la problemática con ello es posible impulsar acciones de prevención.

Por último podemos mencionar que la participación gubernamental es clave en el proceso de mitigación de la isla de calor con uso de vegetación, debido a que es la entidad que puede regular y organizar. Por lo tanto debe impulsar la participación de la ciudadanía de tal forma que exista una retroalimentación para el beneficio de ambas partes.

Los beneficios para la sociedad son, por un lado, la reducción del efecto isla de calor, y colateralmente la generación de espacios para la convivencia, biotopos y alberges de flora y fauna, se reducen los gastos en energía y se mejora la salud de la población. Para el gobierno se reducen los gastos en la creación y mantenimiento de áreas verdes, costos en programas de salud y además satisface la demanda de espacios públicos dignos.

El sector gubernamental es el enlace entre los diferentes actores, deberá ser proveedor de las reglas del juego y de la planeación y mantenimiento de las áreas verdes, se sugiere que esta instancia parta de la creación de un plan de manejo de áreas verdes para el municipio, este plan deberá concebirse como un instrumento para recuperar y mantener el equilibrio ambiental del municipio, por lo tanto deberá evitar enfocarse únicamente en la parte estética.

Este sector puede también motivar la creación de áreas verdes a través de:

- La premiación (o descuentos) por tener una superficie verde
- Medidas más rígidas y supervisadas en cuanto al respeto de las zonas de donación de áreas verdes

5.3.2.2 La participación del sector empresarial

Las empresas con políticas de responsabilidad social se enfocan en regresar un bien, por decirlo de alguna manera, a sus consumidores; la responsabilidad de las empresas no solo es generar utilidades, las actividades empresariales repercuten positiva o

negativamente en la sociedad afectando a las comunidades en donde operan de diversas formas.

Ante ello surge la responsabilidad empresarial como una estrategia de negocio, una forma de hacer que sus negocios sean sustentables en lo económico, lo social y lo ambiental de tal forma que reconoce a todos los actores con quienes se relaciona.

Podemos entender a la responsabilidad empresarial como:

“Una visión de negocios que integra el respeto por las personas, los valores éticos, la comunidad y el medioambiente con la gestión misma de la empresa, independientemente de los productos o servicios que ésta ofrece, del sector al que pertenece, de su tamaño o nacionalidad” (Cajiga, 2000)

Responsabilidad Social Empresarial, es el compromiso consciente y congruente de cumplir integralmente con la finalidad de la empresa, tanto en lo interno como en lo externo, considerando las expectativas económicas, sociales y ambientales de todos sus participantes, demostrando respeto por la gente, los valores éticos, la comunidad y el medio ambiente, contribuyendo así a la construcción del bien común.

En esta línea se propone que utilizando el liderazgo gubernamental se invite a las empresas a contribuir con el mantenimiento y creación de áreas verdes en zonas donde existan islas de calor, tanto externamente como internamente, es decir promover que sus espacios incluyan zonas arboladas, y aunque esto ya existe por ley para zonas industriales se puede hacer extensa la invitación a empresas pequeñas no necesariamente dedicadas a la industria.

Una oportunidad que las empresas tienen si integran a sus planes de negocios la responsabilidad social ambiental es incrementar la competitividad de las empresas, esto podría tener buenos resultados debido al despertar de conciencia que la sociedad está teniendo en cuanto a la necesidad de cuidar el medio ambiente.

A partir de esta responsabilidad social se puede hacer un llamado para que contribuyan en la creación y mantenimiento de áreas verdes. La ciudad de Puebla con su programa “Custodia de áreas verdes” está buscando la inserción de este sector en dicha tarea, y

aunque es una buena iniciativa tiene sus puntos débiles ya que no existe un seguimiento específico luego de que se entrega el área verde en custodia.

