



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

CONTRASTE TÉRMICO ENTRE DIFERENTES TIPOS DE VEGETACIÓN  
DENTRO DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA BOSQUE DE TLALPAN Y SUS  
ALREDEDORES DE CARÁCTER URBANO: EL EFECTO DE LA ISLA DE  
FRESCOR VERDE EN LA CIUDAD DE MÉXICO.

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:  
ROBERTO LARA DERAS

DIRECTOR DE TESIS:  
MTRO. JOSÉ MANUEL ESPINOZA RODRÍGUEZ  
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS, UNAM

MIEMBROS DEL SÍNODO:  
DRA. LETICIA GÓMEZ MENDÓZA, FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS, UNAM  
DR. JOSÉ LÓPEZ GARCÍA, INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM  
DR. JOSÉ MANUEL CRESPO GUERRERO, INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM  
DR. CÉSAR CANTÚ AYALA, FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES, UNAM.

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, MARZO, 2023.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **DEDICATORIA.**

A mi padre, a quien extraño mucho.

A mi madre y hermana, quienes siempre me han apoyado. Las quiero.

A mi familia, quienes siempre me han demostrado su cariño. Las y los quiero.

A mis amigas y amigos: sin ustedes la vida no tendría sentido.

A Helena, por compartir una vida de experiencias.

A todas las personas que padecen ansiedad y depresión: que su camino para encontrar  
respuestas sea lo más tranquila posible.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A las Marías: del Carmen y Fernanda, por su cariño y apoyo.

A mi madre, Helena y Diego, por haberme ayudado a realizar parte del trabajo de campo.

A Helena, Mapi y José Juan, por todo su apoyo y cariño.

A Adriana, Iracel y Maryann, quienes en momentos difíciles me brindaron su comprensión y amistad.

A Pitifritz, Panzas, Nanook, Vesper, Rayito y Messi: siempre compañeros incondicionales.

A Alejandro González Castillo, por su amistad y apoyo, el cual fue fundamental para llevar a cabo la presente investigación.

A mi asesor el Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez: sin sus consejos, paciencia y amistad este trabajo no habría sido posible.

A la Dra. Leticia Gómez Mendoza, quien fue parte fundamental en la elaboración del presente trabajo.

A los miembros del sínodo: Dra. Leticia Gómez Mendoza, Dr. José López García, Dr. José Manuel Crespo Guerrero, Dr. César Cantú Ayala: sus observaciones y recomendaciones contribuyeron sustancialmente a mejorar esta investigación.

A la comunidad de alumnas y alumnos de la Maestría en Geografía, quienes me permitieron ser su representante ante el Comité Académico del Posgrado en Geografía.

Al Comité Académico del Posgrado en Geografía por siempre brindarme la oportunidad de expresar las necesidades e inquietudes del alumnado; y por enseñarme algunos de los mejores aprendizajes durante mi paso en la maestría.

A la Universidad Nacional Autónoma de México: muchas cosas que replantearse para mejorar, pero en esencia siempre ha sido, es y será la universidad de todas y todos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por brindarme la oportunidad de ser beneficiario del Programa de Becas de Posgrados de Calidad.

