



El Colegio de la Frontera Sur

Université de Sherbrooke

Las áreas verdes urbanas en la mitigación del calor:
caso comparativo entre la ciudad de Filadelfia, EU y la ciudad de Mérida, México.

TESINA

Presentada como requisito parcial para optar al grado de Maestría
Profesionalizante en Ecología Internacional

por

Jorge Abraham Villaseñor Pérez

2017



El Colegio de la Frontera Sur

Chetumal, Quintana Roo, 17 de mayo de 2017.

Las personas abajo firmantes, integrantes del jurado examinador Jorge Abraham Villaseñor Pérez, hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesina titulada “Las áreas verdes urbanas en la mitigación del calor: caso comparativo entre la ciudad de Filadelfia, EU y la ciudad de Mérida, México.” para obtener el grado de **Maestro en Ecología Internacional**.

Director: M. en C. Holger Weissenberger.

Evaluador: Dr. Anmi García Arellano

Agradecimientos

Agradezco profundamente a ECOSUR y La Universidad de Sherbrooke por la oportunidad que me han brindado para realizar la Maestría en Ecología Internacional, a través de la cual he logrado un crecimiento profesional y personal invaluable. Agradezco sinceramente el soporte financiero que me otorgaron tanto el CONACYT como el Gobierno de Canadá, para mis estudios y práctica en el extranjero.

Agradezco a los profesores de ambas instituciones, de quienes tuve la oportunidad de aprender y enriquecerme. Agradezco de manera especial a mi tutor M. Holger Weissenberger, por su soporte y acompañamiento durante todo el proceso de la MEI.

Finalmente doy gracias a todos mis compañeros de la generación 2015-2017 por permitirme compartir con cada uno de ellos más allá de las aulas y los momentos de estudio. Por permitirme aprender de sus experiencias, actitudes y aptitudes.

A mi familia, que siempre está.

Resumen

Los ambientes urbanos se han caracterizado por reemplazar superficies naturales y vegetación, por superficies duras. Esto, produce una reducción de la capacidad de enfriamiento natural a través de la evaporación y la evapotranspiración. Por otra parte, el bajo albedo de los materiales predominantes en la ciudad, produce una mayor absorción y retención de la radiación solar.

La combinación de estos factores, aunado a la emisión de calor producido por la industria, los automóviles y los sistemas de refrigeración/calefacción, generan que muchas ciudades experimenten el fenómeno de Isla de Calor Urbana (ICU) el cual ha sido descrito como el ejemplo más notable de la influencia antrópica sobre el clima.

Las consecuencias negativas de este fenómeno se presentan tanto a nivel social como al nivel ecológico. Por ende, muchas ciudades han comenzado a revertir los procesos tradicionales de urbanización e implementar proyectos de manejo de áreas verdes e infraestructura verde urbana. El objetivo de este trabajo es caracterizar la situación actual de las áreas verdes de la ciudad de Mérida, Yucatán, México y la ciudad de Filadelfia, Pensilvania, EU.

Para esto, se trabaja con imágenes Landsat 5, 7 y 8 para la obtención del Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), a partir del cual se obtiene el porcentaje de superficie vegetada y los metros cuadrados de Área Verde (AV) por habitante, lo que permite tener parámetros comparables entre ambas ciudades. Por otra parte, el Índice de Isla de Calor Urbana (IICU) se calculó en diferentes

fechas y se correlacionó la temperatura urbana con la presencia ausencia de vegetación.

Los resultados muestran que la ciudad de Mérida ha experimentado un decrecimiento en las superficies vegetadas durante el periodo analizado, mientras que Filadelfia ha tenido una ganancia significativa. Mientras Filadelfia ha implementado un enfoque ambiental en la gestión de las áreas verdes urbanas, Mérida ha mantenido un enfoque urbano recreativo, que se refleja en reducidos espacios vegetados al interior de la ciudad.

Palabras clave: Isla de Calor Urbana, Infraestructura Verde Urbana, Área Verde Urbana, NDVI, Temperatura Superficial.

Resumé

Selon L'Organisation des Nations Unies (ONU), en 2050, 60% de la population mondiale habitera en milieux urbains, et l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) prévoit que la température moyenne mondiale continuera d'augmenter par rapport aux niveaux préindustriels.

Aux États-Unis, plus de 80% de la population vit en zones urbaines. En Amérique Latine, le nombre de villes a sextuplé au cours des cinquante dernières années, et aujourd'hui, près de 80% de la population est concentrée dans les villes. Ainsi, ce continent est considéré comme l'un des plus urbanisé de la planète.

Les milieux urbains se caractérisent par le remplacement des surfaces naturelles et de la végétation par des surfaces asphaltées. Cela provoque une réduction de la capacité de refroidissement naturel dû à l'évaporation et l'évapotranspiration. De plus, le faible albédo de ces matériaux imperméables entraîne une plus grande absorption et rétention du rayonnement solaire.

La combinaison de ces facteurs, associée à l'émission de chaleur produite par l'industrie, les automobiles et les systèmes de refroidissement ou de chauffage, génèrent une condition telle qu'actuellement, de nombreuses villes souffrent du phénomène appelé « îlot de chaleur urbain ». L'îlot de chaleur est une augmentation considérable de la température dans la ville, par rapport aux périphéries rurales et naturelles. Ce phénomène est décrit comme l'exemple le plus évident de l'influence humaine sur le climat.

Face à l'augmentation des températures, l'utilisation de systèmes de refroidissement comme stratégie d'atténuation ont également augmenté. Cependant, les équipements utilisés génèrent de la pollution et émettent également de la chaleur dans l'environnement, favorisant ainsi le réchauffement climatique. Dans ce contexte de changement climatique et de réchauffement global, les effets de l'îlot de chaleur urbain se sont intensifiés.

Pour inverser la situation, de nombreuses villes ont commencé à mettre en œuvre des projets de gestion et d'aménagement d'espaces verts ou d'infrastructure verte. L'objectif principal de cet essai est de comparer l'état actuel des espaces verts urbains dans deux villes : Mérida au Yucatan, Mexique et Philadelphie en Pennsylvanie, États-Unis. Cet essai vise à établir si la surface des espaces verts dans ces villes a augmenté ou diminué entre 2000 et 2016, ce qui permettra par la suite d'identifier quels ont été les effets sur le climat urbain.

Pour atteindre l'objectif, des images LANDSAT 5, 7 et 8 ont été utilisées, à partir desquelles la température de la surface et le Normalize Difference Vegetation Index (NDVI) ont été obtenus. À l'aide de ces deux paramètres, il a été possible de calculer le pourcentage de surface végétalisée ainsi que les mètres carrés d'espaces verts par habitant. Ces paramètres ont permis de comparer la situation des deux villes urbanisées.

Cette comparaison permet d'évaluer les conditions actuelles de la ville de Mérida avec l'une des principales villes d'Amérique du Nord. En effet, Philadelphie a mis en œuvre pendant plusieurs années des plans pour atténuer l'effet des îlots de

chaleur. Et, plus récemment, des projets de gestion ont vu le jour dans cette ville, tels que des infrastructures vertes urbaines, la récupération de l'eau de pluie ainsi que d'autres projet d'adaptation aux changements climatiques.

La ville de Philadelphie est presque deux fois plus grande que la ville de Mérida, autant pour sa population que pour son extension géographique. Toutefois, selon le NDVI, en 2000, les deux villes possédaient les mêmes proportions de couverture végétale, soit 18% pour Mérida et 19% pour Philadelphie. Ces pourcentages équivalents à 47 m² et 46 m² par habitant respectivement.

De 2000 à 2016, la ville de Merida a remplacé de nombreuses surfaces naturelles par des surfaces imperméables. De cette façon, le pourcentage de la ville couverte par la végétation a été réduit de 5%. À l'inverse, la ville de Philadelphie a augmenté de 2,4% sa proportion de surfaces végétalisées. Ainsi, en considérant le nombre de mètre carrés de zone verte publique par habitant, la différence devient considérable, et ce en faveur de la ville de Philadelphie avec 21 m² de surface verte par habitant contre 4 m² pour Merida.

Mérida a maintenu une approche urbaine dans sa gestion des espaces verts et vise l'objectif plus ambitieux d'atteindre 9 m² d'espaces verts publics par habitant comme le recommande l'Office Mondiale de la Santé (OMS). Cependant, la ville ne possède pas de cadre juridique pour la réalisation de cet objectif, d'autant moins concernant la protection des espaces verts privés.

Contrairement à Mérida, la ville de Philadelphie a utilisé une approche environnementale pour la gestion de ces zones vertes. Ainsi, elle a réalisé une

augmentation des espaces verts au cours de la période d'intérêt. La ville compte actuellement 21 m² d'espace vert public par habitant, ce qui équivaut à 9% de la superficie urbaine totale. Cependant, malgré que la proportion d'espaces verts à Philadelphie, soit deux fois supérieur au minimum recommandé par l'OMS, la ville souffre encore des effets de l'îlot de chaleur urbain.

Par conséquent, Philadelphie travaille désormais sur un plan pour atteindre l'objectif minimum de 30% de surfaces végétalisées dans tous les quartiers de la ville. Actuellement, les quartiers atteignant ce pourcentage n'ont aucun problèmes avec la chaleur urbaine. Par conséquent, on peut estimer que 30% est un but plus réaliste que celui fixé par l'OMS, pour diminuer les effets d'îlot de chaleur urbain et les problèmes qu'ils engendrent.

Índice

Agradecimientos	ii
Resumen.....	iii
Resumé.....	v
Índice	ix
Índice de figuras	xi
Glosario	xii
Acrónimos y abreviaciones	xiii
1 Introducción.....	15
1.1 Problemática	16
1.2 Estado de conocimiento.....	16
1.3 Objetivos	17
1.4 Metodología	18
2 La planeación urbana en la mitigación del calor	20
2.1 La Isla de Calor Urbana.....	20
2.2 La aparición de la ciudad dispersa	24
2.3 Ciudad Dispersa o Ciudad compacta.....	26
2.4 El automóvil y el uso insostenible del territorio	29
2.5 Confort climático en el ambiente urbano	32
3 Las áreas verdes urbanas	34
3.1 Beneficios de las áreas verdes urbanas.....	34
3.2 Beneficios ecológicos	36
3.3 Beneficios ambientales	36
3.4 Beneficios sociales.....	39
3.5 Beneficios económicos.....	39
3.6 La Infraestructura Verde Urbana	40
3.7 La Red Verde	42
3.8 Objetivos de Desarrollo Sostenible y Hábitat III.....	44
4 Las áreas verdes en la ciudad de Mérida y Filadelfia.	47
4.1 Mérida, Yucatán.	47

4.1.1	Caracterización física y ambiental.....	47
4.1.2	Geografía urbana.....	48
4.1.3	Las áreas verdes urbanas	51
4.2	Filadelfia, Pensilvania	59
4.2.1	Caracterización física y ambiental.....	59
4.2.2	Geografía urbana.....	59
4.2.3	Las áreas verdes urbanas	61
5	Análisis de la vegetación y la Temperatura Superficial mediante la percepción remota	63
5.1	Mérida	63
5.2	Filadelfia	72
5.3	Discusión comparativa del estado actual de las áreas verdes	78
6	Conclusiones	82
7	Bibliografía.....	84

Índice de figuras

Figura 2.1 Perfil esquemático de la ICU de superficie	23
Figura 2.2 Ejemplos de dispersión urbana	26
Figura 2.3 Modelo teórico de la Ciudad Compacta y la Ciudad Dispersa	29
Figura 4.1 Expansión urbana de la ciudad de Mérida y Metropolización	49
Figura 4.2 Áreas verdes arboladas detectadas por López (2008)	52
Figura 4.3 Áreas verdes arboladas detectadas por Pérez (2012)	53
Figura 4.4 Identificación de áreas verdes arboladas por el PMIVU	55
Figura 4.5 Distribución de las áreas verdes y áreas verdes arboladas en Mérida	56
Figura 4.6 Distribución de las áreas verdes públicas en Mérida	57
Figura 4.7 Porcentaje de cobertura arbórea en la ciudad de Filadelfia	62
Figura 5.1 Cálculo de la vegetación mediante el NDVI. Mérida	64
Figura 5.2 Imágenes LANDSAT analizadas. Mérida	65
Figura 5.3 Obtención del promedio urbano y rural. Mérida	67
Figura 5.4 Promedio de ICU en el periodo de análisis	68
Figura 5.5 Temperatura superficial de septiembre 2014. Mérida	69
Figura 5.6 Perfil de la Temperatura superficial de septiembre 2014. Mérida	71
Figura 5.7 Correlación entre vegetación y TS. Mérida	73
Figura 5.8 Cálculo de la vegetación mediante el NDVI. Filadelfia	74
Figura 5.9 Obtención del promedio urbano y rural. Filadelfia	76
Figura 5.10 Perfil de la Temperatura Superficial de Mayo de 2009.	77
Figura 5.11 Promedio de ICU en el periodo de análisis	77
Figura 5.12 Correlación entre vegetación y TS. Filadelfia	78

Índice de Cuadros

Cuadro 4.1 Indicadores de áreas verdes en Mérida	56
Cuadro 4.2 Indicadores de área verde en Filadelfia	63
Cuadro 5.1 Cobertura de vegetación 2000 y 2016 en Mérida	65
Cuadro 5.2 Temperatura superficial e Índice ICU. Mérida	66
Cuadro 5.3 Sensación térmica en función de la humedad relativa del aire	70
Cuadro 5.4 Cobertura de vegetación 2000 y 2016. Filadelfia	73
Cuadro 5.5 Temperatura Superficial e Índice ICU. Filadelfia	73

Glosario

Área Verde:	Todas aquellas zonas, vegetadas y arboladas, sean de carácter público o privado dentro de los márgenes de la ciudad.
Cambio Climático:	Cambios en los patrones globales del clima inducidos por las actividades humanas.
Calentamiento Global:	El aumento de la temperatura promedio global
Census Bureau:	Fuente estadística oficial de los Estados Unidos
Confort Climático:	Rango confortable de temperatura para la salud física y mental.
Densidad Urbana:	Características de la ciudad, que pueden definirla como ciudad compacta o ciudad dispersa. Comúnmente se mide el número de viviendas por hectárea o el número de habitantes por hectárea.
Gas de efecto invernadero:	Principalmente el vapor de agua, el dióxido de carbono, el ozono y el metano, como principales causantes del efecto invernadero.
Isla de Calor:	Mayor temperatura en la ciudad comparada con las periferias rurales.
Infraestructura Verde:	La red de estrategias como parques y arbolado urbano que permiten reducir el calor urbano.
Resiliencia:	Capacidad de un sistema de recuperar su estado original tras un evento anómalo.
Vulnerabilidad al Calor:	Baja capacidad de respuesta contra el calor como una amenaza a la salud.

Acrónimos y abreviaciones

CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CONAPO	Consejo Nacional de Población
COMEX	Coordinación Metropolitana de Yucatán
DOTS	Desarrollo Orientado al Transporte Sustentable
ECE	Evento de Calor Extremo
ICU	Isla de Calor Urbana
IICU	Índice de Isla de Calor Urbana
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IVU	Infraestructura Verde Urbana
LCDAUY	Ley de Conservación del Arbolado Urbano de Yucatán
NDVI	Normal Difference Vegetation Index
ODS	Objetivos de Desarrollo Sustentable
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
OMM	Organización Meteorológica Mundial
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PDU	Programa de Desarrollo Urbano

PMIVU	Plan Municipal de Infraestructura Verde urbana
SIEP	Sistema de Espacios Públicos
TS	Temperatura Superficial
UADY	Universidad Autónoma de Yucatán

1 Introducción

El 2016 marcó un hito sin precedentes en dos rubros a considerar muy de cerca. La población mundial es más urbana que nunca y el último año se registró como el más caliente de la historia. Proyecciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) señalan que hacia 2050, más del 60% de la población mundial, habitara en las áreas urbanas (ONU-Habitat, 2011). Mientras que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) predice que debido al aumento de los gases de efecto invernadero, que son producidos en un 70% en las áreas urbanas (ONU-Habitat, 2012), la temperatura promedio mundial continuará en aumento con respecto a los niveles preindustriales (OMM, 2015).

En los Estados Unidos, más del 80% de la población vive en áreas urbanas (Census Bureau, 2010) y casi el 50% se encuentra en las 25 áreas urbanas más extensas (Baumann, 2008). En América Latina, el número de ciudades se multiplicó por seis en los últimos cincuenta años, casi 80% de la población es urbana y la región es considerada como la más urbana del mundo (ONU-Habitat, 2012). En México, El Consejo Nacional de Población (CONAPO) estima que para 2030 el 81% de la población será urbana (CONAPO, 2007).

Esta combinación, es una seria amenaza a la sociedad moderna, dado que se espera que los Eventos de Calor Extremo (EVC) aumenten considerablemente en los próximos años, como consecuencia del cambio climático (Alexander y Arblaster, 2009; Wilhelmi y Hayden, 2010) y afecten sensiblemente a los medios urbanizados (Rosenzweig et al, 2011).

1.1 Problemática

Los procesos de urbanización que se han producido desde la segunda mitad del siglo XX han propiciado un crecimiento acelerado hacia las periferias y la pérdida de vegetación (Marulli y Mallarachm, 2005), tanto al interior de la ciudad como en las zonas naturales y productivas contiguas (Pesci, 2004). Al mismo tiempo, se han incrementado las superficies duras e impermeables de materiales como el asfalto y el concreto, que favorecen la intensificación del calor en las áreas urbanas (Stathopoulou y Cartalis, 2006).

De esta manera, muchas ciudades experimentan el fenómeno conocido como Isla de Calor Urbana (ICU), que consiste en un considerable aumento de la temperatura en la ciudad, con respecto a las periferias rurales y naturales, producido principalmente por la pérdida de la vegetación y el reemplazo de las superficies naturales (Oke, 1982).

1.2 Estado de conocimiento

La ICU produce serios problemas tanto a nivel ecológico, como a nivel social (Lai y Cheng, 2009; Weng y Yang, 2006). A nivel ecológico, la ICU, impacta negativamente debido a que incrementa el consumo energético (Konopacki y Akbari, 2002) y el uso de sistemas de enfriamiento (EPA, 2011) que liberan gases de efecto invernadero (Trujillo, 2012). Por otra parte, se ha identificado una mayor contaminación del aire en condiciones de ICU (Harris, 1992) que incluso puede llegar a modificar los patrones de precipitación (Yuan y Bauer, 2007).

A nivel social, el impacto se presenta directamente en la salud humana, considerando que la exposición constante a altas temperaturas causa severos

problemas de salud (Hondula, 2014) y un alto riesgo de mortalidad (Bell et al, 2008). En los Estados Unidos, el calor se ha posicionado como la principal causa de muertes relacionadas al clima (CDC, 2006).

Como estrategia de mitigación de las altas temperaturas, se incrementa el uso de los sistemas de enfriamiento, sin embargo, estos equipos, además de ser contaminantes, emiten calor al ambiente (Baumann, 2008) lo que promueve la perduración de la ICU y el calentamiento global. Bajo un escenario de cambio climático y calentamiento global, los efectos de la ICU se intensifican (Gabriel y Endlicher, 2011; ONU-Habitat, 2011).

Diversos estudios han comprobado los efectos positivos de las áreas verdes en la mitigación de la ICU (Rosenzweig et al, 2006; EPA, 2009; Bowler et al, 2010; Ottelé et al, 2010), sin embargo, los procesos de urbanización continúan reduciendo la vegetación al interior de las ciudades y fragmentando y degradando los ecosistemas contiguos (Liu et al, 2015).

1.3 Objetivos

El objetivo de este estudio, es comparar el estado actual de las áreas verdes urbanas, en dos ciudades: Mérida, Yucatán y Filadelfia, Pensilvania. Se busca establecer si la superficie de áreas verdes en estas ciudades ha tenido transformaciones significativas del año 2000 al 2016 y cuáles han sido sus efectos, positivos o negativos en la temperatura urbana. Para esto, se analiza el índice de calor urbano en ambas ciudades durante el mismo periodo y la correlación que existe entre la presencia y/o ausencia de vegetación en la ciudad.

Esta comparación permite evaluar las condiciones concretas de la ciudad de Mérida, teniendo como parámetro de referencia (que no como un modelo a seguir) una de las grandes ciudades de Norte América, que desde hace varias décadas ha implementado planes de mitigación al calor y más recientemente, de manejo de infraestructura verde urbana, de agua de lluvia y de adaptación al cambio climático en general.