Por lo tanto la propuesta es que se anexe a este programa una línea de seguimiento que monitoree el cumplimiento del programa. Además de que se haga extensa la invitación por medio de campañas al mayor número de empresa posibles. Esto es de gran ayuda para el gobierno ya que uno de los talones de Aquiles que tiene en materia de áreas verdes es el mantenimiento.

También en materia de reducción del fenómeno isla de calor se propone que implementen prácticas de construcción con suficiente vegetación, instalación de azoteas verdes y muros verdes en sus lugares de ubicación, sobre todo en los estacionamientos ya que como se pudo ver son zonas altamente cálidas.

5.3.3.3 La sociedad civil

A la sociedad civil le corresponde agruparse para trabajar en la construcción y mantenimiento de áreas verdes. Con ello se fomenta el sentido de apropiación de los espacios al volverse participes e ser tomados en cuenta. Todo ello de la mano de programas orientados y estructurados para tal fin.

La sociedad civil es la mano de obra que se requiere para este caso, muchas veces la cooperación económica para mantener áreas verdes es imposible para ciertos estratos sociales, y ello no implica que puedan ayudar con su trabajo.

La sociedad civil tiene la tarea más ardua, estar pendiente y organizarse para que las áreas verdes se mantengan, esto desde su mantenimiento y hasta su defensa en caso de intento de despojo.

En este mismo entendido se puede incluir a las escuelas como parte de sus programas de escolares de educación ambiental a participar en la creación y mantenimiento de las áreas verdes. En la ciudad existen al menos en promedio dos escuelas por colonia con una matrícula en promedio de 30 alumnos por salón; establecer un programa práctico de participación ciudadana escolar una vez al mes será posible mantener las áreas verdes en condiciones apropiadas.

Muchas áreas verdes tienen cerca una escuela por lo tanto la propuesta radica en que cada escuela se haga cargo de un área verde cercana, esto debe incluir la participación activa y directa de los alumnos. Que además de obtener reconocimiento en alguna materia relacionada con la ecología se fortalece la conciencia ambiental que tanto adolece actualmente en el municipio.

De esta forma también se genera una conciencia de apropiación del espacio, por lo tanto estos espacios tenderán a ser resguardados por los actores que la mantienen en buen estado, ya que reconocen bajo la experiencia el trabajo que cuesta mantener un espacio.

Por otro lado el gobierno deberá impartir cursos de mantenimiento de tal forma que se transforme el mantenimiento de las áreas verdes en un hábito de educación ambiental.

La disponibilidad de herramientas también puede hacerse de forma voluntaria. En las escuelas suele existir un área de mantenimiento la cual podrá proporcionar algunas herramientas, otras podrían ser facilitadas por los alumnos y padres de familia. El propio gobierno deberá proporcionar herramientas así como la capacitación para poder manejarlas. Todo esto deberá estructurarse en un programa específico que mida las amenazas, debilidades, oportunidades y fortalezas.

Las escuelas participantes podrán ser de nivel secundaria, preparatoria e universidad para labores que requieran desgaste, mientras que los niveles inferiores podrán participar en aspectos como recolección de basura, sembrado de árboles y pequeñas tareas que no pongan en riesgo su integridad.

También en lugares donde no sea posible implementar áreas verdes utilizar estas escuelas como promotoras de cubiertas verdes. Usando el mismo principio de participación para su mantenimiento. Aunque se ha dicho mucho en torno al costo que implican estos sistemas de áreas verdes en la actualidad han surgido alternativas con materiales reciclados para reducir estos costos.

Las organizaciones civiles conformadas también pueden contribuir, especialmente en la organización de la gente y en la dotación de la información intelectual y técnica necesaria para poder estructurar proyectos.

Conclusiones

A continuación se enuncian las conclusiones que derivaron de esta investigación.

Podemos decir que la ciudad de Puebla ha incrementado su superficie urbana en casi un 50%, la superficie antes natural hoy en día está compuesta por pavimentos duros, lo que ha provocado la modificación de su clima local apareciendo el fenómeno isla de calor en la zona central de la ciudad.