Cuando emprendas tu viaje a Itaca  
Pide que el camino sea largo,  
Lleno de aventuras, lleno de experiencias.  
No temas a los lestrigones ni a los cíclopes  
Ni al colérico Poseidón,  
Seres tales jamás hallarás en tu camino,  
Si tu pensar es elevado, si selecta  
Es la emoción que toca tu espíritu y tu cuerpo.  
Ni a los lestrigones ni a los cíclopes  
Ni al salvaje Poseidón encontrarás,  
Si no los llevas dentro de tu alma,  
Si no los yergue tu alma ante ti.  
Pide que el camino sea largo.  
Que muchas sean las mañanas de verano  
en que llegues - ¡con qué placer y alegría! -  
a puertos nunca vistos antes.  
Detente en los emporios de Fenicia  
Y hazte con hermosas mercancías,  
Nácar y coral, ámbar y ébano  
Y toda suerte de perfumes sensuales,  
Cuanto más abundantes perfumes sensuales puedas.  
Ve a muchas ciudades egipcias  
a aprender, a aprender de sus sabios.  
Ten siempre a Itaca en tu mente.  
Llegar allí es tu destino.  
Mas no apresures nunca el viaje.  
Mejor que dure muchos años  
y atracar, viejo ya, en la isla,  
enriquecido de cuanto ganaste en el camino  
sin aguantar a que Itaca te enriquezca.  
Itaca te brindó tan hermoso viaje.  
Sin ella no habrías emprendido el camino.  
Pero no tiene ya nada que darte.  
Aunque la halles pobre, Itaca no te ha engañado.  
Así, sabio como te has vuelto, con tanta experiencia,  
entenderás ya qué significan las Itacas.

*Itaca*, Constantino Cadafis.

## **Índice general.**

Introducción.....	1
1.Áreas Verdes Urbanas y Áreas Naturales Protegidas en la Ciudad de México: servicios ecosistémicos en las ciudades.....	3
1.1 Áreas Verdes Urbanas: contexto general y particular de la Ciudad de México .....	3
1.2 Áreas Naturales Protegidas en la Ciudad de México .....	12
1.3 Servicios Ecosistémicos Urbanos .....	17
2.Climatología urbana: isla de calor e isla de frescor y sus consecuencias ambientales.....	25
2.1 Isla de Calor Urbana.....	25
2.2 Isla de Frescor Verde.....	33
2.3 Climatología urbana y salud ambiental.....	38
3.Caracterización geográfica del Bosque de Tlalpan y estrategia metodológica.....	46
3.1 Caracterización geográfica del Bosque de Tlalpan.....	46
3.2 Estrategia metodológica e instrumentos.....	54
4.Contraste térmico en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores de carácter urbano.....	66
4.1 Contraste térmico en el mes de agosto .....	66
4.2 Contraste térmico en el mes de septiembre .....	76
4.3 Contraste térmico en el mes de octubre .....	86
4.4 Contraste térmico en el mes de noviembre .....	96
Discusión.....	106
Conclusiones.....	109
Referencias.....	111
Anexos.....	122

## **Índice de Figuras.**

<b>Figura 1.1.</b> Tipología de las Áreas Verdes Urbanas.....	7
<b>Figura 1.2.</b> Distribución de las Áreas Verdes Urbanas en la Ciudad de México.....	10
<b>Figura 1.3.</b> Categorías de las Áreas Verdes Urbanas en la Ciudad de México.....	11
<b>Figura 1.4.</b> Distribución de Áreas Naturales Protegidas en la Ciudad de México.....	16
<b>Figura 1.5.</b> Regiones ecológicas en la Ciudad de México.....	24
<b>Figura 2.1.</b> La ciudad de Londres y sus alrededores rurales en la primera mitad del siglo XIX.....	27