Para alcanzar el objetivo de estudio, se presentan los siguientes objetivos específicos:

- Identificación del porcentaje de superficie urbana vegetada
- Identificación de los m² de área verde por habitante
- Identificación del Promedio de Índice de Isla de Calor Urbana

1.4 Metodología

Para lograr los objetivos se trabaja con imágenes satelitales LANDSAT 5, 7 Y 8 mediante el software ArcGIS 10.3 para extraer información de vegetación y temperatura superficial. La temperatura superficial, se calcula obteniendo primero la temperatura de brillo, de acuerdo a la operación recomendada y utilizada por Trujillo (2012) como se puede apreciar en la ecuación 1.

Ecuación 1:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{R} + 1\right)} - 272.15.$$

En donde T_B denota la temperatura de brillo, K_2 y K_1 son constantes de calibración que se pueden obtener del fichero adjunto al descargar las imágenes satelitales. R

denota la radiancia y el factor 272.15 es un valor de ajuste para transformar grados Kelvin a Celsius.

Posteriormente, tomando como base el trabajo de Sobrino et al (2004), se calcula la temperatura superficial bajo la ecuación 2.

Ecuación 2:

$$TS = \frac{T_B}{1 + TIR \left[\frac{T_B}{P \ln(Es)} \right]}$$

En donde TS denota la temperatura superficial, T_B la temperatura de brillo, TIR la banda térmica, P es un valor constante equivalente a 14380 (Sobrino et al, 2004) y Es se refiere a la emisividad superficial.

El cálculo de la vegetación se realiza mediante el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Para calcular el NDVI se utiliza la ecuación recomendada por Sobrino et al (2004):

Ecuación 3:

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

Donde NIR equivale a la banda 4 en las imágenes Landsat 5 y 7 y a la banda 5 para las imágenes Landsat 8. $ROJO$ representa la banda 3 en Landsat 5 y 7 y la banda 4 en las imágenes Landsat 8.

Este índice permite determinar la cantidad y la calidad de la vegetación a través de la percepción remota (Trujillo, 2012). El NDVI es un índice ampliamente utilizado

para los estudios de la vegetación en medios urbanos y dada su relativa facilidad y la confiabilidad de sus resultados es recomendado por la Organización Mundial de la Salud para la cuantificación de las áreas verdes en ciudades (WHO, 2016).

2 La planeación urbana en la mitigación del calor

En este primer capítulo se abordara la relevancia que tiene la planificación del crecimiento urbano en la gestión de las áreas verdes y la mitigación del calor. O caso contrario, como la endeble o nula planeación del crecimiento, deteriora el medio y exacerba el calentamiento de las áreas urbanas. Se presenta un breve repaso a las condiciones históricas que transformaron a la ciudad tradicional, delimitada y diferenciada del campo, hacia un modelo de ciudad difuso y disperso en el territorio, que produce deforestación, fragmentación de ecosistemas y deterioro ambiental. Se discutirá el conocido debate entre “expansión” o “densificación” desde una perspectiva enfocada a mejorar la calidad de las áreas verdes urbanas y la mitigación del calor y se pretende exponer como la priorización del automóvil, como principal medio de transporte, dificulta la existencia, calidad y cantidad de los espacios arbolados y vegetados, además de promover directamente la perduración de la Isla de Calor Urbana.

2.1 La Isla de Calor Urbana

El ejemplo más claro de los efectos negativos de la acción humana sobre el clima, se observa en el fenómeno conocido como Isla de Calor Urbana (Eliasson, 2000). Este fenómeno consiste en el aumento de la temperatura en el interior de la ciudad, con respecto a la periferia rural y natural, debido principalmente a la

perdida de vegetación y al remplazo de superficies naturales por materiales impermeables (Oke, 1982).

La formación de la Isla de Calor Urbana (ICU) se puede explicar desde dos aspectos fundamentales:

- El suministro de calor al ambiente urbano
- La reducción de la capacidad de enfriamiento.

Entre los elementos que suministran calor a la ciudad, se encuentra en primer lugar, la radiación solar. Los materiales predominantes en el ambiente urbano, como el asfalto y el concreto, reciben el calor y lo almacenan durante el día, para relanzarlo al ambiente durante la noche (Rizwan et al, 2008). Este tipo de materiales pueden irradiar hasta el 90% de la energía calorífica recibida, mientras las superficies naturales irradian un 30% a 40% como máximo (Gómez, 2005).

El calor antropogénico, producido por automóviles, la industria y los sistemas de enfriamiento, también contribuye al aumento de la temperatura urbana y a reforzar la condición de ICU y sus efectos (Rizwan et al, 2008; Yuan y Bauer, 2007; Taha, 1997). La emisión calorífica de las fuentes antropogénicas, en ciertas condiciones, inclusive puede ser mayor al calor capturado por la radiación solar (Baumann, 2008).

La reducción de la capacidad de enfriamiento, se produce por la pérdida de la vegetación y por consiguiente la pérdida de la evapotranspiración, que consiste en la liberación de vapor de agua hacia el ambiente (Trujillo, 2012). Sin este proceso, el microclima urbano, pierde un importante factor de regulación de la temperatura.

La cobertura vegetal también permite proporcionar sombra a las superficies urbanas, sin ella, la absorción del calor se magnifica (Sorensen et al, 1998). Por otra parte, la disposición de los grandes edificios, reduce el enfriamiento por convección, puesto que bloquea las corrientes naturales de viento (Galindo et al, 2013; Baumann, 2008).

Diversos estudios alrededor del mundo han identificado diferencias de temperatura de hasta 10° centígrados entre la ciudad y el medio natural en el que se inserta (Memon et al, 2009). Esta situación, genera severos efectos negativos tanto a nivel social, como ecológico (Lai y Cheng, 2009; Weng y Yang, 2006). La exposición a altas temperaturas deteriora la salud y puede causar la muerte (Trujillo, 2012). Por ende, se incrementa el uso del aire acondicionado como estrategia de mitigación, lo que genera una mayor liberación de gases contaminantes (EPA, 2011).

De acuerdo con Oke (1976) el fenómeno de la isla de calor urbana, puede diferenciarse en:

- Isla de Calor de la capa del dosel,
- Isla de calor de la capa limite
- Isla de calor de superficie.

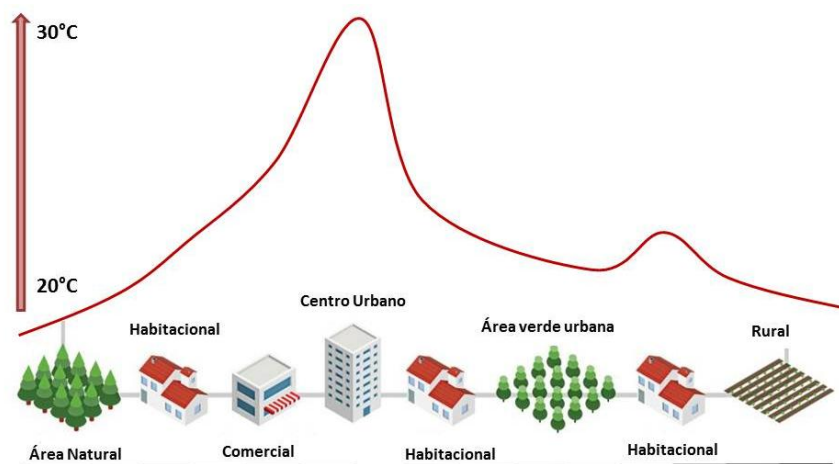
La Isla de Calor de la capa del dosel y la Isla de Calor de la capa limite se refieren al calentamiento de la atmosfera urbana y para su estudio se utilizan las estaciones meteorológicas (Voogt y Oke, 2003). La isla de calor de superficie hace referencia a la temperatura superficial y su estudio se lleva a cabo mediante

la percepción remota (Voogt y Oke, 2003; Trujillo, 2012). Otros estudios hacen una diferenciación entre isla de calor e isla de calor nocturna. Los estudios de Isla de calor nocturna se refieren al análisis de la Isla de Calor de la capa del dosel y la Isla de Calor de la capa limite, debido a que sus efectos se presentan con mayor intensidad durante la noche (Roth et al, 1989).

Sin embargo, aunque se hace una diferenciación para un mejor estudio y comprensión del fenómeno; las causas que lo originan, así como sus consecuencias sobre el medio ambiente y la sociedad, se encuentran intrínsecamente relacionadas. Por ejemplo, una alta temperatura superficial, tendrá efectos en la atmosfera urbana, puesto que los materiales que almacenan calor durante el día, lo liberan a la atmosfera durante la noche (EPA, 2006).

En este estudio comparativo, se considerara la Isla de Calor de Superficie, dado que permite establecer una relación más directa con la presencia o ausencia de vegetación y el porcentaje de la ciudad cubierto con superficies duras.

Figura 2.1 Perfil esquemático de la ICU de superficie



Fuente: Elaboración propia. Basado en Oke (1976)

2.2 La aparición de la ciudad dispersa

En el siglo XVIII, *El diccionario razonado de las ciencias, las artes y los oficios* mejor conocido como La Enciclopedia, definía la ciudad como “Recinto cerrado por murallas, que contiene muchos barrios, calles, plazas públicas y otros edificios”.

La Revolución Industrial transformó el escenario político, económico y demográfico de Europa y por consiguiente, la estructura de las urbes. Las ciudades todavía amuralladas, fueron densificadas hasta el punto de hacinamiento por constantes migraciones campo-ciudad, por lo que las barreras físicas, más allá de haber perdido su funcionalidad original, como elementos de defensa; perdían ahora, su propósito contenedor y se veían como un símbolo de opresión y atraso a la expansión urbana (Nivón, 2003).

Ya entrado el siglo XX, la Carta de Atenas de 1933 vendría a ser, para muchos teóricos del fenómeno urbano, el punto de partida para la configuración de la ciudad contemporánea, debido a que promovió la separación de las funciones urbanas: residencia, trabajo, esparcimiento y circulación (Chavoya et al, 2009). Así las ciudades que planearon su crecimiento siguiendo los preceptos establecidos en la Carta de Atenas, cayeron en una excesiva zonificación de acuerdo a las cuatro funciones básicas (Neuman, 2005; Chavoya et al, 2009), lo que provocó la fragmentación de la ciudad y la monotonía urbana (Gómez, 2005).

En los Estados Unidos, el proceso de zonificación y fragmentación se hizo aún más evidente, ya que las condiciones económicas después de la segunda guerra mundial permitieron un escenario óptimo para equilibrar la oferta, con la demanda creciente de residencias suburbanas, por parte de la clase media que aspiraba a

mejores condiciones de vida (Nivón, 2003) y la búsqueda del “American Dream” representado en la vivienda unifamiliar de los suburbios (Neuman, 2005). Este equilibrio del mercado, se vio reforzado por las estrategias del gobierno, que favorecieron el crecimiento urbano y la inversión en infraestructuras de transporte (Nivón, 2003).

Así, el modelo de ciudad estadounidense se consolidó bajo un esquema de dispersión, donde el trabajo y los servicios eran cada vez más distantes de las zonas habitacionales, basadas en el suburbio de bajas densidades y donde la necesidad de realizar largos desplazamientos diarios, fue cubierta con la “automovilización” de la sociedad (Pesci, 2004; Nivón, 2003).

En el contexto de las ciudades latinoamericanas, los procesos de dispersión se dieron, por un lado, debido a la importación del modelo norteamericano de suburbios distantes y, por otro lado, por una fuerte y acelerada migración campo-ciudad, que encontraría suelo accesible en las periferias urbanas y se asentaría en extensas zonas habitacionales de autoconstrucción, sin planeación, sin servicios y segregadas de la ciudad (Chavoya et al, 2009).

En México, de acuerdo con Iracheta (2009) las áreas rurales y el suelo agrícola en las periferias de las ciudades han sufrido un proceso de urbanización disperso y fragmentado, producido por fraccionamientos de interés social o asentamientos irregulares de bajas densidades, que generan altos costos de infraestructura y servicios.

Figura 2.2 Ejemplos de dispersión urbana



Derecha: Fraccionamiento de interés social en la Zona Metropolitana del Valle de México.
Izquierda: Suburbio en la Zona Metropolitana de Los Ángeles, California.

Fuente: Livia Corona, CTSEMBARQ. Google images

2.3 Ciudad Dispersa o Ciudad compacta

¿Cuál es la relevancia de un modelo de ciudad compacta o dispersa, cuando se habla de las áreas verdes y la mitigación del calor urbano? Antes de comenzar con esta discusión, comencemos por esclarecer lo que se denomina por ciudad compacta y ciudad difusa.

Se habla de ciudad compacta, cuando la urbanización presenta altas densidades, mezcla de usos de suelo, accesibilidad a bienes y servicios y se articula por medio del transporte público y redes para la movilidad no motorizada (Jenks y Dempsey, 2005; Neuman, 2005). La ciudad dispersa, por su parte, se refiere al modelo de urbanización hacia la periferia, de bajas densidades, con una marcada separación de la vivienda, trabajo y servicios, y articulada por el automóvil (Ewing et al, 2002; Neuman, 2005).

Desde principios del siglo XXI, ha existido una crítica generalizada hacia la dispersión de la ciudad, puesto que fomenta el uso del automóvil como principal

medio de transporte, dificulta y encarece la dotación de servicios públicos (Chavoya et al, 2009), deteriora las áreas naturales y productivas, el tejido social y la identidad (Pesci, 2004).

Se ha identificado que la dispersión de la ciudad promueve la formación de la Isla de Calor Urbana (ICU), dado que incrementa las superficies impermeables y la deforestación de las periferias, lo que eleva la temperatura superficial (Stone y Norman, 2006) y reduce la capacidad de enfriamiento de los centros urbanos (Stone, 2012). Así mismo, Stone y Rodgers (2001) en un estudio realizado en Atlanta, identificaron que las bajas densidades habitacionales generan un mayor consumo de energía y contribuyen significativamente a la formación de la ICU.

De esta manera, ha habido un consenso entre urbanistas a nivel mundial sobre la importancia de contener la dispersión urbana y redensificar la ciudad, en busca de recuperar un modelo de ciudad compacta y múltiples beneficios sociales y ambientales, entre los que destacan un menor consumo de suelo y menor impacto sobre los ecosistemas circundantes (Pesci, 2004).

La ciudad compacta hace más eficiente la movilidad, puesto que al reducir las distancias, el transporte público se vuelve más eficiente, se promueven las caminatas, el uso de la bicicleta (Jenks y Jones, 2010) y se reduce la dependencia del automóvil; lo que reduce el consumo energético, la demanda de infraestructura vial, la emisión de calor y la contaminación atmosférica (Ewing et al, 2002). Todos factores que promueven la Isla de Calor Urbana.

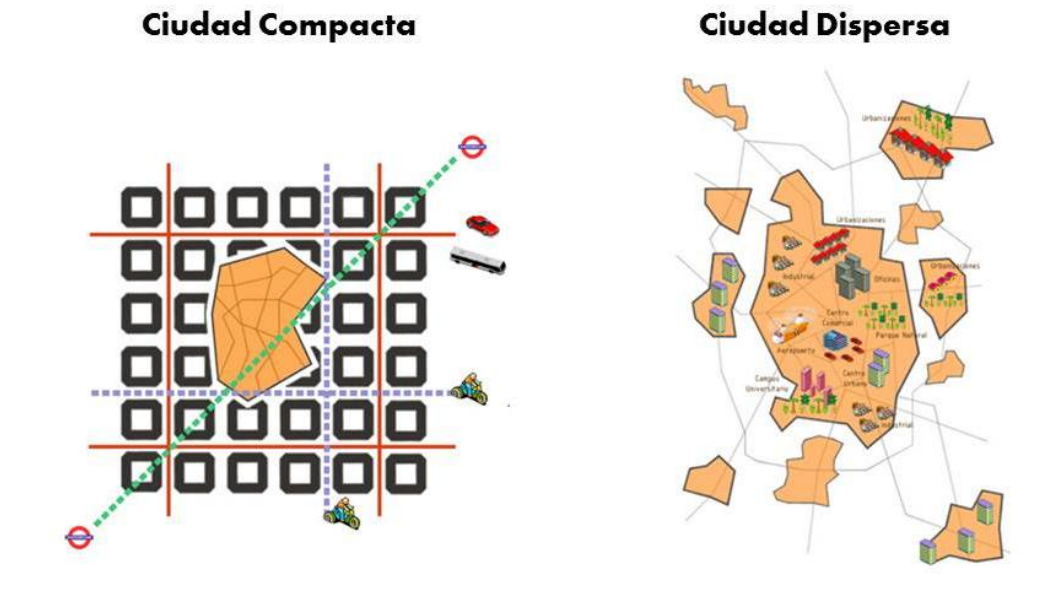
Paradójicamente, Debbage y Marshall (2015) concluyen que tanto la ciudad compacta, como la ciudad dispersa, pueden intensificar los efectos de la ICU, puesto que una de las estrategias más implementadas en la redensificación de la ciudad, consiste en rellenar los vacíos urbanos. Lo que implica una mayor densidad de construcción, menos espacios abiertos y por tanto una mayor absorción y almacenamiento de calor (Debbage y Marshall, 2015).

El modelo de ciudad compacta puede ser eficiente en la reducción de la ICU, siempre y cuando se densifique bajo una estrategia que permita reducir las superficies cubiertas de asfalto y concreto (Debbage y Marshall, 2015) e incluir una red de áreas verdes que proporcionen enfriamiento natural mediante la evapotranspiración (Norton et al, 2015).

De igual manera, un modelo disperso, bien organizado en diferentes densidades y centralidades y que permite mayores espacios abiertos puede tener efectos positivos en la reducción del consumo energético para enfriar edificios (Debbage y Marshall, 2015), y en la reducción del uso de combustibles fósiles, al reducir las distancias a los centros de servicios (Ewing et al, 2002).

Por tanto, Chavoya et al (2009) señalan la importancia de analizar cada ciudad, de acuerdo a sus características particulares, a su desarrollo histórico y al medio físico en el que se encuentran, más allá de seguir de manera general uno u otro modelo, cuando se trata de planificar y ordenar la ciudad para minimizar sus impactos negativos sobre el medio ambiente así como en la calidad de vida de sus habitantes.

Figura 2.3 Modelo teórico de la Ciudad Compacta y la Ciudad Dispersa



Ciudad Compacta: Alta densidad construcción/población. Menor consumo de suelo. Menor consumo energético. Conservación de ecosistemas. Mezcla de uso de suelos. Proximidad de bienes y servicios. Movilidad peatonal y ciclista. Eficiencia del transporte público. Proximidad de áreas verdes. Mayor interacción social y económica.

Ciudad Dispersa: Baja densidad construcción/población. Alto consumo de suelo. Mayor consumo energético. Fragmentación de ecosistemas. Zonificación excesiva. Lejanía de bienes y servicios. Priorización del automóvil. Deficiencia del transporte público. Áreas verdes dispersas. Menor interacción social y económica

Fuente: Elaboración propia basado en Neuman (2005).

2.4 El automóvil y el uso insostenible del territorio

En el proceso histórico de dispersión de las ciudades, el automóvil ha tenido un papel fundamental. Durante años, la planeación urbana se basó en las facilidades conectoras y de movilidad que el automóvil ofrecía; facilitándose así, la marcada separación de las funciones urbanas, especialmente de las zonas habitacionales con las zonas de trabajo y comerciales.

Esta excesiva articulación de la ciudad mediante el automóvil, ha ocasionado severos problemas al medio ambiente urbano. En primer lugar, porque la elevada

tasa de motorización de las ciudades, conlleva a una alta contaminación atmosférica (Nieuwenhuijsen y Khreis, 2016). En segundo lugar, la infraestructura para el automóvil demanda una gran cantidad de superficie urbana, lo que promueve el cambio de superficies naturales por superficies duras (Medina et al, 2012).

En México, los automóviles son responsables del 18% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (Galindo, 2009), 31% de las emisión de óxidos de nitrógeno y 62% del monóxido de carbono (INE, 1999). Un alto porcentaje de las emisiones de estos gases, se produce en las ciudades, y bajo estas condiciones atmosféricas las ciudades son más susceptibles a sufrir los efectos de la Isla de Calor Urbana (Rizwan et al, 2008).

Por otra parte, Baumann (2008) identifica que en ciertas ciudades de los Estados Unidos, el uso de combustibles fósiles por los automóviles en conjunto con el utilizado para la calefacción/refrigeración, emite más calor al ambiente que el propio capturado de la radiación solar. Adicionalmente, una ciudad típica de EU tiene una tercera parte de su superficie dedicada a calles, avenidas y estacionamientos (Baumann, 2008). Esto genera que exista una mayor absorción del calor y escorrentía del agua de lluvia, lo que genera menor evaporación y menor evapotranspiración, lo que reduce la capacidad de enfriamiento natural (Stathopoulou y Cartalis, 2006).