Específicamente para la ciudad de Puebla las consecuencias de este fenómeno se ven reflejadas en el incremento del uso de los sistemas de climatización, enfermedades por cambios bruscos de temperatura, incremento de días con más tormentas y días con más sol. Es importante mencionar que la medición de los daños causados por este fenómeno son difíciles de cuantificar ya que van asociados a otros factores.

La superficie vegetal que podría contribuir a minimizar los efectos de la isla de calor es reducida en la ciudad y cada año por acciones del proceso de urbanización esta disminuye aún más, los nuevos esquemas de vivienda principalmente de interés social no respetan los espacios destinados a las áreas verdes, en el otro extremo las zonas residenciales implementan estas áreas con un fin económico, la presencia de vegetación eleva los costos de las viviendas, en torno a ello se ha desarrollado un esquema de marketing verde inmobiliario.

La estructura de la ciudad desde su planificación no consideró a las áreas verdes como un uso de suelo indispensable en la ciudad, esto se ha dejado ver en todo el proceso histórico de la planeación urbanística de la ciudad, el cual evidencia la carencia de estas áreas aunado a un minúsculo sustento legal que las vuelve aún más vulnerables.

Por otro lado la proporción de áreas verdes por superficie construida no es suficiente ya que no está estandarizada para las necesidades ambientales y de recreación de la ciudad, al no estar estandarizada ni estudiada los fraccionistas no se ven obligados a acatarla, o también, al no existir un proceso de seguimiento y evaluación es fácil desaparecerlas.

En este enfoque legal es evidente los vacíos normativos en la materia, a pesar de existir varios despojos de áreas verdes y daños ambientales significativos asociados a la tala de árboles en la ciudad, los legisladores y gobernantes no han impulsado reformas a

las leyes para proteger estos espacios. Por lo tanto se les exorta a la generación de instrumentos legales que protejan y motiven la creación de las áreas verdes.

Con respecto al procesamiento de imágenes satelitales se encontro que existe la poca significancia de áreas verdes frente a una inmensa mole de concreto, pudimos notar que en meses considerdos como secos la ciudad incrementa su temperatura considerablemente, los espacios más exacerbados son las cachas de pasto sintético y los estacionamientos de plazas comerciales.

La calidad de la vegetación en temporada seca es reducida ya que no se cuenta con entrada de humedad. En temporada húmeda la temperatura se vuelve más omogenea aunque sigue presentando altas temperaturas en estacionamientos. La cubierta vegetal es más saca e incrementa sus valores principalmente en la periferia.

Existe una relación interesante entre la temperataura de la superficie y la vegetación, a mayor índice de vegetación menor temperatura superficial. Las recomendación en este sentido es regular el uso de materiales con los que se construye la ciudad para evitar el sobrecalentamiento de las superficies. Por ejemplo, se puede mezclar pavimentos permeables con vegetación en estacionamientos de grandes dimensiones; para el caso de las canchas de futbol con empastado sintético se recomienda generar pantallas que propicien sombras junto con la siembra de vegetación a sus alrededores.

Aunque esta investigación no realiza un estudio de isla de calor atmosférica, unicamente compara, la conclusión de autores que sí realizaron estudios de este tipo indican que en grandes zonas arboladas (cerros de los fuertes) el efecto de isla de calor disminuye, sin embargo este efecto solo se da a escala local o micro, es decir al alejarse de estás zonas el efecto frio se pierde a unos cuantos metros. Por lo tanto para que este efecto se generalice y contribuya a la disminución de la isla de calor, es indispensable la creación de grandes áreas verdes aunado a una distribución estrategica de las mismas.

Con respecto a la planeación urbana, es importante que se consideré en planes y programas la relación clima-áreas verdes, se encontró que en ningún intrumento de planeaciónn actual menciona al fenómeno climatológico isla de calor, por lo tanto no es considerado en ninguna política o estrategia de intervención, por lo tanto es importante que este tema se integre a dichos instrumentos de planeación a fin de que sea un

indicador en la toma de decisiones. Los casos análogos de Canadá y Estados Unidos son un buen referente.