<b>Figura 3.1.</b> Mapa de localización del Bosque de Tlalpan. ....	46
<b>Figura 3.2.</b> Mapa de colonias y calles aledañas al Bosque de Tlalpan. ....	47
<b>Figura 3.3.</b> Rango altitudinal en el Bosque de Tlalpan.....	48
<b>Figura 3.4.</b> Climograma de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal. ....	50
<b>Figura 3.5.</b> Tipos de vegetación en el Bosque de Tlalpan.....	51
<b>Figura 3.6.</b> Zonificación del ANP Bosque de Tlalpan. ....	54
<b>Figura 3.7.</b> Sensores de temperatura automáticos utilizados para el levantamiento de datos. .....	55
<b>Figura 3.8.</b> Adecuaciones de seguridad aplicadas a los sensores ambientales automáticos. .....	56
<b>Figura 3.9.</b> Distribución de los sensores térmicos en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores de la CDMX.....	57
<b>Figura 3.10.</b> Sitio donde se encontraba el sensor de temperatura colocado en el Bosque cultivado.....	58
<b>Figura 3.11.</b> Sensor térmico colocado en el sitio Bosque de encino.....	59
<b>Figura 3.12.</b> Ambiente general en la estación meteorológica del SMN Desviación Alta al Pedregal. ....	60
<b>Figura 3.13.</b> Sensor térmico colocado en el sitio Matorral xerófilo. ....	61
<b>Figura 3.14.</b> Sensor térmico colocado en el sitio Bosque cultivado. ....	62
<b>Figura 3.15.</b> Sensor térmico colocado en el sitio Picacho-Ajusco. ....	63
<b>Figura 3.16.</b> Sensor térmico colocado en el sitio Residencial.....	64
<b>Figura 4.1.</b> Gráfica de temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de agosto de 2018. ....	67
<b>Figura 4.2.</b> Mapa de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de agosto de 2018.....	68
<b>Figura 4.3.</b> Mapa de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de agosto de 2018.....	69
<b>Figura 4.4.</b> Mapa de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de agosto de 2018.....	70
<b>Figura 4.5.</b> Marcha diaria comparativa de las temperaturas en las diferentes coberturas del día 25 de agosto de 2018. ....	75
<b>Figura 4.6.</b> Gráfica de temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de septiembre de 2018.....	77
<b>Figura 4.7.</b> Mapa de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de septiembre de 2018. ....	78
<b>Figura 4.8.</b> Mapa de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de septiembre de 2018. ....	79

<b>Figura 4.9.</b> Mapa de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de septiembre de 2018. ....	80
<b>Figura 4.10.</b> Marcha diurna comparativa de las temperaturas en las diferentes coberturas del día 02 de septiembre de 2018.....	85
<b>Figura 4.11.</b> Gráfica de temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de octubre de 2018. ....	87
<b>Figura 4.12.</b> Mapa de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de octubre de 2018.....	88
<b>Figura 4.13.</b> Mapa de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de octubre de 2018. ....	89
<b>Figura 4.14.</b> Mapa de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de octubre de 2018.....	90
<b>Figura 4.15.</b> Marcha diurna comparativa de las temperaturas en las diferentes coberturas del día 25 de octubre de 2018.....	95
<b>Figura 4.16.</b> Gráfica de temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de noviembre de 2018.....	97
<b>Figura 4.17.</b> Mapa de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de noviembre de 2018. ....	98
<b>Figura 4.18.</b> Mapa de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de noviembre de 2018.....	99
<b>Figura 4.19.</b> Mapa de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de noviembre de 2018. ....	100
<b>Figura 4.20.</b> Marcha diurna comparativa de las temperaturas en las diferentes coberturas del día 09 de noviembre de 2018.....	105

### **Índice de cuadros.**

<b>Cuadro 1.1.</b> Ciudades a nivel mundial con mayor Índice Verde Urbano. ....	5
<b>Cuadro 1.2.</b> Área Verde Urbana por alcaldía en la Ciudad de México. ....	8
<b>Cuadro 1.3.</b> ANP de la CDMX por categoría de manejo.....	15
<b>Cuadro 1.4.</b> Clasificación de los Servicios Ecosistémicos Urbanos.....	19
<b>Cuadro 1.5.</b> Servicios Ecosistémicos Urbanos por región ecológica en la CDMX.....	22
<b>Cuadro 2.1.</b> Pioneros en los estudios de la ICU. ....	28
<b>Cuadro 2.2.</b> Escalas o morfología urbana de los estudios de meteorología urbana. ....	32
<b>Cuadro 2.3.</b> Diferentes escalas para el estudio de la meteorología urbana. ....	35
<b>Cuadro 2.4.</b> Principales factores del confort térmico humano.....	40
<b>Cuadro 2.5.</b> Tipos de índices de estrés térmico.....	42
<b>Cuadro 2.6.</b> Síntomas y causas de las principales enfermedades y síndromes por calor. ....	44