El automóvil es el principal oponente de las áreas verdes en la lucha por el uso del espacio público en las ciudades. Al reducir el uso del automóvil mediante una

planificación integral de la movilidad urbana, no solo se reduce la emisión de calor y de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos, sino que se permite la reducción de las superficies urbanas de asfalto y concreto, lo que posibilita la recuperación de espacios públicos vegetados (Medina et al, 2012; Gómez, 2005).

Ya desde 1996, en el Hábitat II se mencionaba:

“La ciudad es, en consecuencia y sobre todo, de la persona que va a pie. Los viajes a pie, en bicicleta o en transporte público son los medios que pueden reducir drásticamente el estrés ambiental provocado por los vehículos privados” (Hábitat II, 1996)

De esta manera muchas ciudades están implementando planes de Desarrollo Orientado al Transporte Sustentable (DOTS). El modelo DOTS busca revertir los problemas urbanos y ambientales que la dispersión ha generado, mediante la densificación de la ciudad, mezcla de usos de suelo y la conectividad prioritaria a escala peatonal y ciclista (CTS México, 2015)

El modelo DOTS impacta directamente en una mejor calidad de espacios públicos y áreas verdes, así como en la reducción del consumo energético, la contaminación atmosférica y la emisión de calor, gracias a la reducción del uso del automóvil. Algunas ciudades europeas como Helsinki, Finlandia y Hamburgo, Alemania; van todavía más lejos en sus planes de desarrollo urbano y están proyectando estrategias para eliminar completamente el uso del automóvil hacia 2030 (Nieuwenhuijsen y Khreis, 2016).

2.5 Confort climático en el ambiente urbano

El confort climático o confort térmico puede definirse como el estado de equilibrio entre las condiciones fisiológicas del ser humano y las condiciones medioambientales, como la temperatura, la humedad relativa, la radiación y la velocidad del viento, que producen un bienestar térmico (Gómez, 2005) bajo el cual los mecanismos de regulación son mínimos (Fernández, 1994).

La temperatura es el factor principal para el confort térmico, sin embargo la humedad también juega un rol importante en la sensación de confort, ya que con porcentajes de humedad relativa por encima de 80%, la sensación de calor aumenta (Fernández, 1994). Por su parte, el viento puede ayudar al equilibrio térmico mediante la convección y la evaporación, siempre y cuando la temperatura del aire sea menor a la temperatura corporal (Fernández, 1994).

La temperatura corporal mantiene parámetros normales entre los 36.5 y 37°C, no obstante los factores ambientales mencionados, actúan de manera conjunta sobre el cuerpo y pueden llegar a elevar la temperatura corporal, ocasionando serias complicaciones e incluso la muerte si se superan los 40°C (Fernández, 1994).

En condiciones de ICU, la pérdida del confort climático se acentúa y las probabilidades de muertes por golpes de calor aumentan (Golden et al, 2008). Por tanto, el confort climático, es un elemento más a considerar en la planificación de las ciudades y la inclusión de la vegetación es la mejor estrategia para mantener el confort (Gómez, 2005).

El confort climático no solo responde a las condiciones fisiológicas y medio ambientales, sino que tiene que ver con un aspecto psicológico y subjetivo de cada individuo (Fernández, 1994; Gómez, 2005). Gómez y Alcántara (2003) incluso señalan que mecanismos de termorregulación, como la sudoración, generan un malestar psicológico que impacta negativamente en la sensación de confort.

Por ende, la vegetación no solo mantiene el confort, por sus efectos termorreguladores en el clima urbano, sino también porque juega un papel fundamental en el bienestar psicológico de las personas (Sorensen et al, 1998).

3 Las áreas verdes urbanas

El árbol, considerado “arquetipo de la naturaleza”, se ha hecho insustituible en las calles urbanas, como único elemento vivo en el desierto de asfalto y hormigón. El árbol es el “otro” ser vivo que está en nuestro espacio experimentado; su espacio y el nuestro coinciden y se confunden” (López et al, 1969)

En este capítulo se aborda la importancia de las áreas verdes en la mitigación del calor, más allá de su evidente efecto refrigerante mediante el proceso de evapotranspiración. Se presenta como al enfoque urbano (Maruani y Amit-Cohen, 2007) de las áreas verdes, basado en la provisión de espacios recreativos y ornamentales (Del Pozo, 2015), se ha integrado la visión ambiental, mediante los conceptos de Infraestructura Verde Urbana (IVU) y Red Verde. Finalmente, se pone en discusión la falta de indicadores pertinentes para establecer la pertinencia en la calidad y cantidad de áreas verdes urbanas con las que cuentan las ciudades.

3.1 Beneficios de las áreas verdes urbanas

Como se ha mencionado, una de las principales causas del incremento de la temperatura en el ambiente urbano, es la pérdida de la vegetación. Por tanto, el manejo de las áreas verdes es un componente fundamental de la planeación urbana (Gómez, 2005), puesto que no solo permiten la regulación del clima, sino que proporcionan múltiples beneficios a la ciudad y los ciudadanos (Sorensen et al, 1998; Reyes y Gutiérrez, 2010).

Históricamente, las áreas verdes urbanas se han planificado bajo dos enfoques, el ambiental y el urbano (Maruani y Amit-Cohen, 2007). Desde el enfoque ambiental, se prioriza la protección y conservación de grandes espacios abiertos a fin de garantizar las funciones ecológicas y los servicios ambientales de estas áreas, mientras que el enfoque urbano, responde principalmente a la demanda de espacios públicos de recreación y de esparcimiento dentro de las áreas urbanas (Maruani y Amit-Cohen, 2007).

Los beneficios de las áreas verdes urbanas son numerosos y han sido ampliamente documentados (McPherson et al 1994; Sorensen, 1998; Gómez, 2005; Meerow y Newell, 2017). Estos se pueden dividir en beneficios ecológicos, ambientales, sociales y económicos. Se abordaran estos beneficios desde la influencia directa e indirecta que tienen en la mitigación del calor urbano.

Cabe aclarar que a pesar de que autores ampliamente reconocidos en la materia (Sorensen et al, 1998; Tuzin et al, 2002) y organizaciones como la Unión Europea (2011) definen el concepto de área verde urbana, no existe una definición universal que permita homogeneizar los criterios de análisis del concepto. Por tanto, en este trabajo, se entiende por “área verde urbana” todas aquellas zonas, vegetadas y arboladas, sean de carácter público o privado dentro de los márgenes de la ciudad. Mientras que “área verde pública”, se refiere a las áreas vegetadas y arboladas en el espacio público.

3.2 Beneficios ecológicos

Desde una perspectiva ecológica, las áreas verdes urbanas proporcionan beneficios en la conservación de la fauna y la biodiversidad, sin embargo, tradicionalmente las ciudades se han desarrollado sin considerar el ecosistema que las alberga, lo cual conduce al deterioro y fragmentación del mismo (Romero et al, 2001). Esto ocasiona la desaparición o desplazamiento de la flora y fauna que lo habita (Sorensen et al, 1998).

Un buen sistema de áreas verdes urbanas, puede conectarse con las áreas naturales periféricas y permitir el establecimiento de corredores biológicos, lo que ayudaría a disminuir la fragmentación del hábitat (Romero et al, 2001) y a la conservación de las especies y la biodiversidad (Sorensen et al, 1998).

Mientras más extensa, saludable y compacta sea la superficie cubierta por áreas verdes, los beneficios ecológicos y la protección de la biodiversidad, será más eficiente (Romero et al, 2001). Una mayor biodiversidad permite un mejor equilibrio en el ecosistema urbano (Tzoulas et al, 2007) y lo vuelve más resiliente ante los efectos del cambio climático y el calentamiento global (Schewenius, 2016).

3.3 Beneficios ambientales

Ambientalmente, los aportes benéficos de las áreas verdes a los sistemas urbanos se aprecian en la calidad del aire y el agua, así como en la protección del suelo. La calidad del aire es sin duda un factor fundamental en la sostenibilidad urbana (Pérez y López, 2015) y las áreas verdes tienen una influencia positiva sobre el

aire al reducir el consumo energético, regular la temperatura y capturar partículas contaminantes (Priego, 2011).

1. Regulación de la temperatura: sin duda, uno de los principales beneficios ambientales que tiene la vegetación, es su efecto regulador sobre la temperatura. La ausencia de vegetación es uno de los factores más importantes en el desarrollo de la ICU (Oke, 1982). La presencia de áreas verdes reduce las temperaturas mediante la evapotranspiración (Sangines, 2013). Además al proporcionar sombra a las superficies duras, se reduce el almacenamiento calórico y su posterior liberación al ambiente urbano (Gómez, 2005).
2. Reducción del consumo energético: El efecto de enfriamiento natural que poseen las áreas verdes, tienen un efecto directo en la reducción del consumo energético. McPherson et al (1994) identificaron que al aumentar en un 10% las áreas verdes de la ciudad de Chicago, la demanda energética para calefacción/refrigeración se redujo entre un 5 y 10%. Por su parte Heisler (1986) encontró que la vegetación ayuda a disminuir entre un 20 y 50% el uso de aire acondicionado, en meses de verano. En Florida, Parker (1981) obtuvo un resultado similar, al estimar hasta en un 50% el ahorro energético por uso del aire acondicionado, al implementar árboles y arbustos para enfriar una casa rodante. La reducción de la demanda energética, tiene un efecto directo en la mitigación del calor, puesto que se evita una importante cantidad de emisión de gases de efecto invernadero y

otros contaminantes (Akbari, 2002) además que se reduce la propia emisión de calor de los sistemas de refrigeración.

3. Captura de partículas: La vegetación, especialmente los árboles, ayudan a mejorar la calidad del aire puesto que atrapan partículas de polvo y gases tóxicos (Akbari, 2002; Priego, 2011). Una reducción en las partículas suspendidas en el aire tiene un efecto positivo en la reducción de los efectos de la ICU (Rizwan et al, 2008). Por otra parte, mediante la fotosíntesis, la vegetación absorbe el dióxido de carbono, que es uno de los principales causantes del efecto invernadero y el calentamiento global (IPPC, 2013). Akbari (2002) estima que un árbol en un medio urbano, puede capturar hasta 5 veces más CO₂ que un árbol en el medio natural.

La vegetación tiene beneficios directos en la calidad del agua, por tanto, el manejo de las áreas verdes urbanas, está íntimamente relacionado con el manejo del agua. Las superficies cubiertas con algún tipo de vegetación permiten una buena absorción del agua de lluvia, que posteriormente es devuelta al medio por la evapotranspiración o filtrada para la recarga de acuíferos (Priego, 2011)

Un mejor manejo del agua de lluvia, por medio de la vegetación urbana, ayuda a reducir los costos tanto económicos, como energéticos de las plantas de tratamiento de aguas pluviales (Copeland, 2014). Un buen manejo de áreas verdes, puede ser eficiente como pre tratamiento de aguas residuales, lo que beneficia también en un ahorro económico y energético (Sorensen et al, 1998). Así mismo, la presencia de vegetación y la reducción de las escorrentías, ayudan a

proteger el suelo de la erosión, que en ambientes urbanos puede afectar gravemente a los asentamientos en colinas y montañas.

3.4 Beneficios sociales

Las áreas verdes urbanas, como se ha mencionado, tienen múltiples beneficios ecológicos como ambientales que consecuentemente tienen un impacto positivo en la sociedad. Sin embargo, se puede afirmar que el principal beneficio social derivado de las áreas verdes urbanas, es el impacto positivo que tienen en la salud humana, tanto física como mental.

La salud física, se mejora directamente puesto que la vegetación regula el clima, lo que permite tener ambientes más confortables y reducir problemas de deshidratación y golpes de calor. Por otra parte, mejores áreas verdes permiten mejorar la calidad del aire y con ello reducir las enfermedades respiratorias.

Adicionalmente, la salud mental de los ciudadanos se ve ampliamente mejorada al estar en contacto con áreas verdes, pues estas ayudan a reducir el estrés y proporcionan belleza estética al ambiente urbano (Sorensen et al, 1998). La integración de árboles en las calles, promueve el uso de la bicicleta y las caminatas, con lo que se reduce la emisión de calor y de gases contaminantes, producidos por la utilización del automóvil (Medina et al, 2012).

3.5 Beneficios económicos

Cuantificar económicamente el valor de las áreas verdes urbanas y los servicios ambientales que prestan a la ciudad es prácticamente imposible (Sorensen et al, 1998). No obstante, McPherson (1991) en un estudio realizado en la ciudad de

Tucson, comparó los costos de mantenimiento de un área verde, frente a los beneficios económicos obtenidos gracias a los servicios ambientales de regulación del clima, captura de polvo y absorción pluvial, encontrando que a 25 años, los beneficios económicos superaban tres veces los costos de mantenimiento.

3.6 La Infraestructura Verde Urbana

Recientemente, en busca de maximizar los beneficios que proveen las áreas verdes urbanas, se ha desarrollado el concepto de Infraestructura Verde Urbana, el cual puede definirse como, la red de áreas verdes planificadas y no planificadas, tanto en el espacio público como el privado, que mantienen un sistema ecológico funcional a diferentes escalas y son manejadas integralmente para proveer beneficios (Sandstrom, 2002; Tzoulas et al, 2007; Lovell y Taylor, 2013).

El concepto de infraestructura verde incluye elementos como techos verdes, muros verdes, pavimentos que permiten la filtración y otras tecnologías que mejoran el manejo del agua y ayudan a reducir la temperatura (Norton et al, 2015).

El término fue usado por primera vez en 1994 en Florida, en un reporte sobre estrategias de conservación del suelo, donde se intentaba demostrar que los sistemas naturales son un componente fundamental de la infraestructura (Firehock, 2010). Tomando en consideración que la infraestructura puede ser definida como los bienes y servicios necesarios para que una sociedad y economía funcionen; estos bienes y servicios pueden ser divididos en “duros” (por ejemplo las redes de carreteras y transporte) y “suaves” (sistema institucional de

educación, salud, gobernanza, etc.), donde se puede incluir la infraestructura verde (Perini, 2014; Rouse, 2013).

Este nuevo enfoque ha permitido reivindicar la importancia de la vegetación dentro de la planeación urbana, pues se le reconoce como un elemento fundamental, entre las redes que conforman el sistema urbano y no como un elemento complementario, ornamental y recreativo (Meerow y Newell, 2017).

Bajo el escenario actual, en el que las temperaturas urbanas son cada vez más intensas, producto de los efectos del cambio climático, los Eventos de Calor Extremo y la ICU, la implementación de techos y muros verdes, se vuelve una estrategia primordial en la mitigación del calor y la recuperación del confort en ambientes construidos (Zolch et al, 2016).

Dada su geografía y morfología urbana, muchas ciudades tienen poca capacidad de aumentar su superficie cubierta por áreas verdes, en estas condiciones es fundamental la implementación de techos y muros verdes (Zolch et al, 2016) ya que han demostrado su eficiencia para reducir la temperatura superficial (Norton, 2015; Razzaghmanesh et al 2015).

En un estudio realizado en Múnich, Zolch et al (2016) encontraron que los muros verdes mejoran hasta en un 10% el confort climático a nivel de calle. En Australia, Razzaghmanesh et al (2015) encontraron efectos positivos de los techos verdes, en la reducción de las temperaturas durante el verano, así como una significativa reducción del consumo energético.

3.7 La Red Verde

Estrechamente relacionado con el enfoque de infraestructura verde urbana, muchas ciudades están desarrollando planes para lograr ciudades más sustentables bajo una estrategia denominada “Green network”. Esta estrategia básicamente busca integrar y conectar toda la infraestructura verde urbana, los parques urbanos y las áreas naturales contiguas a fin de maximizar sus beneficios para la vida urbana y el medio ambiente.

La ciudad de Glasgow define una “Green network” como:

“La vinculación de espacios abiertos naturales, semi naturales y artificiales para crear una red interconectada que provea oportunidades para la actividad física, incremente la accesibilidad dentro de la ciudad y con las áreas rurales, mientras protege la biodiversidad y la calidad del medio ambiente” (SNH, 2012).

Kruger et al (2013) han estudiado el clima de la ciudad de Glasgow y han identificado el fenómeno de la ICU con una intensidad predominante de 3°C. Por otro lado, se espera que para 2050 la temperatura de la región del valle de Glasgow aumenten precisamente 3°C como resultado del Cambio Climático (Kruger et al, 2013).

Ante este panorama, la ciudad ha comenzado a desarrollar medidas de mitigación y adaptación, entre las que destaca la estrategia Green Network o Red Verde, con la cual se busca mejorar la conectividad física y el manejo del agua, reducir la temperatura, eficientizar el consumo energético y la movilidad urbana, proteger la

biodiversidad, promover el acceso a áreas verdes y a la agricultura urbana (SNH, 2012).

La ciudad de Edmonton por su parte ha lanzado un plan para desarrollar una Red Verde que genere beneficios a nivel humano, social y ecológico. Los principales beneficios a nivel humano y social incluyen, mejorar los espacios de recreación, promover una movilidad activa y sustentable, proteger la salud física y mental de los ciudadanos así como favorecer la cohesión social. Ecológicamente, se busca proteger la biodiversidad, regular el clima, mejorar la calidad del agua, la producción de alimento y aumentar la resiliencia (Ciudad de Edmonton, 2016).

En Latino América, el concepto de Red Verde está lejos aún de desarrollarse, sin embargo, es posible mencionar a la ciudad de Curitiba, Brasil, como una ciudad, que desde la planificación urbana ha mantenido un equilibrio medio ambiental. Curitiba, desde los años 60's ha implementado políticas públicas de protección de las áreas verdes, las cuencas y de las zonas permeables (Hayakawa, 2010). La ciudad tiene una legislación que protege a las áreas verdes en 5 categorías: Bosques, áreas de protección ambiental, áreas de preservación permanente, áreas de drenaje y áreas de inundación (Hayakawa, 2010).

Curitiba cuenta con una amplia red de parques urbanos, que alcanzan 18, 400,000 m² de áreas verdes, lo que equivale a más de 50 m² de área verde por habitante (Hayakawa, 2010; EIU, 2010), cifra muy por encima de la media en ciudades Latino Americanas (EIU, 2010).

Este indicador, entre otros como: calidad del aire, manejo de desechos, gobernanza y manejo del agua, han posicionado a Curitiba como la ciudad más verde de América Latina, según el Índice de Ciudades Verdes de América Latina, publicado en 2010 por la Economist Intelligence Unit (EIU, 2010).

Como se ha mencionado, las áreas verdes proveen múltiples beneficios y cuando estas son manejadas de manera integral, sus beneficios aumentan. El enfoque de “RED VERDE” es una visión que integra los enfoques ambiental y urbano (Maruani y Amit-Cohen, 2007) en la planificación de las áreas verdes. Contempla la ciudad de manera integrada al territorio y los ecosistemas, mediante una estrategia que permite dirigir el crecimiento y desarrollo urbano hacia la sustentabilidad (Li et al, 2015), al manejar integralmente desde estrategias a micro escala, como los techos y muros verdes, hasta los bosques, humedales, sabanas y zonas productivas aledañas a la ciudad, permitiendo la funcionalidad ecosistémica y una mayor resiliencia al cambio climático (Meerow y Newll, 2017).

3.8 Ciudades y Comunidades Sostenibles, objetivo 11 de los ODS y el

Hábitat III.

El 2016 marco el inicio de una nueva agenda de desarrollo global, al entrar en vigor los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de cara al 2030, que sustituyeron a los 8 Objetivos Del Milenio (ODM). Esta nueva agenda, hace un especial énfasis en la reducción de la pobreza y la desigualdad, al mismo tiempo que se protege el medio ambiente y se enfrentan los efectos del cambio climático (ONU-Hábitat, 2017).

Reconociendo que la población urbana seguirá creciendo y que dos de los principales retos a los que se enfrenta la humanidad, como son la reducción de la pobreza y la lucha contra el cambio climático, se agravan en los ambientes urbanos, fue establecido el objetivo 11 “Ciudades y Comunidades Sostenibles”, que tiene como fin que los asentamientos humanos sean más inclusivos, resilientes y sostenibles (ONU-Hábitat, 2017.)