Em cuanto a las zonas de atención prioritaria misma que corresponden a las áreas más densamente construidas de la ciudad, se concluye que dentro de su complicada estructura, también existen áreas de oportunidad para incrementar las cubiertas vegetales en algunos espacios, tales como camellones y canchas deportivas, el sembrado de vegetación específica en estos espacios puede contribuir significativamente a reducir la temperatura superficial y del aire en las zonas inmediatas.

Aunque el uso de la vegetación para reducir la isla de calor es de las soluciones más apropiadas, hasta el momento no ha sido posible monitorear en cuánto se reduciría o cuál sería el impacto en la temperatura ambiente a escala local o de ciudad, esto no significa que no funcione el método sino más bien no se han creado mecanismos de seguimiento y monitoreo.

De forma general para la ciudad de Puebla en su zona urbana consolidada la creación de áreas verdes se torna difícil ya que no existen espacios libres, por lo tanto se deben considerar otras alternativas para la siembra de vegetación (azoteas, banquetas, camellones, terrenos baldíos, etc.). Para que tenga un impacto en la temperatura esta debe ser densa y bien distribuida en toda la ciudad.

Por último, es posible que bajo un esquema de cooperativismo se pudan impulsar acciones para incrementar las áreas verdes de la ciudad y así minimizar los efectos negativos de la isla de calor, estas acciones requerirán de un trabajo bien estructurado en cuanto a organización comunitaria, este proceso se facilitaría si se contara con un plan integral de áreas verdes para el municipio, aunado a una reglamentación jurídica consolidada.

Anexo I Cálculo de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y estimación de la temperatura superficial para imágenes LADAST 8 OLI TIRS

Las imágenes seleccionadas para esta investigación fueron de la plataforma Landsat 8 OLI TIRS y se descargaron del sitio Earth explorer <http://earthexplorer.usgs.gov>, se procuró que las imágenes carecieran de presencia de nubes.

Se seleccionaron dos fotografías de las temporadas más marcadas del municipio, es decir, temporada seca y temporada húmeda, para la primera se seleccionó una fotografía del mes de abril y para la segunda una del mes de julio.

Para el cálculo del índice de vegetación NDVI y la estimación de la temperatura fue necesario realizar un pre procesamiento de las imágenes satelitales.

El programa utilizado para procesamiento de las imágenes fue ENVI 2.7 y Qgis 2.6

Características de las imágenes Landsat 8

La plataforma Landsat 8 (LDCM) obtiene imágenes a través de dos sensores: *Operational Land Image* (OLI) y el sensor térmico infrarrojo *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Fue construida por la empresa *Orbital Sciences Corporation* en Gilbert, Arizona, tiene una vida útil de 5 años. La nave órbita de norte a sur durante el día, cruzando el ecuador a las 10 a.m., hora local, con una órbita aproximada de unas 438 millas (705 kilómetros) por encima de la Tierra.

Landsat 8 OLI TIRS es un paquete de imágenes que consta de nueve bandas espectrales:

Bandas	Longitud de onda (micrometros)	Resolución (metros)
Banda 1-Aerosol	0.43-0.45	30
Banda 2-Azul	0.45-0.51	30
Banda 3-Verde	0.53-0.59	30
Banda 4-Rojo	0.64-0.67	30
Banda 5-Infrarrojo cercano (NIR)	0.85-0.88	30
Banda 6-SWIR 1	1.57-1.65	30
Banda 7-SWIR 2	2.11-2.29	30
Banda 8-Pancromático	0.50-0.68	15
Banda 10-Cirrus	1.36-1.38	30

*Banda 10-Infrarojo térmico (TIRS)1	10.60-11.19	100
*Banda 11-Infrarojo térmico (TIRS)2	11.50-12.51	100
*La Banda TIRS se adquiere a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a remuestrara 30 metro		

Fuente: (USGS, 2014)

La combinación de bandas proporciona información relevante acerca del territorio, para este caso, de la vegetación y la temperatura.