<b>Cuadro 4.1.</b> Matriz de contrastes de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de agosto de 2018. ....	71
<b>Cuadro 4.2.</b> Matriz de contrastes de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de agosto de 2018. ....	72
<b>Cuadro 4.3.</b> Matriz de contrastes de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de agosto de 2018. ....	73
<b>Cuadro 4.4.</b> Matriz de valores P para cada una de las comparaciones de temperaturas medias en el mes de agosto de 2018. ....	74
<b>Cuadro 4.5.</b> Matriz de contrastes de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de septiembre de 2018. ....	81
<b>Cuadro 4.6.</b> Matriz de contrastes de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de septiembre de 2018. ....	82
<b>Cuadro 4.7.</b> Matriz de contrastes de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de septiembre de 2018. ....	83
<b>Cuadro 4.8.</b> Matriz de valores P para cada una de las comparaciones de temperaturas medias en el mes de septiembre de 2018. ....	84
<b>Cuadro 4.9.</b> Matriz de contrastes de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de octubre de 2018. ....	91
<b>Cuadro 4.10.</b> Matriz de contrastes de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de octubre de 2018. ....	92
<b>Cuadro 4.11.</b> Matriz de contrastes de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de octubre de 2018. ....	93
<b>Cuadro 4.12.</b> Matriz de valores P para cada una de las comparaciones de temperaturas medias en el mes de octubre de 2018. ....	94
<b>Cuadro 4.13.</b> Matriz de contrastes de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de noviembre de 2018. ....	101
<b>Cuadro 4.14.</b> Matriz de contrastes de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de noviembre de 2018. ....	102
<b>Cuadro 4.15.</b> Matriz de contrastes de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de noviembre de 2018. ....	103
<b>Cuadro 4.16.</b> Matriz de valores P para cada una de las comparaciones de temperaturas medias en el mes de noviembre de 2018. ....	104

### **Índice de Tablas.**

**Tabla 4.1.** Temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de agosto de 2018. ....66

**Tabla 4.2.** Temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de septiembre de 2018. .76

**Tabla 4.3.** Temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de octubre de 2018. ....86

**Tabla 4.4.** Temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de noviembre de 2018. ..96

## Introducción.

En la actualidad más de la mitad de la población mundial se concentra en las ciudades, lo que implica una gran actividad antrópica en ellas la cual incluye procesos de urbanización como la edificación y pavimentación de calles, así como la generación de gases contaminantes como los Gases de Efecto Invernadero (GEI) provenientes de la industria y de motores de combustión interna; dicha situación ha ocasionado que en las zonas urbanas se incrementen las temperaturas con relación a los alrededores rurales, lo que se conoce como el efecto de Isla de Calor Urbana (ICU). Por otro lado, existen enfermedades asociadas directamente al calor, como la fatiga o los golpes por calor, pero también, éste genera un riesgo en el aumento de enfermedades por zoonosis, y en la presencia de vectores como los mosquitos *Aedes aegypti* transmisores de virus que provocan enfermedades como la fiebre amarilla, dengue, zika, y chikunguña.

En contraparte a la ICU, se ha comprobado que las áreas con algún tipo de vegetación dentro de las ciudades o Áreas Verdes Urbanas (AVU) son espacios que, entre otros servicios ecosistémicos, contribuyen a disminuir o amortiguar la temperatura en las zonas urbanas, generando el efecto de Isla de Frescor Verde (IFV). Tal es el caso del Área Natural Protegida (ANP) Bosque de Tlalpan localizada al suroeste de la Ciudad de México (CDMX), la cual cuenta con diferentes tipos de vegetación (nativos de la Cuenca de México y cultivados), de los cuales muy probablemente estemos aprovechando servicios ecosistémicos de amortiguamiento de temperatura (entre otros); a pesar de ello, no se cuentan con datos ni estudios que comprueben y cuantifiquen dichos contrastes térmicos.