Para conseguir este objetivo, se ha reconocido la importancia de las áreas verdes, así como la densificación de la ciudad, el mejoramiento de los sistemas de transporte y la mixtura de usos de suelo. Las metas 11.2, 11.3, 11.4, 11.6 y 11.7 apuntan directamente a mejorar estos aspectos (ONU-Hábitat, 2017.).

Por otra parte, en Octubre del 2016, se celebró en Quito, Ecuador; la conferencia Hábitat III, de la cual se desprendió la Nueva Agenda Urbana, que dicta los lineamientos y estrategias para lograr un desarrollo urbano sustentable. La Agenda cuenta con 6 ejes principales, que en conjunto buscan eliminar los principales problemas de las ciudades y contribuir a alcanzar el objetivo 11 de los ODS (Hábitat III, 2016).

El eje 5 de La Agenda “Ecología Urbana y Medio Ambiente” pone un énfasis especial en la reducción de la dispersión urbana, el uso sostenible del suelo, la protección de los ecosistemas y la biodiversidad, la mejora de los medios de transporte, la resiliencia urbana y la adaptación y mitigación al cambio climático (Hábitat III, 2016).

Sin embargo, pese a que la importancia de las áreas verdes es bien reconocida en la nueva Agenda Urbana, no se establecen indicadores mínimos o recomendaciones sobre la superficie de áreas verdes que debiera tener una ciudad para ser mas resiliente, estar mejor adaptada al cambio climático o garantizar la protección de la biodiversidad.

Muchos estudios referentes a las áreas verdes urbanas (Sorensen et al, 1998; Alanís, 2005; López, 2008; Pérez, 2010; Pérez y López, 2015), toman como parámetro la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre un mínimo de 9 m² de área verde por habitante y un óptimo de 15 m², para establecer si una ciudad cuenta o no con suficientes áreas verdes. Sin embargo, este indicador se refiere únicamente a las áreas verdes en el espacio público y de acuerdo con Del Pozo (2015), corresponde a un enfoque ornamental e higienista dentro de la planificación urbana.

Del Pozo (2015) señala que bajo este parámetro, la OMS busca garantizar que cada individuo disponga de al menos 9 m² de área verde, pero de ninguna manera este indicador parece ser suficiente para garantizar los beneficios ambientales y ecológicos de la vegetación. Este indicador queda lejos de ser un referente de sustentabilidad urbana.

Por otra parte muchos gobiernos locales se centran en alcanzar esta meta, sin considerar otros indicadores más incluyentes, como el de la accesibilidad, también señalado por la OMS, que establece que cada individuo pueda llegar a un área verde en 15 minutos de caminata (Sorensen et al, 1998), u otros con un enfoque

mucho más sustentable, como el número de árboles por habitante o la biodiversidad urbana (Del Pozo, 2015).

4 Las áreas verdes en la ciudad de Mérida y Filadelfia.

En este tercer capítulo, se intenta caracterizar la estructura y funcionalidad de ambas ciudades. A fin de comprender como se organizan las áreas verdes en ambos casos, cuál es su estado actual y el rol que juegan en la planificación urbana y las estrategias de mitigación de las altas temperaturas.

4.1 Mérida, Yucatán.

4.1.1 Caracterización física y ambiental

La ciudad de Mérida, capital del municipio del mismo nombre y del estado de Yucatán, se ubica al norte de la Península de Yucatán, entre los paralelos 20°45´ y 21°15´ latitud norte y los meridianos 89°30´ y 89°45´ de longitud oeste. El Clima de la región es Cálido Subhúmedo, con lluvias en verano. Las temperaturas más altas, se presentan en el mes de Mayo con temperaturas promedio máximas de entre 33 y 35° Centígrados (Canto y Pérez, 2003).

La humedad relativa promedio de la ciudad es de 76% (Batllori, 2001 en López, 2008), por consiguiente se estima que la sensación térmica en los meses de verano, puede llegar a ser más de 10°C por encima de la temperatura ambiente (Fernández, 1994). Situación que estimula el uso de sistemas de refrigeración y un alto consumo energético (López, 2008).

Por otra parte, el ecosistema en el cual se encuentra inserta la zona urbana, corresponde al de selva baja caducifolia o selva seca, que presenta una temperatura promedio de 24°C y una precipitación promedio anual de 800 mm, con temporada de seca de 7 a 8 meses (Challenger y Soberón, 2008).

En general la vegetación de la selva baja caducifolia, pierde sus hojas durante toda la época seca, no rebasa alturas mayores a 15 m, el dosel se presenta poco denso y con cambios drásticos anuales de acuerdo a la luz y la disponibilidad de agua (Rzedowski, 2006).

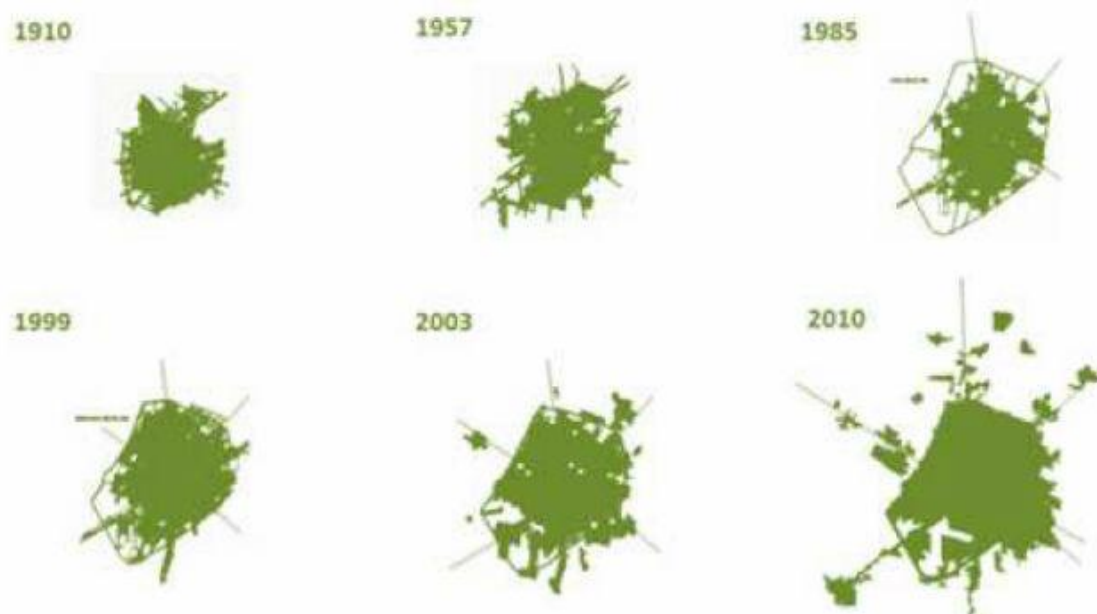
4.1.2 Geografía urbana

En conjunto con las localidades de Umán y Kanasin, la ciudad de Mérida, conforma un área Metropolitana continua, y una conurbación discontinua con las localidades de Ucu, Conkal y Progreso (Guzmán y García, 2014). La ciudad ha experimentado un acelerado proceso de expansión desde la década de los 70, producido principalmente por la migración de población rural dentro del estado y la migración proveniente de otros estados (García y Álvarez 2003), ya que Mérida funge como un centro de servicios comerciales, educativos, de salud y financieros para toda la península.

De acuerdo con Bolio (2000) de 1950 al 2000 la ciudad creció más en extensión, que en población. Pasando de una población de 142,900 habitantes y una densidad poblacional de 46 habitantes por hectárea en 1950 a 662,530 habitantes y una densidad de 38 habitantes por hectárea al 2000. Para el 2010, según datos del INEGI (2010) y el Programa de Desarrollo Urbano (PDU, 2010), la población

total se registró en 777,615 habitantes y una densidad de 37 habitantes por hectárea. En la figura 4.1 se puede apreciar el proceso de expansión territorial de la ciudad.

Figura 4.1 Expansión urbana de la ciudad de Mérida y Metropolización.



Fuente: Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA)

De esta manera, el crecimiento territorial de la ciudad ha superado el crecimiento poblacional, haciendo que la densidad habitacional y poblacional sea cada vez más reducida y se presenten muchos de los aspectos negativos de una urbanización de bajas densidades (Neuman, 2005; Medina et al, 2012). La Comisión Económica para América Latina (CEPAL) recomienda que las ciudades tengan una densidad habitacional de 200 viviendas por hectárea (CEPAL, 2002). En la ciudad de Mérida, al 2010 el promedio de habitantes por vivienda se registró en 4.2 (INEGI, 2010), por lo que se puede estimar una densidad habitacional de apenas 10 viviendas por hectárea. Muy por debajo aun de recomendaciones

europas como la del “Libro Verde del Medio Ambiente Urbano” hecha por el ministerio del medio ambiente de España en 2007, que establece 75 viviendas por hectárea.

Al respecto, Pérez (2012) señala que esta expansión urbana produjo una pérdida del 30% de las áreas de vegetación natural contiguas a la ciudad tan solo en el periodo de 1985 al 2005. De acuerdo con Bolio (2000) gran parte de este fenómeno se produjo debido a la caída de la industria del henequén, lo que dejó gran cantidad de suelo agrícola improductivo que fue incorporado al crecimiento urbano. Al mismo tiempo la industria de la construcción y el mercado de la vivienda se consolidaron como la fuente de empleo más importante del estado y la segunda rama de inversión estatal (Bolio, 2000).

En relación a este proceso de dispersión de la ciudad, Cerón-Palma (2008) menciona:

“La rápida expansión del sector de la vivienda ha incrementado el remplazo de tierras de cultivo por extensas superficies pavimentadas e infraestructura necesaria para la construcción de nuevos fraccionamientos” (Cerón-Palma, 2008)

Estos nuevos fraccionamientos, se han desarrollado bajo un modelo de vivienda unifamiliar horizontal, de baja densidad poblacional y sin espacios libres de construcción, carentes de servicios, equipamientos, parques y áreas verdes (Pérez y López, 2015). Tal situación ha generado que pese a la expansión territorial de la ciudad, la dependencia a los servicios localizados en el centro de la

ciudad sea muy marcada, lo que genera mayor dependencia del automóvil, mayor consumo energético y contaminación atmosférica, entre otros aspectos negativos (SIEP, 2017).

El crecimiento de la ciudad ha sido de manera acelerada y poco planificada (Guzmán y García, 2014) y esto se ha reflejado en los pocos estudios sobre las dinámicas de las áreas verdes al interior de la ciudad sus impactos en la climatología urbana y los efectos de la ICU.

4.1.3 Las áreas verdes urbanas

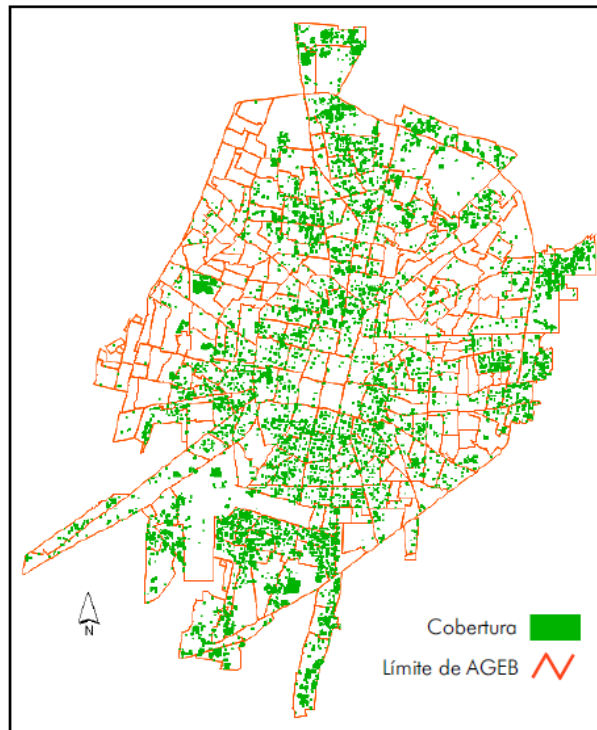
Los estudios sobre áreas verdes que se han realizado en la ciudad de Mérida son escasos. De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, se encontró el trabajo realizado por López (2008) titulado “Arbolado urbano en Mérida, Yucatán y su relación con aspectos socioeconómicos, culturales y de la estructura urbana de la ciudad” y el de Pérez (2012) “Continuidad de los espacios verdes metropolitanos. Análisis de los cambios en la cobertura y funcionalidad de áreas verdes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Mérida”.

En su estudio, López (2008) realiza una identificación de las áreas verdes arboladas al interior de la ciudad, de acuerdo a los límites determinados según el INEGI (2000). Para la identificación de las áreas verdes arboladas, la autora tomó como base una imagen LANDSAT 7, correspondiente al mes de abril del 2000.

Utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en ingles) y una clasificación supervisada con el método de máxima verisimilitud, López (2008) identificó, 1,236 hectáreas de arbolado urbano, que corresponden al

7.3% de la superficie urbana, y equivalen a 18.6 m² de área verde arbolada por habitante. Es preciso señalar, que las áreas verdes vegetadas o con pastos, fueron discriminadas en este trabajo. Tomando como punto de partida estos resultados, López y Pérez (2015) realizaron un estudio para cuantificar las áreas verdes públicas de la ciudad. Sus resultados arrojan un promedio de 5 m² de área verde por habitante.

Figura 4.2 Áreas verdes arboladas detectadas por López (2008)

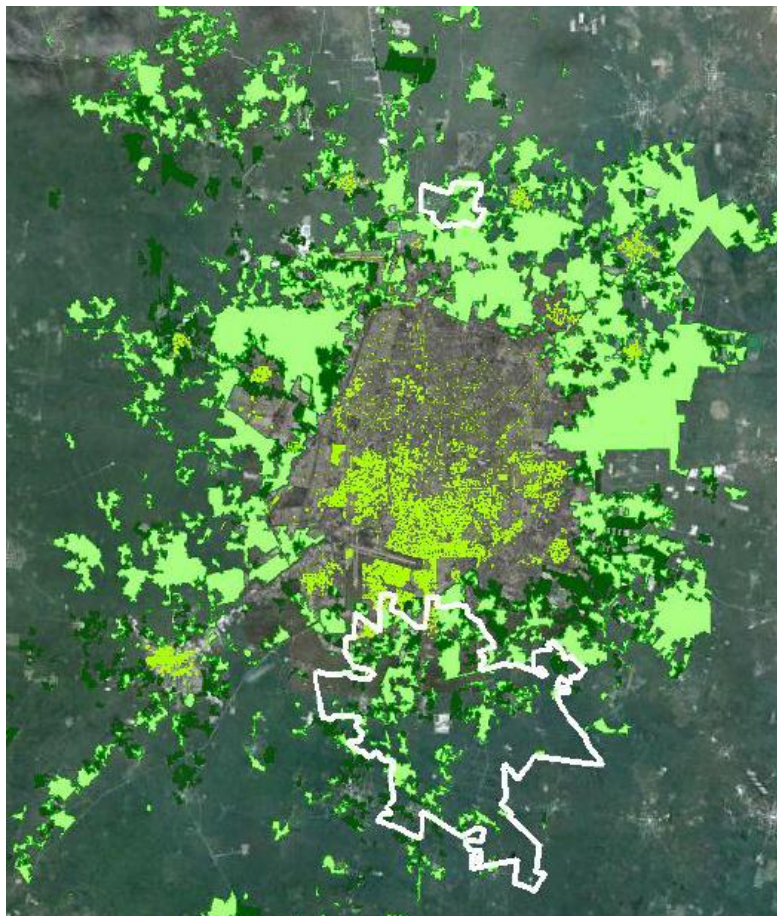


Fuente: López (2008)

Por su parte, Pérez (2012) realiza una clasificación supervisada a través de Google Earth 2011, para identificar las áreas verdes en los centros de manzana. Pérez (2012) encontró 770 hectáreas de área verde en los centros de manzana, es decir áreas mayormente privadas que se encuentran al interior de áreas

habitacionales. Considerando que el Ayuntamiento de Mérida (2010) establece que la ciudad cuenta con 512 hectáreas de áreas verdes públicas. Pérez (2012) estimó las áreas verdes de la ciudad en 1,282 hectáreas, correspondientes al 6.12% de la superficie urbana y equivalentes a 16.4 m² de área verde por habitante.

Figura 4.3 Áreas verdes arboladas detectadas por Pérez (2012)



Fuente: Pérez (2008)

Por otra parte, en el 2016 el ayuntamiento de Mérida dio a conocer el Plan Municipal de Infraestructura Verde Urbana (PMIVU), el cual busca mejorar la conectividad de las áreas verdes al interior de la ciudad con las áreas aledañas, especialmente con la Reserva Cuxtal y el Parque Nacional Dzibilchaltun. En dicho plan, se calcularon de manera manual las áreas verdes arboladas utilizando una fotografía aérea del 2014. Los resultados arrojan que la ciudad cuenta con 6.2 m² de área verde arbolada de acceso público por persona y si se consideran áreas tanto públicas como privadas, se menciona que 34% de la superficie urbana está cubierta por arbolado urbano.

En el PMIVU nunca se menciona la cantidad de áreas verdes tanto públicas como privadas en m² por habitante, pero considerando una superficie urbana de 20,920 ha, el 34% de superficie mencionada, corresponde a 7,112 ha. Si se considera la población total del Área Metropolitana de la Ciudad de Mérida de 830,732 (INEGI, 2010) se tienen 85 m² de área verde por habitante, si se considera solo la población de la ciudad de Mérida, la cifra asciende a 90 m² por habitante. En ambos casos, las cifras se antojan muy poco realistas.

La poca confiabilidad en los datos oficiales, ya ha sido expuesta por Pérez y López (2015) quienes señalan la poca credibilidad de la ganancia de áreas verdes expuesta por el Ayuntamiento de Mérida (PDU, 2003) entre el 2003 y el 2010 (PDU, 2010). Según el Ayuntamiento, al 2003 existían 2,935,937 m² de área verde pública y para el 2010, la cifra casi se duplicó, para un total de 5,120,925 m². Una

ganancia de casi el doble de superficie de área verde pública en tan solo 7 años, parece muy lejana de la situación real.

Figura 4.4 Identificación de áreas verdes arboladas por el PMIVU



Fuente: Plan Municipal de Infraestructura Verde Urbana (2016)

Actualmente, la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) en conjunto con la Coordinación Metropolitana de Yucatán (COMET), trabajan en el proyecto “Sistema de Espacios Públicos de la Zona Metropolitana de Mérida” y de acuerdo con el reporte de avances del proyecto (SIEP, 2017) la ciudad de Mérida tiene un promedio de 4.4 m² de área verde pública por habitante y 1.5 m² de área arbolada por habitante¹. En dicho estudio se menciona que se utilizaron imágenes aéreas del 2009 y 2015, pero no se especifican los métodos para obtener dichos resultados.

¹ En el estudio no se menciona el promedio de área verde y área arbolada por habitante a nivel ciudad, pero de acuerdo al promedio estimado por cada zona de la ciudad, se pudieron inferir estas cifras.