Pre procesamiento de imágenes

El pre procesamiento de imágenes para el cálculo del NDVI y estimación de temperatura superficial implicó dos correcciones: geométrica y radiométrica.

La corrección geométrica se realiza para ajustar la geometría de la imagen a la geometría de la superficie terrestre. La georreferenciación es la adaptación a un sistema geodésico de referencia y una proyección geográfica determinada, en este caso se utilizó el sistema *World Geodetic System 84* (WGS84) y una proyección *Universal Transverse Mercator* (UTM) para la zona 14.

La corrección geométrica para Landsat 8 OLI TIRS únicamente consistió en verificar su correcta georreferenciación, ya que una de las bondades de esta plataforma es que vienen previamente georreferenciadas.

Por otro lado la corrección radiométrica, que es un pre procesamiento para ajustar los niveles digitales ¹⁰(ND) a valores de reflectancia o radiancia, que es la magnitud física de interés, se aplicó una corrección radiométrica para el NDVI con la siguiente fórmula para Landsat 8:

$$\rho\lambda' = M_{\rho}Q_{cal} + A_{\rho}$$

Donde:

$\rho\lambda'$ = Es el valor de reflectancia planetaria, sin corrección por ángulo solar. Note que $\rho\lambda'$ no contiene una corrección por el ángulo solar.

¹⁰ Los productos estándar Landsat, consisten en una serie cuantificada, calibrada y escalada de los niveles digitales ND, los cuales representan los datos de una imagen multiespectral

M_p = Es el factor multiplicativo de escalado específico por banda obtenido del metadato

A_p = Es el factor aditivo de escalado específico por banda obtenido del metadato

Q_{cal} = Es el producto estándar cuantificado y calibrado para valores de pixel

Los valores transformados son necesarios cuando se utilizan datos satelitales para el análisis cuantitativo de las propiedades biofísicas de los elementos de la superficie terrestre y cuando se deriven índices a partir de bandas ubicadas en diferentes regiones del electromagnético (Gonzaga, 2014).

Cada tipo de material, suelo, vegetación, agua, etc. refleja la radiación incidente de diferente forma, lo cual posibilita, al medir la radiación reflejada, la diferenciación de unos y otros. En este caso los valores en reflectancia permiten medir la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético, de esta forma es posible determinar su estado de salud.

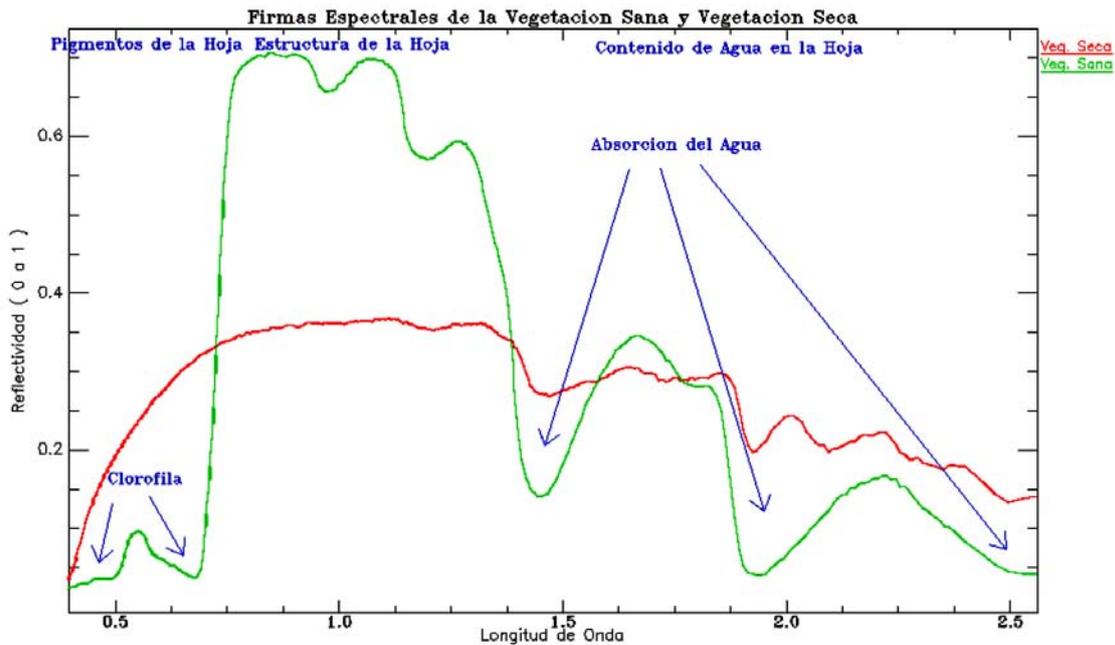
Índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI

EL NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*, permite estimar y evaluar el estado de salud de la vegetación por medio de la medición de la radiación que las plantas emiten o reflejan. Este índice discrimina las cubiertas vegetales, mide el vigor de las plantas y la producción de la biomasa.

Los valores del NDVI están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético (Gráfica 6). La vegetación sana muestra un contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el infrarrojo cercano (IRC). Mientras que en el visible la hoja absorbe la mayor parte de la energía que recibe, en el IRC, las paredes celulares de las hojas, que se encuentran llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de agua.

Por otro lado, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, ya sea por sequía o por plagas, la cantidad de agua disminuye en las paredes celulares por lo que la reflectividad disminuye en el IRC y aumenta paralelamente en el rojo al tener menor absorción de clorofila. (SENASICA, 2014; C. Towers, 2002).

Gráfica 6 Firmas espectrales de la vegetación sana y vegetación seca



Fuente: (SENASICA, 2014)

EL NDVI, se obtiene de la combinación de las reflectancias captadas en el rango espectral del rojo e infrarrojo cercano. (Gonzaga, 2014) Su fórmula es la siguiente.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Donde:

NIR = Es la reflectancia corregida atmosféricamente correspondiendo al infrarrojo cercano

R= Es la reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al rojo

En imágenes Landsat 8, el rojo visible corresponde a la banda 4 y el infrarrojo cercano corresponde a la banda 5, de tal manera que la fórmula para imágenes Landsat 8 queda de la siguiente forma:

$$NDVI (LANDSAT 8) = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$$

Los valores resultantes del índice fluctúan entre el -1 a 1, donde valores por encima del 0.1 indican presencia de vegetación y entre más alto el valor las condiciones de

vegetación son mejores, por el contrario valores por debajo del 0.1 indican ausencia de vegetación.

Estimación de la temperatura de la superficie

Las imágenes satelitales Landsat 8, en específico las bandas 10 y 11, nos permiten transformar el brillo de éstas a temperatura y así identificar la isla de calor de tipo superficial¹¹.

Para transformar el brillo a temperatura fue necesario calibrar la imagen, es decir transformaron los ND de la imagen a radianza al tope de la atmosfera (TOA), para ello se utilizó la siguiente formula.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

Donde:

L_{λ} = Es el valor de radiancia espectral en el techo de la atmosfera (TOA) medida en valores de (Watts /m² * srad * μ m))

M_L = Banda – Es el factor multiplicativo de escalado específico obtenido del metadato A_L = Banda – Es el factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato

Q_{cal} = Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

Una vez que se transformaron los ND a valores de radianza se procedió a transformar estos valores a temperatura en grados kelvin usando la siguiente formula:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

Donde:

T = Temperatura de brillo aparente en grados kelvin (K)

L_{λ} = Corresponde a la reflectancia en el techo de la atmosfera TOA (Watts/(m² * srad* μ m))

K_1 = Es la constante de conversión K_1 específica para cada banda, dicha constante térmica se suministra en el metadato

¹¹ Ver capítulo uno en donde se especifican los tipos de isla de calor

K2 = Es la constante de conversión K2 específica para cada banda, dicha constante térmica se suministra en el metadato

Por último se transformó la temperatura en grados kelvin a grados centígrados con la siguiente formula:

$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 258$$

De esta forma se obtuvieron datos de la temperatura superficial medidos en grados centígrados que es el formato de uso común para el país.