En concordancia con lo anterior, la hipótesis planteada en esta investigación es la siguiente:

Los tres principales tipos de vegetación dentro del Área Natural Protegida Bosque de Tlalpan (bosque de encino, matorral xerófilo y bosque cultivado), presentan temperaturas significativamente menores respecto a los alrededores de carácter urbano, debido a la diferencia en las coberturas vegetales y de asfalto respectivamente, generando así el efecto de Isla de Frescor Verde al sur de la CDMX.

El objetivo general de esta investigación es determinar si los contrastes en la temperatura media de los tres principales tipos de vegetación dentro del Bosque de Tlalpan, son significativamente menores respecto a los alrededores urbanos. Como objetivos particulares se plantearon los siguientes:

- Instalar una microrred de sensores de temperatura en los principales tipos de vegetación el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos.
- Identificar la distribución espacial de las temperaturas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos.
- Calcular el contraste térmico entre los tres principales tipos de vegetación al interior del Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos

El contenido de la investigación está dividido en cuatro capítulos: en el primero de ellos, se realiza una revisión general del contexto de las Áreas Verdes Urbanas en la Ciudad de México, incluyendo las Áreas Naturales Protegidas, así como los diversos Servicios Ecosistémicos que de ellas aprovechamos.

En el segundo capítulo se muestra de forma introductoria, el inicio y la importancia histórica de la climatología urbana, enfocándonos a dos de los principales fenómenos climáticos en las ciudades: la ICU, y a la IFV. También se muestran las afectaciones ambientales que pueden generar los incrementos de temperatura, tanto para la biodiversidad en general, como las enfermedades que pueden padecer los seres humanos por exposición al calor.

El tercer capítulo está destinado a la caracterización geográfica de la zona de estudio: el Área Natural Protegida Bosque de Tlalpan; así como la descripción de la estrategia metodológica, métodos e instrumentos utilizados en esta investigación.

En el cuarto y último capítulo se muestran los resultados obtenidos del monitoreo de temperatura al interior del Bosque de Tlalpan y en los alrededores urbanizados de la Ciudad de México, incluyendo los contrastes, mapas de temperatura, y pruebas estadísticas que dieron sustento a los objetivos de esta investigación.

El actual trabajo pretende servir como un antecedente en el monitoreo de temperaturas al interior de las ANP y demás AVU de la Ciudad de México, así como en la cuantificación de los servicios ecosistémicos que aprovechamos de ellas.

## 1. Áreas Verdes Urbanas y Áreas Naturales Protegidas en la Ciudad de México: servicios ecosistémicos en las ciudades.

En este capítulo, se realizó una revisión teórica y conceptual de las Áreas Verdes Urbanas en general, y en particular de las ubicadas dentro de la Ciudad de México, centrando la atención en aquellas con alguna categoría de protección como las Áreas Naturales Protegidas. Por último, se verificó la importancia de los diferentes beneficios que aprovechamos de estos espacios en las ciudades, conocidos como Servicios Ecosistémicos Urbanos.

### 1.1 Áreas Verdes Urbanas: contexto general y particular de la Ciudad de México

A través del tiempo y en distintas sociedades, es posible observar que los asentamientos humanos y su arquitectura han estado completamente relacionados con el ajardinamiento o diseño de espacios con vegetación dentro de las ciudades; ya sean estas áreas un relicto de los ecosistemas originarios del lugar, o hayan sido cultivadas, han cumplido con alguna funcionalidad para las personas y las ciudades mismas (Jones, 2018; Melo, 2002; Segura, 2005). Actualmente dichos espacios son nombrados como Áreas Verdes Urbanas (AVU), definidas como todos aquellos espacios públicos o privados dentro de las ciudades o zonas urbanas que contengan algún elemento de vegetación, lo cual comprende una gran heterogeneidad de espacios que van desde los que tienen alguna categoría de protección, hasta parques urbanos, barrancas, camellones, cementerios y jardines en casas particulares (GDF, 2017; PAOT, 2018; SEDEMA, 2016).