Figura 4.5 Distribución de las áreas verdes y áreas verdes arboladas en Mérida

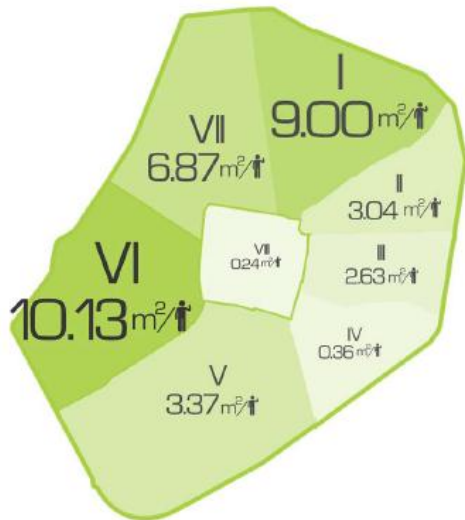


Imagen 5-2. Superficie de áreas verdes por habitante en los distritos de la ciudad de Mérida. Dibujo: I. Velázquez. Fuente: FA UADY. 2016

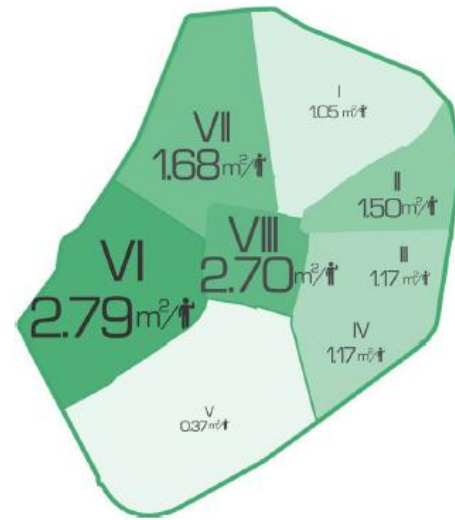


Imagen 5-3. Superficie de áreas arboladas por habitante en los distritos de la ciudad de Mérida. Dibujo: I. Velázquez. Fuente: FA UADY. 2016

Fuente: SIEP (2016)

Cuadro 4.1 Indicadores de áreas verdes

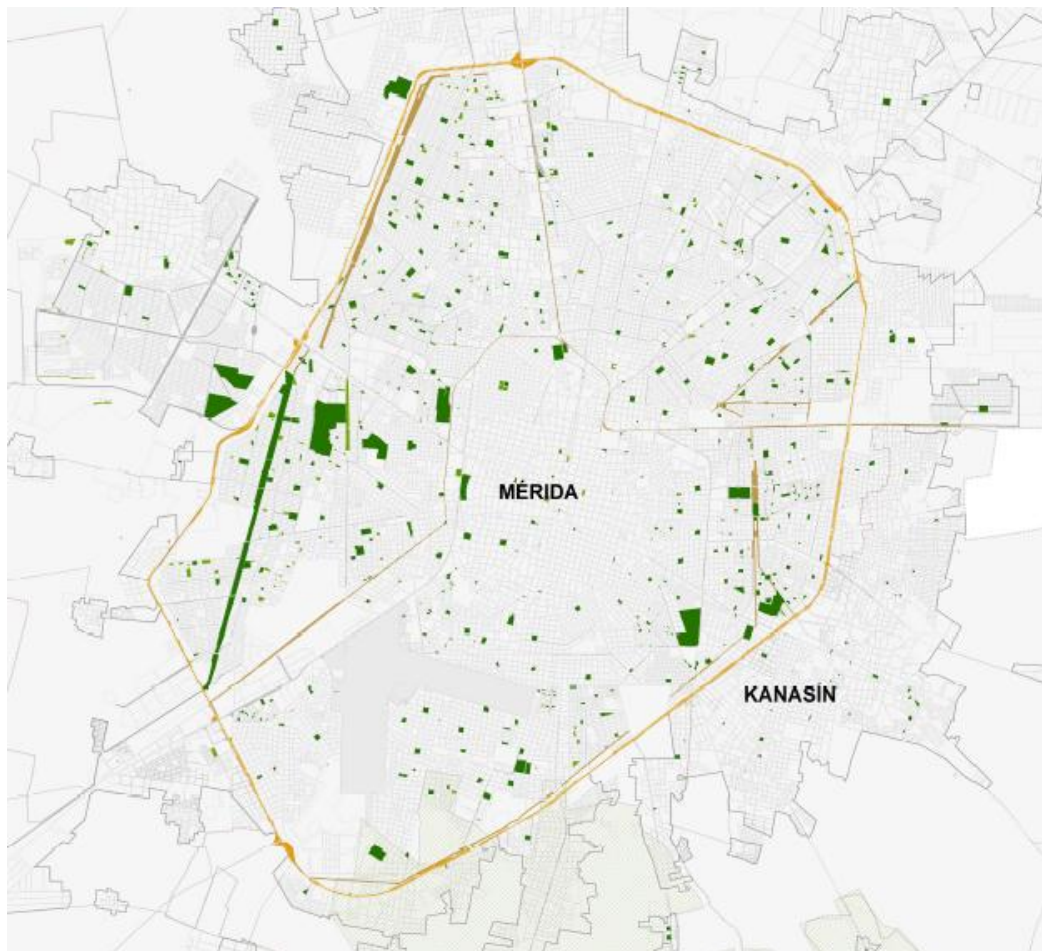
AÑO	FUENTE	VARIABLE	% SUPERFICIE	M ² /HAB	METODO
2000	(López, 2008)	Área arbolada	7.3	18.6	NDVI/Clasificación supervisada
2000	(López y Pérez, 2015) ²	Áreas verdes públicas	-	5	Google Earth/recorridos de campo
2003	(PDU,2003)	Áreas verdes públicas	1.7	4	No especificado
2010	(PDU,2010)	Áreas verdes públicas	2.4	6.4	No especificado
2011	(Pérez, 2012)	Área arbolada + áreas verdes	6.12	16.4	Fotointerpretación

² El estudio toma como punto de partida los resultados de López (2008), analiza imágenes de Google earth 2002 y considera los datos demográficos del 2010.

públicas					
2014	PIVU	Áreas arboladas públicas	-	6.9	Fotointerpretación
2014	PIVU	Áreas arboladas	34	85 ³	Fotointerpretación
2015	SIEP	Áreas verdes públicas	-	4.4	No especificado
2015	SIEP	Áreas arboladas publicas	-	1.5	No especificado

Fuente: Elaboración propia con base en los estudios citados

Figura 4.6 Distribución de las áreas verdes públicas en Mérida



Fuente: SIEP (2016)

³ No mencionado. Calculado a partir de la superficie de 34% señalada con datos demográficos del 2010.

Como fue mencionado, los estudios sobre las áreas verdes de la ciudad de Mérida son limitados. No existe un estudio que permita analizar y contrastar las áreas verdes a través del tiempo bajo una misma metodología. Por otra parte, es común encontrar alusión al fenómeno de “Isla de Calor Urbana” en los planes y normativas oficiales relativos a la vegetación y las áreas verdes de la ciudad, pero exceptuando los trabajos de Canto y Pérez (2003) y Canto (2008) tampoco existen estudios que permitan entender y caracterizar el fenómeno y el papel de la vegetación urbana en la mitigación del calor.

Más aun, en estos planes (PMIVU, 2016; SIEP, 2017; LCDAUY, 2016) se habla de “Islas de Calor” haciendo referencia a puntos específicos de mayor temperatura dentro de la ciudad. Si bien, conocer que puntos de la ciudad tienen una temperatura anómala, es primordial para desempeñar medidas de mitigación, esto evidencia que no existe un entendimiento del fenómeno en toda su complejidad. Puesto que como se mencionó previamente, el fenómeno ICU hace referencia a la diferencia de temperatura promedio urbana con respecto a la temperatura promedio rural (Oke, 1982).

Canto y Pérez (2003) no encontraron una diferencia térmica entre la ciudad y el entorno rural y natural, sin embargo encontraron que en el centro de la ciudad, las temperaturas más altas se mantienen por mayor tiempo. Por otro lado, Canto (2008) identificó una diferencia promedio de 4.7°C entre la ciudad y su entorno. Destacando que en los meses de lluvia, la isla de calor es más intensa que en los meses de seca, alcanzando una intensidad de hasta 5.9°C (Canto, 2008). Esta mayor intensidad se debe a la diferencia entre superficies permeables e

impermeables, puesto que las zonas con mayor vegetación y superficies permeables permiten la filtración del agua y su posterior evaporación, lo que ayuda a regular la temperatura (McPherson et al, 1994).

4.2 Filadelfia, Pensilvania

4.2.1 Caracterización física y ambiental

La ciudad de Filadelfia, capital del estado de Pensilvania, se localiza al noreste de los Estados Unidos. Es considerada como la quinta ciudad más grande del país y alberga una población de 1.5 millones de personas. El clima predominante en la región es el cálido húmedo. La ciudad se encuentra en la convergencia de la zona húmeda subtropical y la húmeda continental, lo que ocasiona que en verano se experimenten altos niveles de humedad relativa (Chesnut et al, 1998). Los meses de Junio, Julio y Agosto son los más calurosos, con temperaturas que rebasan los 30°C. (Weather Underground, 2016), y una humedad relativa promedio de 71% (NOAA, 2017).

El ecosistema predominante en la región es el bosque templado o bosque templado caducifolio, que presenta una temperatura promedio entre 27 y 32 grados centígrados durante el verano y entre -12 y 4 grados durante el invierno, con mayor precipitación durante primavera y verano (Gilliam et al, 2011).

4.2.2 Geografía urbana

La ciudad de Filadelfia se encuentra limitada al este por el río Delaware, que sirve de división natural entre los estados de Pensilvania y Nueva Jersey, así como de las ciudades de Filadelfia y Camden, las cuales en conjunto con la ciudad de

Wilmington, conforman un área metropolitana conocida como Área Metropolitana del Valle del Delaware. Filadelfia, contrariamente a la ciudad de Mérida, se encuentra bien delimitada en términos administrativos, por lo que, en términos prácticos, no crece territorialmente.

En cuanto a la población, la ciudad mantuvo un crecimiento sostenido hasta 1950, cuando alcanzó a albergar más 2 millones de habitantes. A partir de entonces, la ciudad experimentó tasas de decrecimiento hasta el 2000 (Pearsall y Critstman, 2012). Esta pérdida de población se dio en gran medida, como consecuencia de la reestructuración industrial que experimentó todo el país después de la Segunda Guerra Mundial, así como por el rápido crecimiento de los suburbios, que respondían a las demandas y estándares de calidad de vida de la clase media y que fueron promovidos por políticas federales (Beauregard, 2009).

Actualmente la población total de la ciudad es de 1,567,442 habitantes (Census Bureau, 2015) y tiene una densidad poblacional de 42 habitantes por hectárea. Sin embargo, esta densidad no es homogénea, sino más bien muy diferenciada según los distintos sectores de la ciudad. El centro urbano, por ejemplo tiene una densidad de 102 habitantes por hectárea, mientras que algunas zonas apenas alcanzan densidades de 10 habitantes por hectárea⁴.

Esta desigualdad en la distribución poblacional, se refleja también en una marcada diferencia en la cantidad de áreas verdes y de superficies impermeables a través de la ciudad. Pearsall y Cristman (2012) señalan que el centro urbano mantiene el

⁴ Estas densidades fueron calculadas de acuerdo a los datos de población por zip code, obtenidos del Census Bureau (2016) y al archivo SHP tomado de la página OpendataPhilly . <https://www.opendataphilly.org/>

menor porcentaje de vegetación, mientras que las zonas con menores densidades, albergan una mayor superficie arbórea.

En Filadelfia, han sido bien documentados Eventos de Calor Extremo (ECE) que han afectado severamente a la población (US EPA, 2006; Kalkstein et al, 1996), ocasionando altas tasas de mortalidad (Johnson y Wilson, 2009). Las altas temperaturas superficiales se han asociado con la falta de vegetación (Stone et al, 2014; Weber et al, 2015).

Esta situación adversa ha sido reconocida por la Ciudad de Filadelfia, y desde el 2008 se ha desarrollado una ambiciosa estrategia para aumentar las áreas verdes y alcanzar 30% de cobertura arbórea en todos los barrios de la ciudad (Freeh y Wu, 2015).

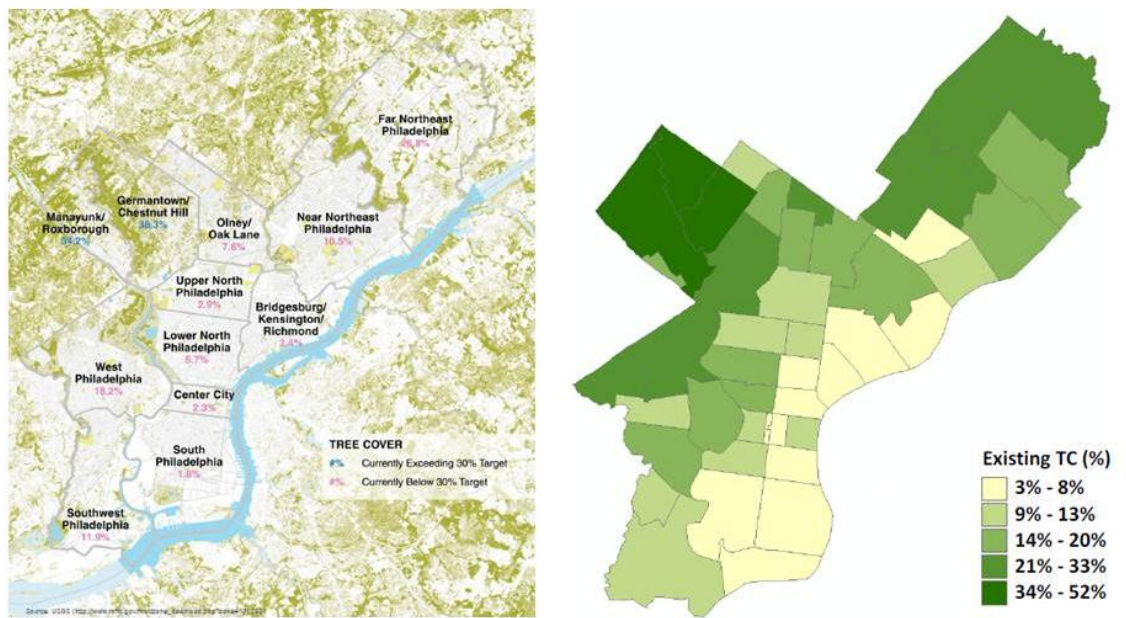
4.2.3 Las áreas verdes urbanas

Desde el 2008 se ha puesto en marcha el “GREENPLAN” o Plan Verde, el cual, tiene entre sus objetivos principales, alcanzar el 30% de superficie arbolada en cada barrio, e incrementar 6,000 hectáreas de áreas verdes públicas en toda la ciudad (Freeh y Wu, 2015) lo que equivaldría al 16% de la superficie urbana.

De acuerdo a un estudio basado en el análisis de imágenes aéreas de alta resolución, realizado por O'Neill (2011) se encontró que para el 2008, la ciudad tenía 6,832 hectáreas de área arbolada, equivalentes al 20% de toda la superficie urbana y a 44 m² de área verde por habitante. O'Neill (2011) además encontró un 24% de la ciudad con áreas de césped y arbustos, que podrían ser potencialmente arborizadas.

Sin embargo, como se puede apreciar de la figura 4.7, la distribución de las áreas verdes en la ciudad es muy diferenciada y mientras algunas zonas tienen más del 30% de la superficie cubierta por el arbolado, algunas otras, especialmente en el centro y sur de la ciudad, apenas alcanzan porcentajes de entre 3 y 8%.

Figura 4.7 Porcentaje de cobertura arbórea en la ciudad de Filadelfia



Fuente: Roberts (2010) y O'Neill (2011)

Para el 2012, Nowak et al (2016) realizaron una foto interpretación de una imagen área, encontrando 21% de la superficie total de la ciudad, cubierta por árboles y arbustos, y un 18% de áreas vegetadas. Nowak et al (2016) señalan que 9% de la superficie de la ciudad, está cubierta por áreas arboladas en espacios públicos, lo que equivale a 21 m² por habitante. Entre estas áreas verdes públicas, se encuentra el Fairmount Park, considerado como el segundo parque urbano más grande del mundo y el cual por sí mismo tiene una extensión de 829 hectáreas.

Además el Wissahickon Valley Park, el Cobs Creek Park y el Penypack Park también tienen extensiones por encima de las 350 hectáreas.

Cuadro 4.2 Indicadores de área verde en Filadelfia

AÑO	FUENTE	VARIABLE	% SUPERFICIE	M² /HAB	MÉTODO
2008	(O'Neill, 2011)	Área arbolada	20	44	Fotointerpretación
2012	(Nowak et al, 2016)	Áreas arboladas	21	44	Fotointerpretación
2012	(Nowak et al, 2016)	Áreas arboladas públicas	9	21	Fotointerpretación

Fuente: Elaboración propia en base a los autores mencionados

5 Análisis de la vegetación y la Temperatura Superficial mediante la percepción remota

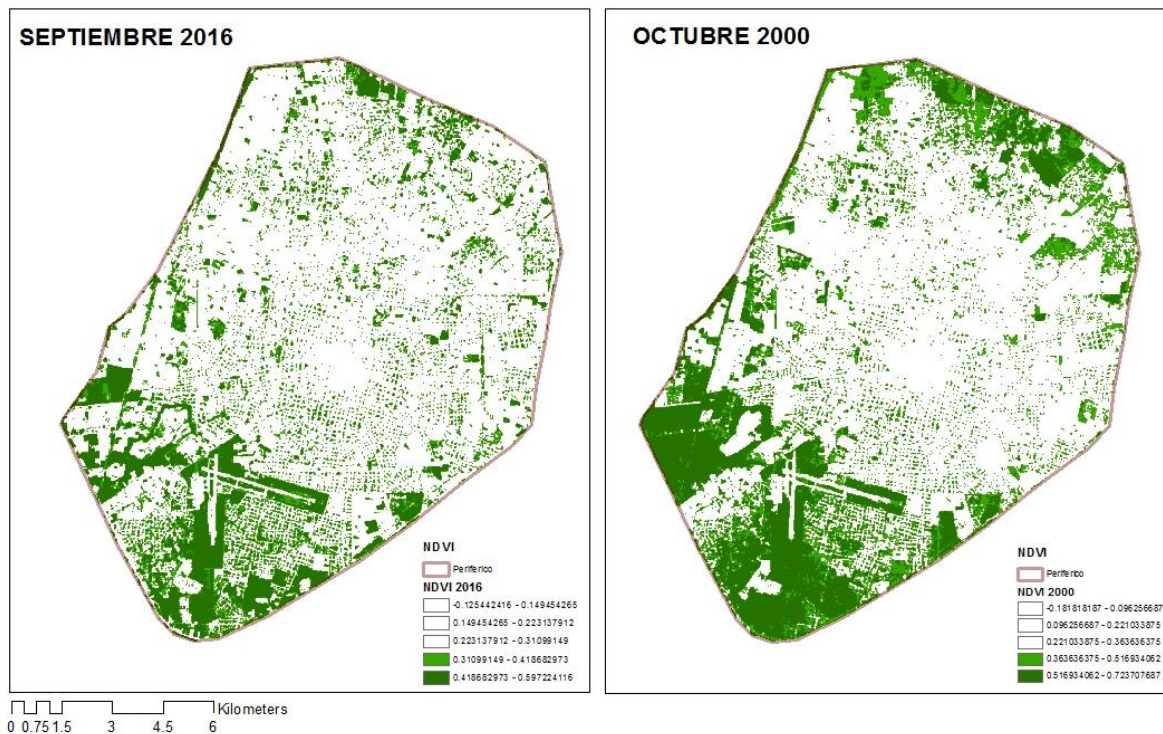
En este capítulo se utilizan imágenes LANDSAT 5, 7 y 8 para analizar la vegetación mediante el Normalize Difference Vegetation Index (NDVI). Este Índice permite obtener los indicadores deseados para comparar el estado actual de las áreas verdes en ambas ciudades. Por otra parte, se correlaciona la vegetación y la temperatura superficial en ambos casos y finalmente se contrasta la situación de ambas urbes.

5.1 Mérida

Mediante una imagen satelital LANDSAT 5 de Octubre del 2000 y una imagen LANDSAT 8 de Septiembre del 2016, se calculó el NDVI. Los resultados se aprecian en la figura 5.1. Cabe señalar que ambas imágenes corresponden a la

época de lluvia, lo que permite tener mejores resultados puesto que las posibilidades de que la vegetación experimente estrés hídrico, son reducidas durante estos meses. .

Figura 5.1 Cálculo de la vegetación mediante el NDVI. Mérida



Fuente: Elaboración propia basado en LANDSAT 5 y 8, Septiembre 2016 y Octubre 2000

A partir del NDVI realizado para ambas fechas se calculó la superficie urbana cubierta con vegetación más sana, es decir, la más cercana a uno de acuerdo al índice. Los resultados se muestran en el cuadro 2. Cabe aclarar que dado que la ciudad no cuenta con límites bien definidos, se tomó el periférico como límite del área de estudio.