Bibliografía

- ALDF, A. L. (2000). *Ley ambiental del Distrito Federal*. México, Distrito Federal: Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Barradas, L., & J-Seres, R. (1988). Los Pulmones Urbanos. *Ciencia y Desarrollo*(78), 61-72.
- Barradas, V. (1987). Evidencia del efecto de "Isla Térmica" en Jalapa, Veracruz, México. *Geofísica*(26), 125-135.
- Barradas, V. (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City. *Jour. of Biometeorology* (35), 24-28.
- Barradas, V. (2013). Vegetación urbana contra las islas de calor. *Gaceta*(4), 13.
- Bazant, S. J. (1998). *Manual de diseño urbano*. México: Trillas.
- C. Towers, P. (2002). *Conceptos Iniciales sobre Teledetección y su Aplicación al Agro*. Argentina.
- Cajiga, C. J. (2000). *El concepto de responsabilidad social*. Centro Mexicano Para la Filantropía.
- Castillejos, J. (15 de 6 de 2011). Incentivan azoteas verdes en la Ciudad de México. *Excelsior*.
- CDOT. (2010). *The Chicago Department of Transportation*. Recuperado el 5 de Junio de 2013, de The Chicago Green Alley Handbook: http://www.cityofchicago.org/dam/city/depts/cdot/Green_Alley_Handbook_2010.pdf
- CEP, C. d. (s.f.). *Ley de Fraccionamientos y acciones urbanísticas del Estado libre y soberano de Puebla*. Puebla: Dirección General de Asuntos Jurídicos, de Estudios y Proyectos Legislativos. .
- Cervantes, P. J., Vargas, S. M., & Barradas, L. V. (2001). Clima, urbanización y uso de suelo en ciudades tropicales de México. *Ciudades* 51, 19-24.
- Cervantes, P. J., Vargas, S. M., & Barradas, V. (2001). Clima, urbanización y uso de suelo en ciudades tropicales de México. *Ciudades*(51), 19-24.
- Chung, A. P., Valladares, A. R., & Tejeda, M. A. (2014). Temperatura del aire y configuración de espacios públicos abiertos urbanos. *Ciudades* (101), 24-31.
- CONAFOVI, C. N. (2005). *Guía para el diseño de áreas verdes en desarrollos habitacionales*. México DF.
- DGGSP. (Noviembre de 2007). Design Guidelines for Greening Surface Parking Lots. Totonto.
- Edwards, B. (2004). *Guía básica de sostenibilidad*. Barcelona: Gustavo Gilli.
- EPAa. (Octubre de 2008). *Heat Island Reduction Activities*. Recuperado el 1 de Junio de 2013, de Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies: <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/ActivitiesCompendium.pdf>
- Falcón, A. (2007). *Espacios verdes para una ciudad sostenible*. Barcelona: Gustavo Gilli.
- Fernández, G. F. (1995). *Manuel de climatología aplicada: clima medio ambiente y planificación* . Madrid, España: Síntesis .