Ejemplos de AVU se han observado en Egipto (~1,300 a. c.), Asiria (~1,100 a. c.), y Mesoamérica (~1,400 d. c.); tal vez siendo uno de los casos históricos más conocidos el de los jardines colgantes de Babilonia (~600 a. c) (Jones, 2018; Melo, 2002). En sus orígenes, la mayoría de AVU eran remanentes de bosques de propiedad privada, principalmente utilizadas para actividades de caza y entretenimiento de la realeza que gobernaba cada lugar, sin embargo, en Europa a partir del siglo XV, varios de estos espacios vedados se transformaron

en lugares públicos, como es el caso de los Parques Reales en Londres, y la ahora Plaza de los Vosgos en París, siendo ésta última considerada como uno de los primeros parques urbanos creados para el beneficio de la población en las ciudades (Jones, 2018).

La transformación de espacios privados a públicos enfocados al esparcimiento de la población en las ciudades, cobró mayor auge tras la independencia de las 13 colonias en Norteamérica, y la revolución francesa de finales del siglo XVIII (Pötz, s/a; Valdés y Foulkes, 2016). Para la segunda mitad del siglo XIX, tras la creciente urbanización resultado de la industrialización de la época, en Estados Unidos se comenzó a prestar atención a la relación entre las AVU y la salud de las personas, de tal forma que se crearon diversos parques urbanos en diferentes ciudades con la finalidad de mejorar la calidad de vida de sus habitantes (Flores y González, 2010; Pötz, s/a).

Así, durante el siglo XX las AVU continuaron cobrando relevancia, principalmente tras los movimientos ecologistas de la segunda mitad del siglo que derivaron en esfuerzos internacionales, tales como el surgimiento del término Servicios Ecosistémicos (SE) en la década de 1970 que tuvo la finalidad de incluir a la naturaleza dentro de la lógica económica mundial (Mora *et al*, 2012); la primera conferencia sobre asentamientos urbanos Hábitat I en 1976 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), donde se plantearon diversos retos para el desarrollo urbano y la salud de las personas (ONU-Habitat, s/a); la publicación del reporte “Nuestro futuro común” (o Informe Brundtland) en 1987, en el que el concepto de desarrollo sostenible cobró relevancia mundial, y desde entonces la ONU ha publicado diversos objetivos para llevarlo a cabo, actualmente conocidos como los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, en los que queda patente la importancia de las AVU para enfrentar las problemáticas ambientales en las ciudades que contribuyen al cambio climático y al deterioro de la salud de las personas (Reyes y Gabriel, 2018); y la incorporación de los recurso naturales de forma integral en las políticas públicas y de ordenamiento territorial en las ciudades a partir de la década de 1990, por medio del concepto de Infraestructura Verde (IV) (Valdés y Foulkes, 2016).

El tema de los SE urbanos se tratará más ampliamente en los siguientes subcapítulos, sin embargo, podemos mencionar que las AVU son un pilar fundamental para la salud ambiental, y el desarrollo sostenible en las ciudades (Jennings *et al*, 2017; Ojeda, 2021).