Cuadro 5.1 Cobertura de vegetación 2000 y 2016

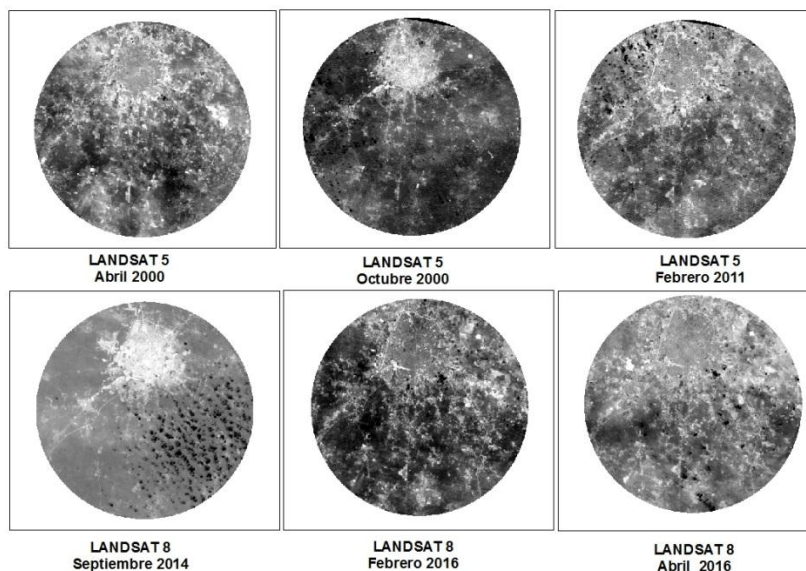
Mes y Año	Superficie	Población	Área verde	% de área verde	m ² área verde/habitante
octubre 2000	17,280	662,530	3121 ha	18	47
Septiembre 2016	17,280	777,615	2372 ha	13.7	30.5

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados, la ciudad de Mérida ha perdido 749 ha de vegetación sana. En gran medida, esto ha sido producto del incremento de superficies impermeables, sin embargo hay que considerar que el paso del huracán Isidoro en el 2002, derribó una gran cantidad de árboles, especialmente los enfermos y las especies poco adaptadas a las condiciones locales (Pérez y López, 2015).

Para calcular la temperatura superficial, se analizaron tres imágenes LANDSAT 5 y tres LANDSAT 8. Las cuales se presentan a continuación.

Figura 5.2 Imágenes LANDSAT analizadas. Mérida



Fuente: US Glovis

A partir de los análisis de estas imágenes se pudo estimar la temperatura promedio urbana y rural, así como el Índice de Isla de Calor Urbana, el cual, de acuerdo con Trujillo (2012), consiste en la diferencia existente entre el promedio rural y el promedio urbano.

Cuadro 5.2 Temperatura superficial e Índice de Isla de Calor Urbana. Mérida

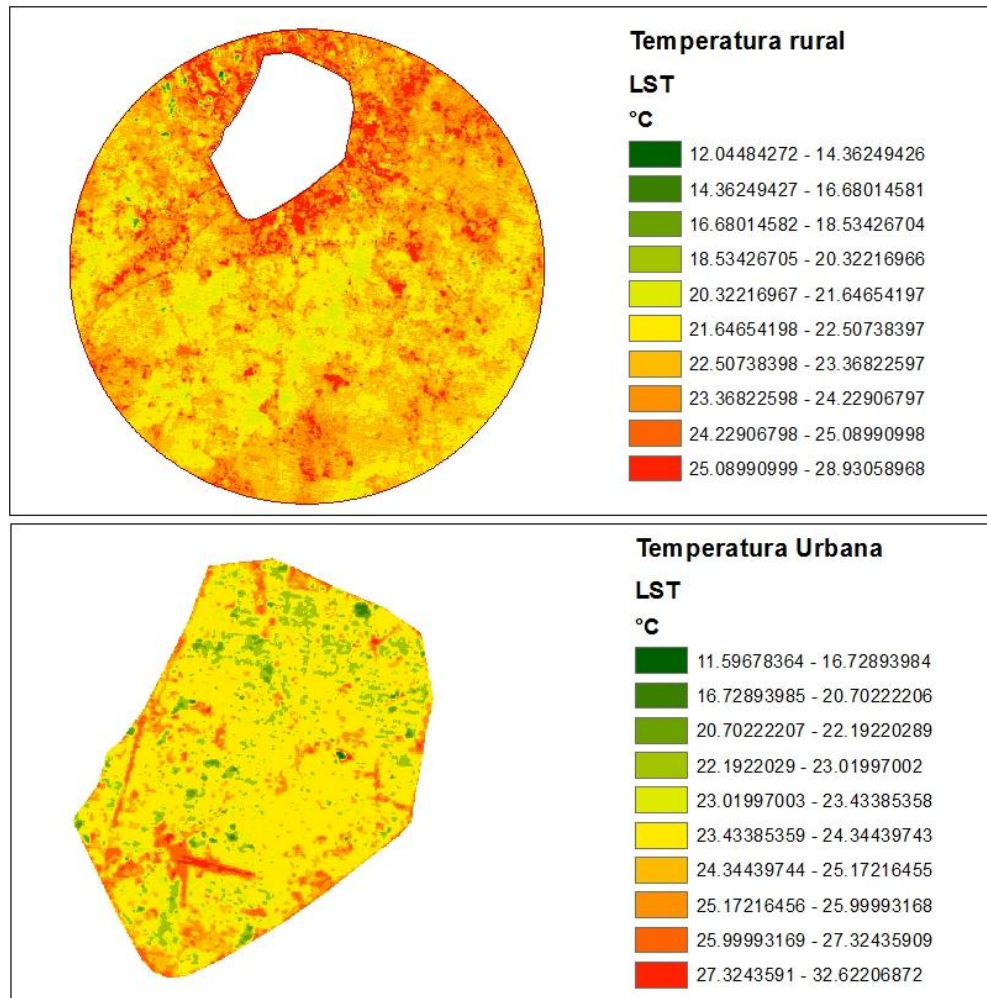
Mes y Año	Satélite	Promedio rural en °C	Promedio urbano en °C	Índice de ICU en °C
Abril 2000	LANDSAT 5	33.7	36.4	+2.7
Octubre 2000	LANDSAT 5	23.7	26.1	+2.4
Febrero 2011	LANDSAT 5	22.8	24	+1.2
Septiembre 14	LANDSAT 8	23.8	27	+3.2
Febrero 16	LANDSAT 8	25	25.3	+0.3
Abril 2016	LANDSAT 8	30.3	30.5	+0.2

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del promedio urbano y rural, se obtuvo mediante el software ArcGIS 10.3 a partir de la imagen raster de Temperatura Superficial obtenida de la banda TIR de las imágenes LANDSAT. Para el promedio urbano, se promediaron todos los valores de los píxeles contenidos dentro del perímetro del área urbana. Mientras que para el caso del promedio rural, se dibujó una circunferencia de 25 km de radio, para el caso de la ciudad de Mérida y de 50 km para Filadelfia. Estas circunferencias fueron utilizadas para hacer un clip sobre las imágenes raster. Posteriormente a estos clips, se les extrajo el área urbana, para que al promediar

los valores de los pixeles, estos correspondan únicamente a la periferia semi urbana, rural y natural.

Figura 5.3 Obtención del promedio urbano y rural

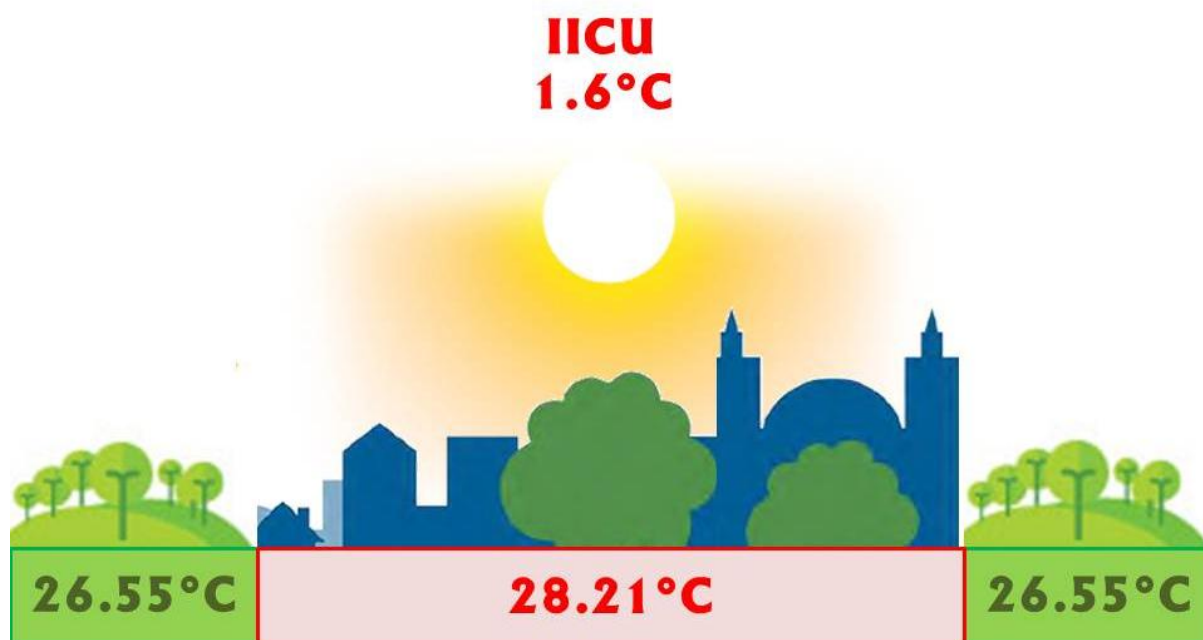


Fuente: Elaboración propia basado en LANDSAT 8, Septiembre 2014

Cabe señalar que debido a las condiciones de nubosidad y la propia escasez de las imágenes disponibles para la zona correspondiente a la ciudad Mérida, no se pudieron analizar más imágenes y más fechas, lo que permitiría tener una mayor información y una mejor interpretación.

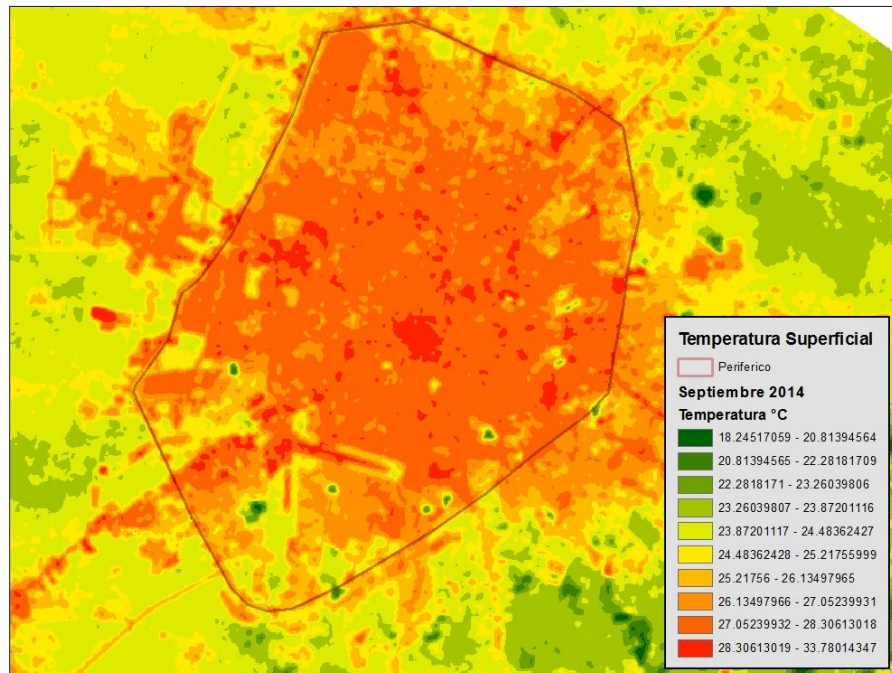
No obstante, se puede afirmar que el fenómeno ICU, está presente en la ciudad, dado que en todas las imágenes analizadas se encontró una temperatura urbana promedio mayor que la temperatura promedio rural. De acuerdo a los datos obtenidos, el promedio del Índice de ICU, es de 1.6°C.

Figura 5.4 Promedio de IICU en el periodo de análisis



Fuente: Elaboración propia

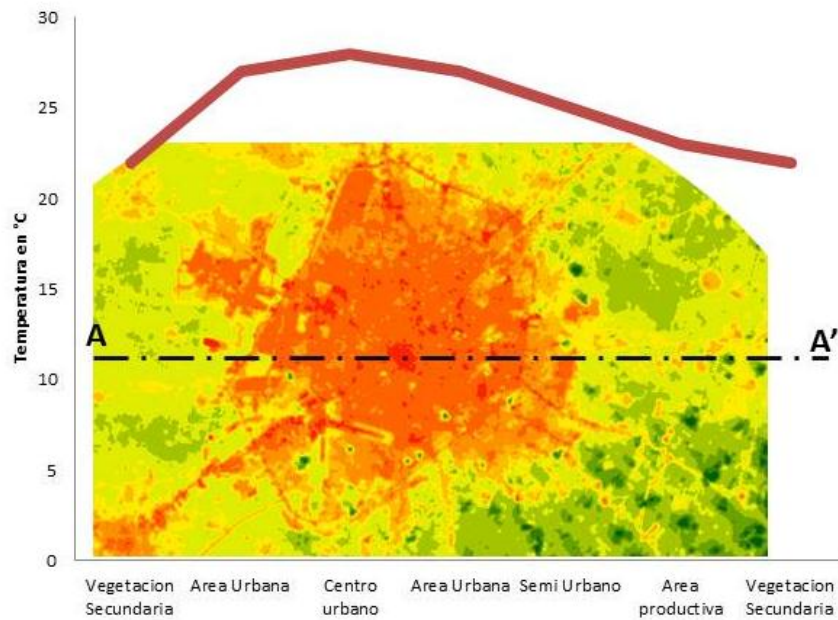
Figura 5.5 Temperatura superficial de septiembre 2014



Fuente: Elaboración propia basado en LANDSAT 8, Septiembre 2014

La imagen correspondiente a Septiembre del 2014, presenta el IICU más intenso con 3.2°C. En la figura 5.5 se puede apreciar que el centro urbano mantiene las temperaturas más altas. Si se considera solo esta parte de la ciudad, con respecto al promedio rural, se tiene una diferencia de 5°C. Esto se puede apreciar más claramente en la figura 5.6, la cual muestra un perfil de la temperatura obtenida de la imagen LANDSAT 8 de Septiembre del 2014 mediante un corte longitudinal.

Figura 5.6 Perfil de la Temperatura superficial de septiembre 2014



Fuente: Elaboración propia

Si se consideran las condiciones de humedad relativa predominantes en la ciudad. De acuerdo con Batllori (citado en López, 2008) la humedad relativa promedio anual en Mérida es de 76%. Como fue mencionado, la Humedad Relativa afecta directamente al confort climático. Porcentajes de humedad relativa superiores al 50% producen que la sensación térmica experimentada sea más elevada que la temperatura ambiente. Esto se aprecia en el cuadro 5.3 (Fernández, 1994).

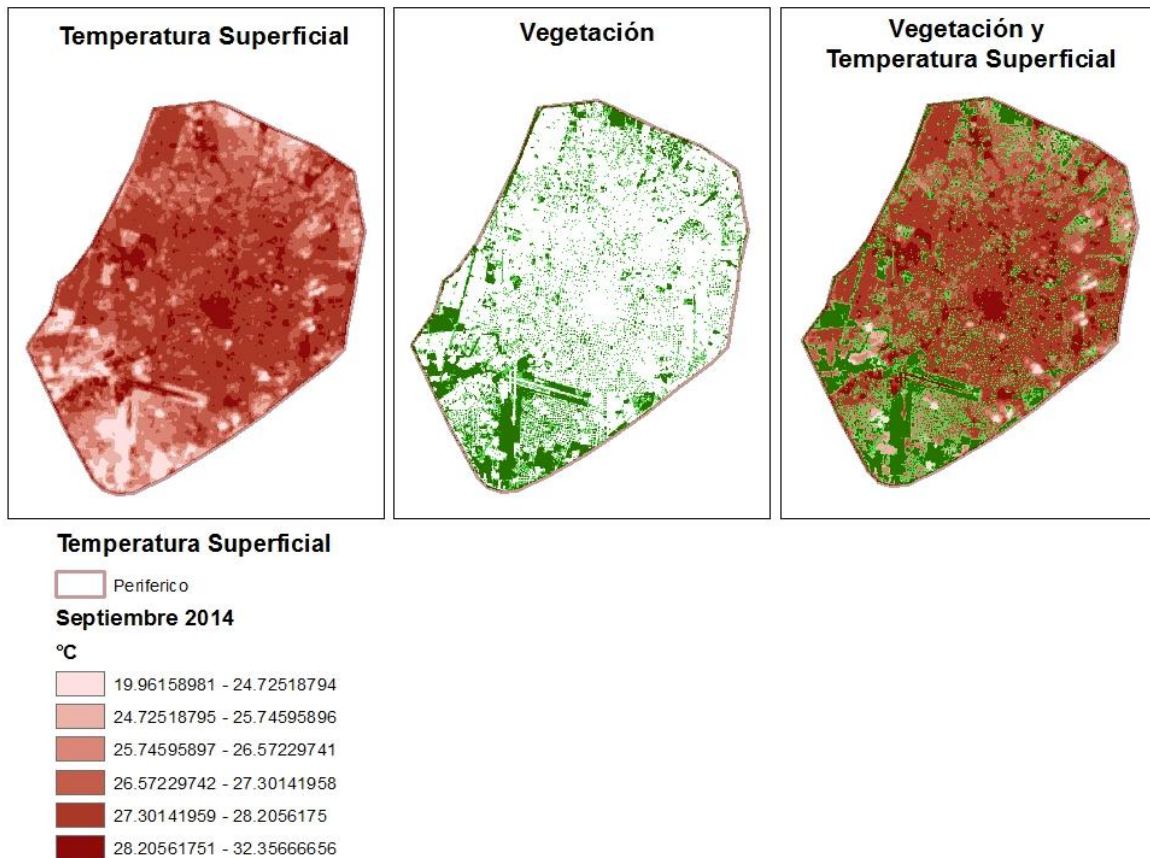
Cuadro 5.3 Sensación térmica en función de la humedad relativa del aire

Temperatura °C	% Humedad Relativa					
	30	50	70	80	90	100
20	20	21.1	22.2	22.8	23.4	23.9
25	25	26.7	27.8	28.9	30	31.1
30	30	32.2	35	37.2	37.8	39.4
35	35	38.8	42.2	44.4	46.7	48.9
40	40	45	50			

Fuente: Lansberg, 1972; tomado de Fernández (1994)

Estas condiciones climáticas en la ciudad de Mérida, intensifican el problema de la ICU. Si se observa la figura 5.5 y el cuadro 5.2 se puede apreciar que el promedio rural correspondiente a la imagen de Septiembre del 2014, es de 23.8°C, sin embargo el centro urbano alcanza temperaturas superiores a los 30°C. Estas temperaturas en combinación con la humedad relativa, estarían produciendo sensaciones térmicas de entre 35 y 37.2°C, lo que equivaldría a diferencias en la sensación térmica de hasta 10°C entre el ambiente rural y el centro urbano.

Figura 5.7 Correlación entre vegetación y TS. Mérida



Fuente: Elaboración propia con base en LANDSAT 8, Septiembre 2014

Al analizar la temperatura superficial y el patrón de distribución de la vegetación, podemos observar una relación directa entre los puntos de mayor temperatura y la ausencia de vegetación. La baja proporción de coberturas vegetales en el centro urbano se hace evidente.

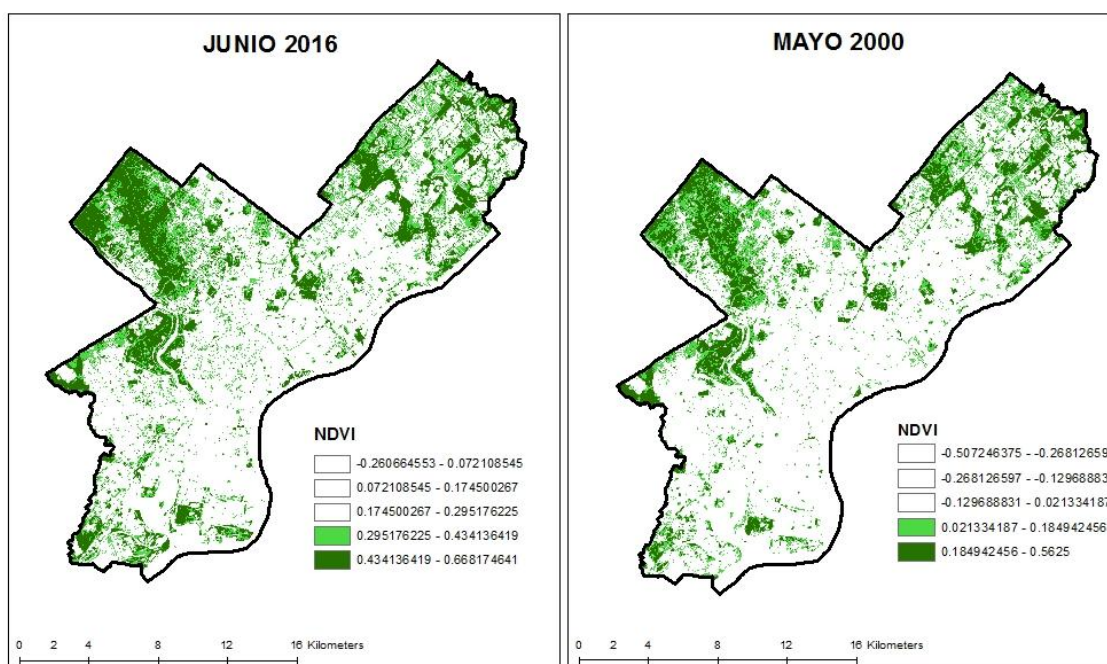
5.2 Filadelfia

Para el caso de la ciudad de Filadelfia, las imágenes utilizadas para el análisis de la vegetación fueron una imagen LANDSAT 7 de Mayo del 2000 y otra LANDSAT 8, con fecha de Junio del 2016.