- Forkes, J. (3 de Mayo de 2010a). *Urban Heat Island Mitigation In Canadian Communities*. Toronto.
- Gaeb, M. (1970). Universidad de Bonn.
- Gartland, L. (2008). *Heat islands: Understanding and mitigating heat in urban areas*. London: Eartscan.
- Gonzaga, A. C. (2014). *Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador*. Ecuador: Tesis de maestría de la facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de la Plata.
- HCMP, H. C. (2004, última reforma mayo 2015). *Código Reglamentario Para el Municipio de Puebla*. Puebla: Periódico Oficial del Estado de Puebla.
- Hough, M. (1998). *Naturaleza y ciudad; planificación urbana y procesos ecológicos*. Barcelona: Gustavo Gilli.
- Jimarez, C. L. (2008). Los espacios públicos en el crecimiento urbano de la ciudad de Puebla. En *Espacios Públicos en el centro hitórico de la ciudad de Puebla* (págs. 65-85). Puebla: BUAP.
- Krishnamurthy, L., & Nascimento, R. J. (1998). *Seminario internacional sobre áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe 1996*. Chapingo Estado de México: Universidad Autónoma de Chapingo, Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible.
- Moreno, G. M. (1993). *Estudio del clima urbano de Barcelona la "isla de calor"*. Barcelona: Solgraf.
- Oke, T. (1978). *Boundary layer climate*. London: Methuen and Co. Ltd.
- Oke, T. R. (2006). *International Association for Urban Climate*. Recuperado el Septiembre de 2014, de <http://www.urban-climate.org/documents/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>
- Olgay, V., Frontado, J., & Clavet, L. (1998). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gilli.
- ONU-HABITAT. (2012). *México sustentable Urban Develop*.
- Peña, A. M., & Romero, A. H. (2005). Relación estadística entre las islas de calor de superficies, cobertura vegetal, teflectividad y contenido de la humedad del suelo, en la ciudad de Santiago y su entorno rural. *Ponencia presentada en el XXVI congreso nacional y XVI congreso internacional de geografía, sociedad chilena de ciencias geográficas*. Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Peña, S. C. (2008). *Metodología para la Planificación de Áreas Verdes Urbanas: El Caso de Mexicali B.C. Tesis Doctoral*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- PGAMP. (2013). *Plan de Gestión Ambiental para el Municipio de Puebla*. Puebla: H. Ayuntamiento de Puebla.
- PMD. (2011). *Plan Municipal de Desarrollo*. Puebla: H. Ayuntamiento de Puebla.

- PMD. (2011). *Plan Municipal de Desarrollo 2011-2014*. Puebla: H. Ayuntamiento de Puebla.
- PMD. (2014). *Plan Municipal de Desarrollo*. Puebla: H. Ayuntamiento de Puebla.
- PVCM. (21 de Junio de 2011). *Plan Verde Ciudad de México*. Recuperado el 6 de Junio de 2013, de <http://www.planverde.df.gob.mx/ecotips/43-cambio-climatico/510-azoteas-verdes-una-opcion-para-la-ciudad-de-mexico.html>
- Rodriguez , V. M. (2001). *Introducción a la arquitectura bioclimática*. México: Limusa.
- Salvador, P. P. (2003). *La planificación verde en las ciudades*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Santiago, R. J. (2008). *La naturaleza en la ciudad, perspectivas teóricas y metodológicas de la funcionalidad ambiental del espacio público*. Sevilla, España: Consejería de Obras Públicas y Transporte.
- SEMARNAT. (2006). *Programa de gestión de la calidad del aire en la zona metropolitana del valle del Puebla* . Puebla.
- SENASICA. (2014). *Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria* . Recuperado el Julio de 2014, de http://portal.sinavef.gob.mx/langif/p_PercepcionRemotaSinavef.php
- Sukopp, H. (1991). *Naturaleza en las ciudades: desarrollo de flora y fauna en áreas urbanas*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Secretaría General Técnica.
- TOP. (2010). *Toronto's Official Plan*.
- USGS, S. U. (2014). *USGS*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>
- Voogt, A. J. (2008). *Actionbioscience*. Recuperado el Enero de 2013, de <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html>
- Wypych, S., & Bokwa, A. (2003). *Environmental Scencie Published for Everybody Round the Earth*. Recuperado el Junio de 2014, de http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2__Clima_Urbano/_Efecto_isla_de_calor_3x6.html