Por otro lado, la importancia de las AVU en el desarrollo de las ciudades también ha dado origen a diversos índices como el Índice de Panorama Verde (IPV), el cual calcula el porcentaje de cobertura de árboles en una ciudad; y el Índice Verde Urbano (IVU) el cual indica la cantidad de área verde por habitante (m<sup>2</sup>/hab.) en las ciudades. Diversas instituciones y autores mencionan que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda 9 m<sup>2</sup>/hab. como mínimo para que las personas en las ciudades puedan gozar de un ambiente sano; de 10 a 15 m<sup>2</sup>/hab. como lo recomendable; y 50 m<sup>2</sup>/hab. lo deseable (Green Peace, 2021; SEDEMA, 2016; Sorensen *et al*, 1998; Xolocotzi, 2017). En algunas regiones del mundo, como Asia, Europa y EE. UU., se ha incrementado la cantidad y calidad de las AVU en algunas ciudades, sin embargo, para el caso de regiones como Latinoamérica, el crecimiento urbano sin planificación representa un reto para lograr tal cometido (Maldonado *et al*, 2019). En el Cuadro 1.1 se muestran algunas de las ciudades a nivel mundial con mayor área verde por habitante.

**Cuadro 1.1.** Ciudades a nivel mundial con mayor Índice Verde Urbano.

Posición a nivel mundial	País	Ciudad	Índice Verde Urbano (IVU) (m <sup>2</sup> /hab.)
1	Islandia	Reikiavik	410,84
2	Nueva Zelanda	Auckland	357,2
3	Eslovaquia	Bratislava	332,87
4	Suecia	Gotemburgo	313,87
5	Australia	Sídney	235,73
6	República Checa	Praga	220,54

7	Italia	Roma	166,47
8	Suiza	Berna	131,73
9	Alemania	Hamburgo	114,07
10	Letonia	Riga	113,04

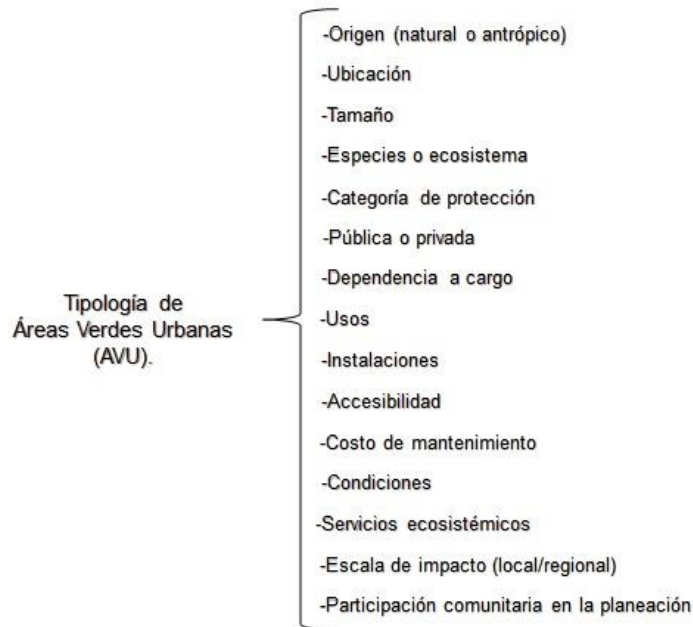
Fuente: elaborado con base en Statista (s/a).

La actual definición de las AVU incluye una gran variedad de espacios con vegetación, por lo que hoy en día además de la cantidad de área verde por habitante, se ha prestado atención a otros aspectos en relación al tema, como las condiciones en las que se encuentran, la accesibilidad a las mismas, y la participación comunitaria en la planeación urbana (Geneletti *et al*, 2020; Reyes y Gabriel, 2018; Sorensen *et al*, 1998; Valdés y Foulkes, 2016). En el primer caso, la amplia heterogeneidad de espacios considerados como AVU, implica que la vegetación presente, así como las condiciones en las que se encuentra, variarán dependiendo el lugar, y por lo tanto, también lo hará la cantidad y la calidad de los SE que aprovechamos de ellas. El segundo caso tiene relación con la distribución desigual de las AVU en las ciudades, ocasionando que el acceso a ellas sea más restringido para algunos sectores de la población. El tercer caso está relacionado con el anterior, ya que las AVU planificadas entre autoridades y la comunidad en general, atienden más adecuadamente las necesidades de la población, lo que les permite tener mejor accesibilidad a las mismas, de tal forma que puedan disfrutar de un ambiente más sano y una mejor calidad de vida (Geneletti *et al*, 2020; Reyes y Gabriel, 2018; Sorensen *et al*, 1998).