Como se puede apreciar a partir de la figura 5.7, los patrones de la vegetación permanecen prácticamente sin cambio. Sin embargo, al calcular las superficies de vegetación más cercana a uno de acuerdo al NDVI, se encontró una ganancia de vegetación de casi 900 ha entre el 2000 y 2016, que corresponden a 4 m² más de área verde por habitante.

Para la ciudad de Filadelfia se pudieron encontrar 15 imágenes óptimas para el análisis de la TS. Los resultados se aprecien en el cuadro 5.4. De acuerdo a estos resultados, el valor mínimo del Índice de Isla de Calor Urbana (IICU) se presenta en Agosto del 2003 con +4.46°C, mientras que la mayor diferencia se registró en Mayo del 2009 con +9.05°C. En la figura 5.9 se aprecia un perfil de la TS de la ciudad en esta fecha. El promedio de IICU es de 5.95°C y se puede apreciar en la figura 5.10.

Figura 5.8 Cálculo de la vegetación mediante el NDVI. Filadelfia



Fuente: Elaboración propia basado en LANDSAT 5 Y 8, Junio 2016 y Mayo 2000

Cuadro 5.4 Cobertura de vegetación 2000 y 2016. Filadelfia

Mes y Año	Superficie	Población	Área verde	% de área verde	m ² área verde/habitante
Mayo 2000	36931 ha	1, 517, 313	7036 ha	19	46
Junio 2016	36931 ha	1, 553, 006	7911 ha	21.4	50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 5.5 Temperatura Superficial e Índice ICU. Filadelfia

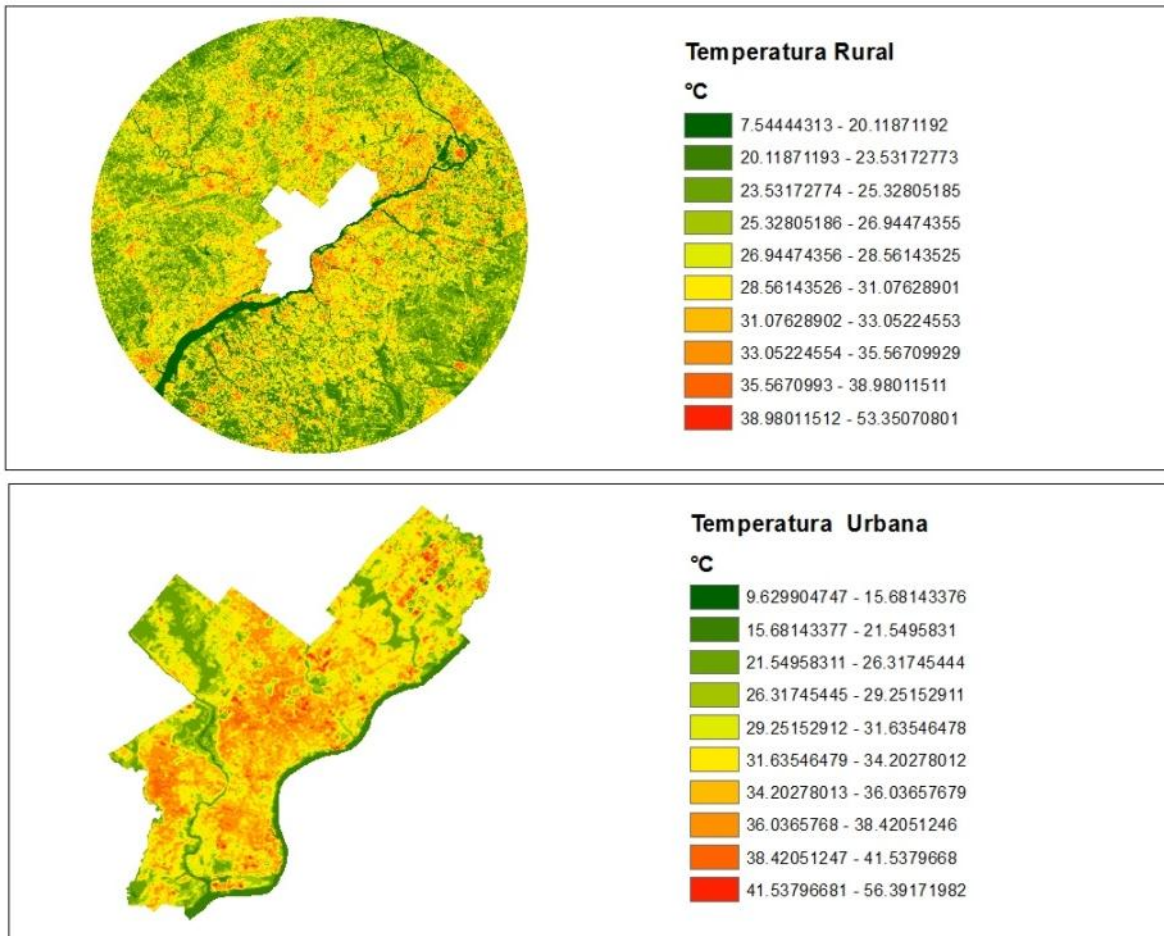
Mes y Año	Satélite	Promedio rural	Promedio urbano	Índice de ICU
Mayo 2000	LANDSAT 7	19.49	26	+6.51
Mayo 2001	LANDSAT 7	18.09	23.61	+5.52
Julio 2002	LANDSAT 7	28.18	33.7	+5.59
Agosto 2003	LANDSAT 5	23.64	28.10	+4.46
Mayo 2005	LANDSAT 5	17.73	24.97	+7.24
Julio 2006	LANDSAT 5	26.89	32.85	+5.61
Junio 2007	LANDSAT 5	22.96	28.88	+5.92
Julio 2008	LANDSAT 5	25.61	31.09	+5.48
Mayo 2009	LANSAT 5	22.66	31.71	+9.05
Julio 2010	LANDSAT 5	24.47	30	+5.43
Julio 2011	LANDSAT 5	25.43	30.90	+5.47
Mayo 2014	LANDSAT 8	19.71	25.52	+5.81
Julio 2015	LANDSAT 8	26.98	31.6	+4.64
Junio 2016	LANDSAT 8	21.62	28.	+6.4

Fuente: Elaboración propia

La obtención de los promedios rural y urbano se obtuvo a partir de la imagen raster de Temperatura Superficial obtenida de la banda TIR de las imágenes LANDSAT.

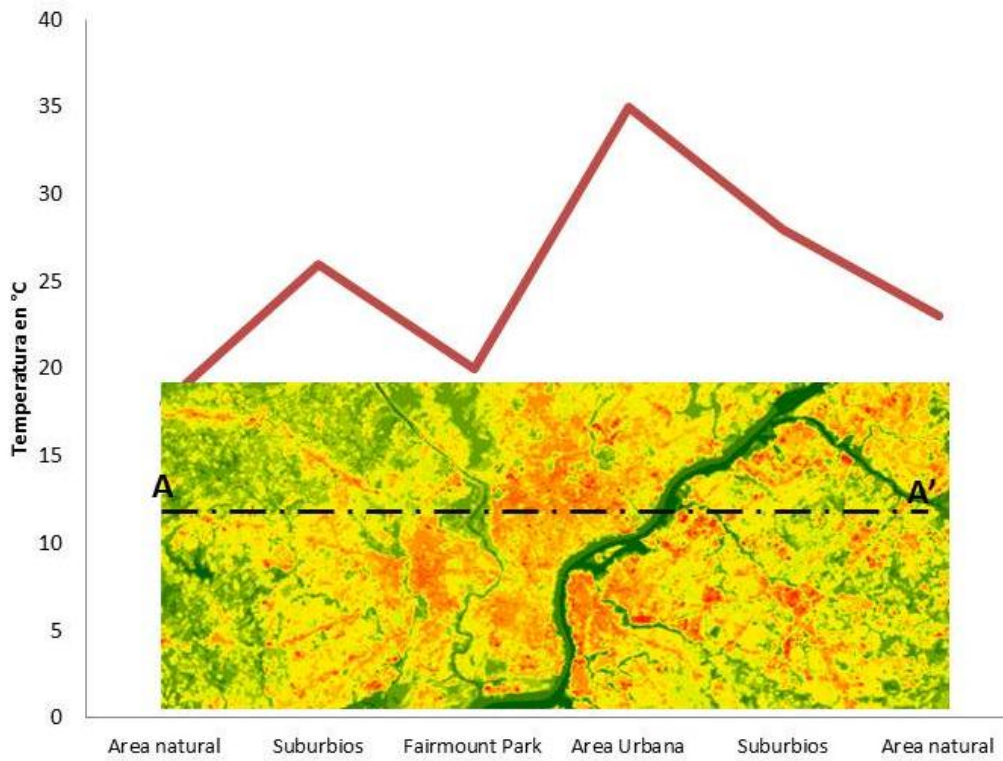
La imagen raster de TS fue recortada dos veces, como se aprecia en la figura 5.8 para obtener ambos promedios.

Figura 5.9 Obtención del promedio rural y urbano. Filadelfia



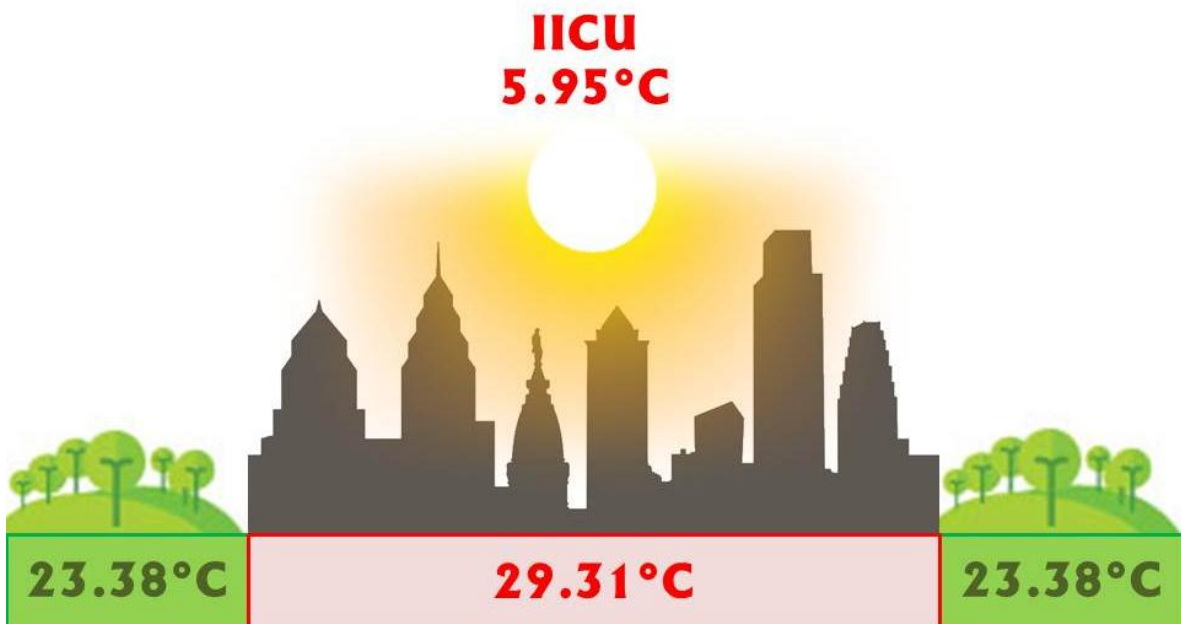
Fuente: Elaboración propia con base en LANDSAT 5, Mayo 2009

Figura 5.10 Perfil de la Temperatura Superficial de Mayo de 2009.



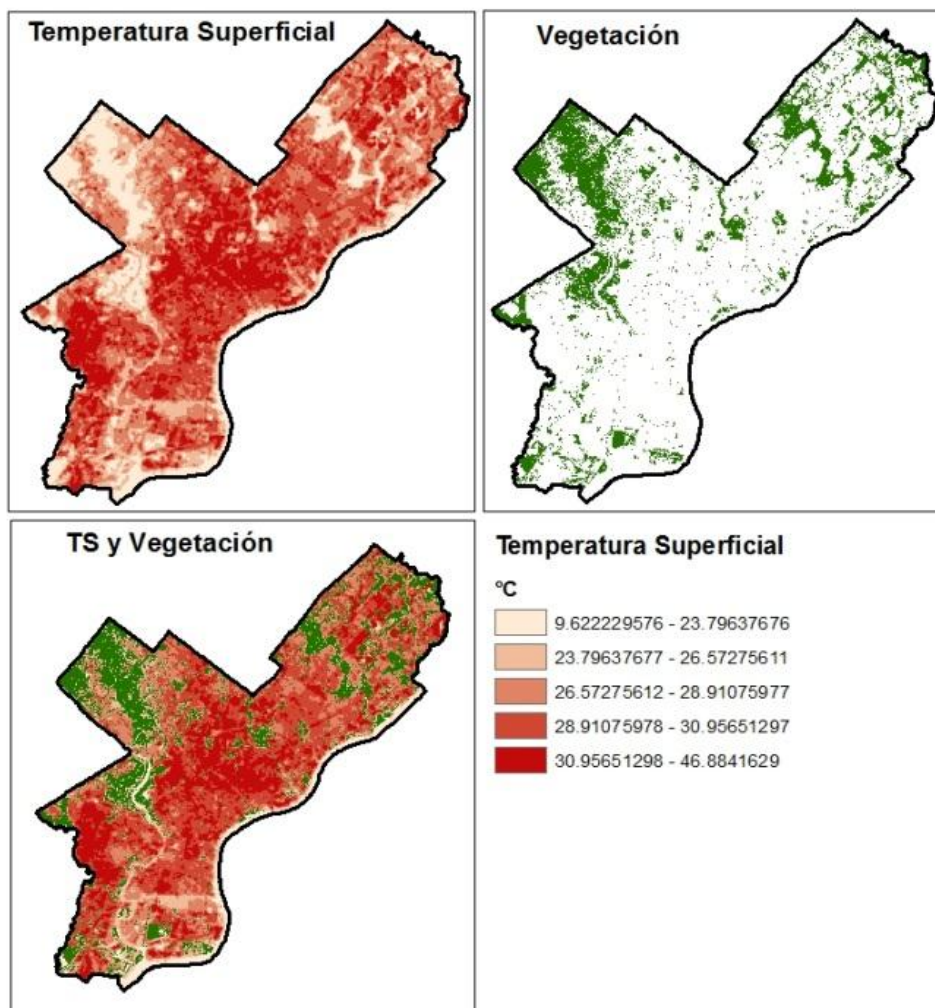
Fuente: Elaboración propia

Figura 5.11 Promedio de IICU en el periodo de análisis



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.12 Correlación entre vegetación y TS. Filadelfia



Fuente: Elaboración propia con base en LANDSAT 8, Junio 2016

5.3 Discusión comparativa del estado actual de las áreas verdes

La ciudad de Filadelfia es casi dos veces más grande que la ciudad de Mérida, tanto en población, como en extensión. No obstante, si se considera el porcentaje de superficie cubierto por áreas verdes con vegetación sana, de acuerdo al NDVI, ambas ciudades presentaban porcentajes muy similares en el año 2000. La ciudad de Mérida tenía 18% de la superficie urbana cubierta por vegetación, mientras que Filadelfia un 19%. Estos porcentajes representaban 47 m² y 46 m² por habitante, respectivamente.

Durante el periodo 2000-2016, la ciudad de Mérida mantuvo procesos de crecimiento urbano, que impactaron directamente en la pérdida de superficies naturales a cambio de superficies impermeables. Así, para el 2016, el porcentaje de la ciudad cubierto por vegetación se redujo en un 5%. Por el contrario, la ciudad de Filadelfia, tuvo una ganancia de 2.4% de superficies vegetadas. Esta ganancia de vegetación parece ser el resultado de los esfuerzos que la ciudad ha implementado desde el 2008, para alcanzar un 30% de superficie urbana de áreas verdes hacia 2030. Al considerar las áreas verdes por habitante, la ciudad de Mérida perdió 17 m², mientras Filadelfia ha ganado 4 m².

Si consideramos las áreas verdes en el espacio público, de acuerdo con el SIEP (2017) Mérida cuenta con 4.4 m² de área verde por habitante. Como se puede observar de la figura 4.6, estas áreas verdes de carácter público, en su gran mayoría son menores a 1 hectárea. Solamente el parque lineal conocido como “paseo verde” tiene una superficie superior a las 40 hectáreas. Además es notoria la nula conectividad entre estas áreas.

La ciudad de Filadelfia, por su parte cuenta con el Fairmount Park, considerando como el segundo parque urbano más grande del mundo con una extensión de 829 hectáreas. En total, las áreas verdes públicas corresponden al 9% de la superficie de la ciudad y equivalen a 21 m² de área verde por habitante. Cifra muy por encima del valor mínimo estimado por la OMS de 9 m².

No obstante, hay que considerar que en ambos casos, la distribución de las áreas verdes, no es homogénea y en ambas ciudades existen zonas con muy poca vegetación y mucho menos áreas verdes públicas. En ambos casos, estas zonas corresponden a las áreas con mayor temperatura superficial, como se puede apreciar en las figuras 5.6 y 5.10.

En Mérida, la zona sur de la ciudad tiene la mayor cantidad de áreas verdes, López (2008) explica esta situación debido a que en esta zona de la ciudad, aún persisten sistemas de producción agrícola tradicional de gran riqueza florística que fueron integrados a la ciudad por la población que migro proveniente de zonas rurales de la península. López (2008) también identificó una relación positiva entre mayor cantidad de áreas verdes y la población de menores ingresos.

Estos sistemas, ofrecen servicios ambientales a toda la ciudad, sin embargo, al ser de carácter privado, estos podrían desaparecer conforme al crecimiento urbano y poblacional, como ya ha sucedido en otras zonas de la ciudad (Flores, 1993). Desde las leyes y reglamentos en materia de áreas verdes, no existe un plan para salvaguardar estos sistemas. El PMIVU, plantea hacer un manejo

integral de toda la vegetación urbana, pero no establece mecanismos que protejan el arbolado en zonas privadas.

Este mismo plan, plantea como objetivo alcanzar los 9 m² de área verde establecidos por la OMS, sin embargo, el Reglamento de la Ley de Desarrollos Inmobiliarios del Estado de Yucatán (2012), único documento oficial para determinar la cantidad áreas verdes, establece únicamente un 3% del área bruta los nuevos desarrollos, para reserva de áreas verdes (SIEP, 2017). Porcentaje que como máximo, alcanzaría a equivaler a 5 m² de área verde por habitante, si se considera la densidad mínima de 60 habitantes por hectárea, que plantea este mismo reglamento. No obstante, la cantidad podría aumentar al sumar el área de camellones y avenidas, no contemplada dentro del 3% mínimo exigido.

En Filadelfia, por otro lado, la zona con mayor cobertura arbórea se encuentra en el noroeste de la ciudad. Contrariamente a lo que sucede en la ciudad de Mérida, existe una clara relación entre el alto nivel de ingreso y las zonas con mayor vegetación (Uejio et al, 2011).

Esta situación genera que los barrios con menores ingresos, sean especialmente vulnerables hacia el calor y las altas temperaturas (Uejio et al, 2011), y las muertes asociadas al calor, durante los Eventos de Calor Extremo, han sido asociadas a estas zonas de la ciudad (Johnson y Wilson, 2009; Uejio et al, 2011).

Esta situación, por un lado, confirma que el indicador de 9 m² de área verde por habitante de la OMS, ampliamente superado por Filadelfia, no es un buen parámetro para determinar si una ciudad, cumple o no, con los requerimientos

mínimos de vegetación con los que debería contar para garantizar la salud de sus habitantes. Por el otro lado, tampoco parece suficiente cuando se trata de mantener la temperatura cercana a los niveles del ecosistema circundante, puesto que el índice ICU, encontrado en el periodo 2000-2016 en la ciudad de Filadelfia, supera los 5°C.

La ciudad de Filadelfia parece bien encaminada a conseguir el objetivo de 30% de cobertura arbórea en todos los barrios. Si se consideran los porcentajes de superficie actual y la relación con la TS, el 30% parece ser un porcentaje suficiente para reducir la temperatura considerablemente.

En la ciudad de Mérida, ha prevalecido el enfoque urbano de las áreas verdes, los recientes PMIVU y SIEP parecen ser un primer esbozo de integrar un enfoque ambiental en el manejo de las áreas verdes, pero la tendencia de urbanización y la carencia de normativa que fomente una mayor cantidad de vegetación, hacen pensar que la ciudad seguirá su tendencia de perder áreas verdes tanto en superficie, como en m².

6 Conclusiones

El manejo de la vegetación en los medios urbanos, tradicionalmente se ha realizado bajo dos enfoques. El urbano, que responde a la necesidad de los habitantes de contar con espacios abiertos, ornamentales y recreativos; y el ambiental, que busca la integración de la ciudad al ecosistema que la alberga, proteger la biodiversidad, las funciones ecosistémicas y los servicios ambientales.

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada y al análisis de la vegetación mediante el NDVI, fue posible determinar que la ciudad de Mérida ha mantenido un enfoque urbano en su gestión de áreas verdes. Esto, en conjunto con otros factores, ha permitido un detrimento en las superficies vegetadas y arboladas durante el periodo analizado.

La ciudad de Mérida busca como objetivo más ambicioso, alcanzar la cifra de 9 m² de área verde pública por habitante. No obstante, no tiene un marco legal que permita alcanzar este objetivo y mucho menos, proteger las áreas verdes en espacios privados. Al día de hoy, la ciudad cuenta con tan solo 4.1 m² de área verde pública por habitante.

Filadelfia, por otra parte, ha implementado un enfoque ambiental en las áreas verdes urbanas y ha logrado un aumento en las superficies verdes durante el periodo analizado. Actualmente la ciudad cuenta con 21 m² de área verde pública por habitante, lo que equivale al 9% de la superficie urbana total y busca alcanzar un 30% de cobertura arbórea en todos los barrios de la ciudad para el 2030.

No obstante la gran diferencia en la cantidad de m² de área verde por habitante, ambas ciudades presentan temperaturas superiores a las del medio semi urbano, rural y natural. Esto deja de manifiesto que cuando se trata de planificar las áreas verdes para la mitigación del calor urbano y los efectos de la ICU, el mínimo recomendado por la OMS de 9 m² y tomado como dogma en muchas ciudades de América latina, no es un parámetro eficiente.

7 Bibliografía

- Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. *Environmental Pollution*. 116 S119–S126.
- Alanís, G (2005). El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*, VII (1), Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, pp. 20-32.
- Alexander, L, y Arblaster, J. (2009). Assessing trends in observed and modeled climate extremes over Australia in relation to future projections. *International Journal of Climatology*. 29(3), 417–435.
- Baumann P. (2008). *An Urban heat Island: Washington, DC*. University of New York.
- Beauregard, R. (2009). Urban population loss in historical perspective: United States, 1820 – 2000. *Environment and Planning*. volume 41, pages 514 – 528.
- Bell, Michelle L., O’Neill, Marie S., Ranjit, Nalini, Borja-Aburto, Víctor H., Cifuentes, Luis A., y Gouveia N. (2008). Vulnerability to heat related mortality in Latin America: a case-crossover study in São Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico *Int. J. Epidemiol.* 37(4): 796-804.
- Bolio, J. (2000). La expansión urbana de Mérida. *Cuadernos de Arquitectura*. Yucatán 13, Facultad de Arquitectura, UADY. Pp. 1-11.
- Bowler, D., Buyung-Ali, L., Knight, T., y Pullin, A. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155.
- Canto, R. y Sánchez, M. (2003). Comportamiento térmico en la ciudad de Mérida. En Tello, Peón Lucía y Alfredo Alonzo Aguilar (coordinadores). *Evolución y estrategia del desarrollo urbano en la Península de Yucatán*. FAUADY. México. Pp. 173-194.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention) (2006). Heat-related deaths, United States, 1999 - 2003. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 55,796–798.
- Centro de Transporte Sustentable (CTSMEX) (2015). *Manual de Desarrollo Orientado al Transporte Sustentable*.

- Cerón-Palma, I. (2008). Evaluación de Factores de Confort y contaminación ambiental en la vivienda económica de clima cálido-húmedo. Master disertación. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Chavoya, J., Garcia, J. y Rendeon, H. (2009). Una reflexión sobre el modelo urbano: ciudad dispersa-ciudad compacta. SCTV Barcelona.
- Challenger, A. y J. Soberón. (2008). Los ecosistemas terrestres en capital natural de México. Vol. I. Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, D. F. p. 87-108.
- Chestnut, L., Breffle, W., Smith, J., Kalkstein, L. (1998). Analysis of differences in hot-weather-related mortality across 44 US metropolitan areas. *Environmental Science and Policy* 1, 59–70.
- Ciudad de Edmonton (2016). Edmonton's Green Energy Strategy.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2007). Proyecciones de la Población de México 2005-2050. México: CONAPO.
- Copeland, C. (2014). Green Infrastructure and Issues in Managing Urban Stormwater. Congressional Research Service.
- Debbage, N. y Marshall, J. (2015). The urban heat island effect and city contiguity. *Computers, Environment and Urban Systems* 54 (2015) 181–194.
- Del Pozo, S. (2015). Ciudades sustentables: necesidad de indicadores sociales y ambientales para la gestión de la vegetación urbana.
- Economist Intelligen Unit (EIU) (2010). Índice de Ciudades Verdes de América Latina. Una evaluación comparativa del impacto ecológico de las principales ciudades de América Latina. SIEMENS. Múnich, Alemania.
- Eliasson, I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning* 48, 31-44
- Environmental Protection Agency (EPA) (2009). Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Environmental Protection Agency, U.S.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2006). Excessive heat events guidebook. 2006. www.epa.gov/heatisland/about/heatguidebook.html.
- EPA (Environmental Protection Agency) (2011). Urban Heat Island. Washington D.C.

- EUROPEAN UNION (EU) (2011). Mapping Guide for a European Urban Atlas. European Environment Agency, EEA, Copenhagen, Denmark
- Ewing, R., Pendall, R. y Chen, D. (2002). Measuring sprawl and its impact. Smart Growth America. Better Choices for our Communities.
- Fernández, F. (1994). Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos. Serie Geográfica, vol. 4, pp. 109-125
- Firehock, K. (2010). A Short History of the Term Green Infrastructure and Selected Literature.
- Flores, J. (1993). Observaciones preliminares sobre los huertos familiares mayas en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. *Biótica, nueva época*. 1: 13-18.
- Freeh, R., y Wu, S. (2015). Greenworks Philadelphia: 2015 progress Report. Philadelphia: Mayor's Office of Sustainability.
- Galindo, L. (2009). La economía del cambio climático en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- Galindo, I., Quintana, J. y Carbajal, E. (2013). Identificación satelital de la isla urbana de calor de la ciudad de Colima, propuestas de mitigación. *Palapa* | issn: 1870-7483 | vol. i | núm. 1 [tercera época] | pp. 24-34.
- García, C. y Álvarez A. (2003). Realidades y retos del proceso de urbanización de las comisarías del Municipio de Mérida, Yucatán. En Tello, Peón Lucía y Alfredo Alonzo Aguilar (coordinadores). *Evolución y estrategia del desarrollo urbano en la Península de Yucatán*. UADY. México. Pp. 195-205.
- Gabriel, K., y Endlicher, W. (2011). Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution*, 159 (8–9), 2044–2050.
- Gilliam FS, Goodale CL, Pardo LH, Geiser LH, and Lilleskov, EA. (2011). Eastern temperate forests, Chapter 10. In: Pardo LH, Robin Abbott MJ, Driscoll, CT, eds. *Assessment of Nitrogen deposition effects and empirical critical loads of Nitrogen for ecoregions of the United States*. Gen. Tech. Rep. NRS-80. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station: 99-116.
- Golden, J., Hartz,D., Brazel,A., Lubert,G., Phelan,P. (2008). A biometeorology study of climate and heat related morbidity in Phoenix from 2001 to 2006. *International Journal of Biometeorology* 52,471–480.

- Gómez, F. (2005). Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, xxxvii (144).
- Gómez, A. y Alcántara, A. (2003). Las formas de vida y el confort, conceptos culturales de la calidad ambiental, y sus consecuencias en la tradición espacial del trópico subhúmedo. En Tello, Peón Lucía y Alfredo Alonzo Aguilar (coordinadores). *Evolución y estrategias del desarrollo urbano ambiental en la Península de Yucatán*. FAUADY. México. Pp. 231-238.
- Guzmán, G. y García, M (2014). la planificación urbana como Estrategia ante los riesgos Ambientales en la zona metropolitana De Mérida. En Frausto Martínez (coordinador). *Monitoreo de riesgo y desastre asociado a Fenómenos hidrometeorológicos Extremos y cambio climático*. Pp 67-71.
- Habitat III (2016). *New urban agenda. Draft outcome document for adoption in Quito*
- Harris, R. (1992). *Arboriculture: Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs and Vines*. 2nd Edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA. 674 pp.
- Hayakawa, F. (2010). Planeación urbana en Curitiba. *Quivera*, vol. 12, núm. pp. 52-69 Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México.
- Heisler, G. (1986). Effects of individual trees on the solar radiation climate of small buildings. *Urban Ecology* 9, 337–59.
- Hondula, D., Kand, V., Gosling, S. (2014). The SSC: a decade of climate–health research and future directions *Int. J. Biometeorol.* 58 109–20.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013). *Cambio Climático. Afirmaciones principales del resumen para responsables de políticas*.
- Inventario Nacional de Emisiones (INE) (1999).
- Iracheta, Alfonso (2009). *Políticas públicas para gobernar las metrópolis mexicanas*; México. Plaza y Valdés.
- Jenks, M. y Jones, C. (2010). *Dimensions of the Sustainable City*
- Jenks, M. y Dempsey, N. eds (2005). *Future Forms and Design for Sustainable Cities*, Architectural Press, Oxford.
- Johnson, D. y Wilson, J. (2009). The socio-spatial dynamics of extreme urban heat events: The case of heat-related deaths in Philadelphia. *Applied Geography* 29 (2009) 419–434

- Kalkstein, L. y Greene, J. (1997). An evaluation of climate/mortality relationships in large US cities and the possible impacts of a climate change. *Environ Health Perspect.* 105, 848–93
- Konopacki, S. y Akbari, H. (2002). Energy savings for heat island reduction strategies in Chicago and Houston (including updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake City). Draft Final Report, LBNL-49638, University of California, Berkeley.
- Krüger, E., Drach, P., Emmanuel, R. y Corbella, O. (2013). Urban heat island and differences in outdoor comfort levels in Glasgow, UK. *Theoretical & Applied Climatology*, 112, 127–141.
- Lai, L., y Cheng, W. (2009). Air quality influenced by urban heat island coupled with synoptic weather patterns. *Science of The Total Environment*, 407 (8), 2724–2733.
- Li, H., Wenbo, C. y Wei, H. (2015). Planning of Green Space Ecological Network in Urban Areas: An Example of Nanchang, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2015, 12, 12889-12904
- Liu, Y., Wang, Y., Peng, J., Du, Y., Liu, X., Li, S. y Zhang, D. (2015). Correlations between Urbanization and Vegetation Degradation across the World's Metropolises Using DMSP/OLS Nighttime Light Data. *Remote Sens.* 2015, 7, 2067-2088
- Lovell, S., y Taylor, J. (2013). Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *Landscape Ecology*, 28 (8),1447–1463.
- Maruani, T. y Amit-Cohen, I. (2007). Open space planning models: A review of approaches and methods, en *Landscape and Urban Planning* No. 81. Pp. 1-13.
- Marulli, J. y Mallarach J. (2005). A GIS methodology for assensing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area, en *Landscape and Urban Planning* No.71. Pp. 243-262.
- McPherson, E. (1991). Economic modeling for large scale tree planting. In E. Vine, D. Crawley, and P. Centolella (eds.) *Energy efficiency and the environment: Forging the link* (pp. 349-369). American Council for an Energy Efficient Economy, Washington, D.C
- McPherson, E., Nowak, D. y Rowntree, R. (1994). *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, General

Technical Report No. NE-186, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Radnor, PA.

Meerow, S. y Newell, J. (2017). Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning* 159 (2017) 62–75

Memon, R, Leung, D. y Liu, C. (2009). An investigation of urban heat island intensity (UHII) as an indicator of urban heating. *Atmospheric Research* 94, 491–500.

Medina, S., Iracheta, A., Veloz, J. e Iracheta, J. (2012). Planes Integrales de Movilidad Lineamientos para una movilidad urbana sustentable. ITDP y Centro Eure.

Neuman, M. (2005). The Compact City Fallacy. *Journal of Planning Education and Research* 25:11-26.

Nieuwenhuijsen, M. y Khreis, H. (2016). Car free cities: Pathway to healthy urban living. *Environment International*, 94:251–262.

Nivon, E. (2003). Las contradicciones de la ciudad difusa. *Alteridades*, vol. 13, núm. 26, julio-diciembre, 2003, pp. 15-33.

Norton, B., Coutts, A., Livesley, S., Harrisc, R., Hunter, A., Williams, N. (2014). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* 134. 127–138.

Nowak, D., Bodine, R., Hoehn, R., Ellis, A., Low, S., Roman, L., et al (2016). The Urban Forest of Philadelphia. United States Department of Agriculture

Oke, T. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108 (455) 1–24.

O’Neil, J. (2011). A report on the city of Philadelphia’s existing and possible tree canopy. Burlington, VT: University of Vermont, Spatial Analysis Laboratory. 12 p.

ONU-Habitat (2011). *World Urbanization Prospects*

ONU-Hábitat (2012). *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012 rumbo a una nueva transición urbana.*

- ONU-Hábitat (2017) Los objetivos de desarrollo sostenible la iniciativa de ciudades prósperas.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2015). Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2015.
- Ottelé, M., van Bohemen, H., Fraaij, A. (2010). Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. *Ecol. Eng.* 36, 154–162.
- Parker, J. (1981). Use of Landscaping for Energy Conservation. Department of Physical Sciences, Florida International University, Miami, FL.
- Pearsall, H. y Critsman, Z. (2012). Tree-lined lanes or vacant lots? Evaluating non-stationarity between urban greenness and socio-economic conditions in Philadelphia, Pennsylvania, USA at multiple scales. *Applied Geography* 35. 257 -264.
- Perez, S. y Lopez, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. XV, núm. 47, enero-abril, 2015, pp. 1-33.
- Perini, K. (2014). Urban areas and green infrastructure: Local communities and environmental policies in New York city. The case of the Bronx river.
- Pesci, R. (2004). ¿Ciudad concentrada o ciudad dispersa? Sustentabilidad y desarrollo urbano. *Petrotecnia* , Octubre.
- Priego, C. (2011). Naturaleza y Sociedad el Valor de los Espacios Verdes Urbanos. Ministerio de medioambiente y medio rural y marino. España.
- Programa de desarrollo urbano de la ciudad de Mérida (PDU) (2003). Ayuntamiento de Mérida.
- Programa de desarrollo urbano de la ciudad de Mérida (PDU) (2010). Ayuntamiento de Mérida.
- Razzaghmanesh , M. (2016). The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. *Urban Forestry & Urban Greening.* 15. 89–102.
- Reyes, I. y Gutiérrez, J. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. *Quivera*, vol. 12, núm. 1, enero-junio, 2010, pp. 96-102

- Rizwan A., Dennis Y. y Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island, *Journal of environmental science*, 120-128.
- Roberts, W. (2010). *GreenPlan Philadelphia Our Guide to Achieving Vibrant and Sustainable Urban Places*. City of Philadelphia.
- Romero, H., Toledo, X., Ordones, F. y Vásquez, A. (2001). Ecología urbana y gestión ambiental sustentable de las ciudades intermedias chilenas. *Ambiente y Desarrollo*. VOL XVII - N°4, pp. 45 - 51 (ISSN 0716 – 1476).
- Rosenzweig, C., Solecki, W., Slosberg, R. (2006) *Mitigating New York City's Heat Island with Urban Forestry, Living Roofs, and Light Surfaces – New York City Regional Heat Island Initiative*.
- Rosenzweig, C., Solecki, W., Hammer, S., y Mehrotra, S. (2011). *Climate change and cities. First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*.
- Roth, M., Oke, T. R., & Emery, W. J. (1989). Satellite-derived urban heat island from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 1699– 1720.
- Rouse, D. (2013) *Green infrastructure: a landscape approach*. American Planning Association, Chicago, IL.
- Rzedowski, J. (2006) *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México
- Sandstrom, U. (2002). Green Infrastructure Planning in Urban Sweden. *Plan. Pract. Res.* 17, 373–385.
- Sangines, E. (2013) *Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, España.
- Schewenius, M. (2016). Resiliencia y sustentabilidad en la era urbana. *Ecofronteras*. Vol. 20. Num 57. Pp 2-5 ISSN, 2007-4549.
- Scotish Natural Heritage (SNH) (2012). *Green Networks in Development Planning*. Information Note. Scotish Government
- Sobrino, J., Jimenez, J. y Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Enviroment*.

- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K. y Williams, J. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. Documento de las buenas prácticas. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D. C.
- Stathopoulou, M., & Cartalis, C. (2006). Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. *Solar Energy* 81. 358–368.
- Stone, B. y Rodgers, M. (2001). Urban Form and Thermal Efficiency. How the design of cities influence the urban heat island effect. *Journal of the American planning association*. Vol 67. N 2.
- Stone, B. y Norman, J. (2006). Land use planning and surface heat island formation: A parcel-based radiation flux approach. *Atmospheric Environment* 40 (2006) 3561–3573.
- Stone, B. Hess, J. y Frumkin, H. (2010). Urban Form and Extreme Heat Events: Are Sprawling Cities More Vulnerable to Climate Change Than Compact Cities?. *Environmental Health Perspectives* • volume 118 | number 10.
- Stone, B. (2012). *The city and the coming climate: Climate change in the places we live*. New York: Cambridge University Press.
- Stone, B., Vargo, J., Liu, P., Habeeb, D., De Lucia, A., Trail, M., Hu, Y. y Russell, A. (2014). Avoided Heat-Related Mortality through Climate Adaptation Strategies in Three US Cities. *PLOS ONE* 9(6): e100852. doi:10.1371/journal.pone.0100852.
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings* 25 (1997) 99-103.
- Trujillo, S. (2012). Estimación de temperatura superficial en el valle de Aburrá, mediante técnicas de percepción remota. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental. Escuela de ingeniería de Antioquia.
- Tuzin, E. Leeuwen, C. Rodenburg y N. Peter, (2002). Paper presented at the 38th International Planning Congress on “The Pulsar Effect” Planning with Peaks, Glifada, Athens, 21-26 September.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., et al. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 167–178.

- Uejio, C., Wilhelmi, O., Golden, J., Mills, D., Gulino, S., Samenow, J. (2011). Intra-urban societal vulnerability to extreme heat: The role of heat exposure and the built environment, socioeconomics, and neighborhood stability. *Health & Place* 17, 498–507.
- United States Census Bureau. (2010). *Census Results*
- Voogt, J. y Oke, T. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86 (2003) 370–384.
- Weber, S., Sadoff, N., Zell, E. y de Sherbinin, A. (2015). Policy-relevant indicators for mapping the vulnerability of urban populations to extreme heat events: A case study of Philadelphia.
- Weather Underground (2016). Weather for Philadelphia pa US. Recuperado de: <https://www.wunderground.com/us/pa/philadelphia>. Accesado: Agosto del 2016.
- Weng, Q., y Yang, S. (2006). Urban air pollution patterns, land use, and thermal landscape: An examination of the linkage using GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117 (1), 463–489.
- Wilhelmi, O. y Hayden, H. (2010). Connecting people and place: a new framework for reducing urban vulnerability to extreme heat. *Environmental Research Letters*.
- World Health Organization (WHO) (2016). *Urban green spaces and health*. Copenhagen: Regional Office for Europe, 2016.
- Yuan, F. y Bauer, M. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 106 (2007) 375–386.
- Zolch, T. (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry & Urban Greening* 20 (2016) 305–316.