Además de la cantidad, sus condiciones, accesibilidad y participación comunitaria en la planeación urbana, existen otros aspectos que de igual manera se deben tener en consideración para poder generar una tipología de las AVU, como son el origen, uso, si tienen alguna categoría de protección, si son públicas o privadas, el tipo de SE que aprovechamos de ellas, etc. (Figura 1.1).



**Figura 1.1.** Tipología de las Áreas Verdes Urbanas.



Fuente: elaborado con base en Jones (2018); Ojeda (2021); Reyes y Gabriel (2018); Sorensen *et al* (1998); Valdés y Foulkes (2016).

Para el caso de México, los inventarios de las AVU se han generado principalmente a nivel local, por lo que no se cuenta con un panorama generalizado del IVU en el país; sin embargo, si tomamos como referencia la superficie verde por habitante de las tres ciudades más grandes: Ciudad de México (CDMX): 12.9 m<sup>2</sup>/hab.; Guadalajara: 3.05 m<sup>2</sup>/hab.; y Monterrey: 3.91 m<sup>2</sup>/hab. (SEMARNAT, s/a), tendríamos un promedio de 6.62 m<sup>2</sup>/hab., lo cual se encuentra por debajo de lo recomendado.

En la Ciudad de México la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) en conjunto con distintas instituciones, han elaborado en diferentes momentos, tres principales inventarios de AVU: en el año 2002 junto con el CentroGEO; en 2010 junto con la Procuraduría Ambiental y Ordenamiento Territorial (PAOT) y la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH); y el más reciente en 2017 junto con el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (Núñez, 2021; SEDEMA, 2017a). En este último, se indica que el IVU en la CDMX corresponde a 7.54 m<sup>2</sup>/hab.; sin embargo, teniendo en consideración el último censo de población (INEGI, 2020), el IVU ha disminuido a 7.3 m<sup>2</sup>/hab. siendo Miguel Hidalgo la Alcaldía con el mayor valor: 13.5 m<sup>2</sup>/hab.;

y Benito Juárez la de menor valor: 2.1 m<sup>2</sup>/hab. En el Cuadro 1.2 podemos observar la cantidad de m<sup>2</sup>/hab. de área verde por alcaldía, así como la distribución de las AVU en la CDMX en la Figura 1.2.

**Cuadro 1.2.** Área Verde Urbana por alcaldía en la Ciudad de México.

Alcaldía	Habitantes	Superficie Área Verde Urbana (AVU) (m <sup>2</sup> )	Índice Verde Urbano (IVU) (m <sup>2</sup> /hab.)
Azcapotzalco	432,205	3,980,866.7	9.210598443
Coyoacán	614,447	9,157,547.7	14.9037227
Cuajimalpa de Morelos	217,686	2,048,957.7	9.412445908
Gustavo A. Madero	1,173,351	7,851,619.6	6.691620495
Iztacalco	404,695	1,944,289.0	4.804331657
Iztapalapa	1,835,486	9,834,858.6	5.358176853
La Magdalena Contreras	247,622	1,335,114.4	5.391743868
Milpa Alta	152,685	309,724.0	2.028516226
Álvaro Obregón	759,137	4,913,463.7	6.472433434
Tláhuac	392,313	3,054,084.7	7.78481646
Tlalpan	699,928	6,530,744.7	9.330595004
Xochimilco	442,178	2,092,259.6	4.731713473
Benito Juárez	434,153	929,230.8	2.140330252
Cuauhtémoc	545,884	1,915,961.0	3.509831759

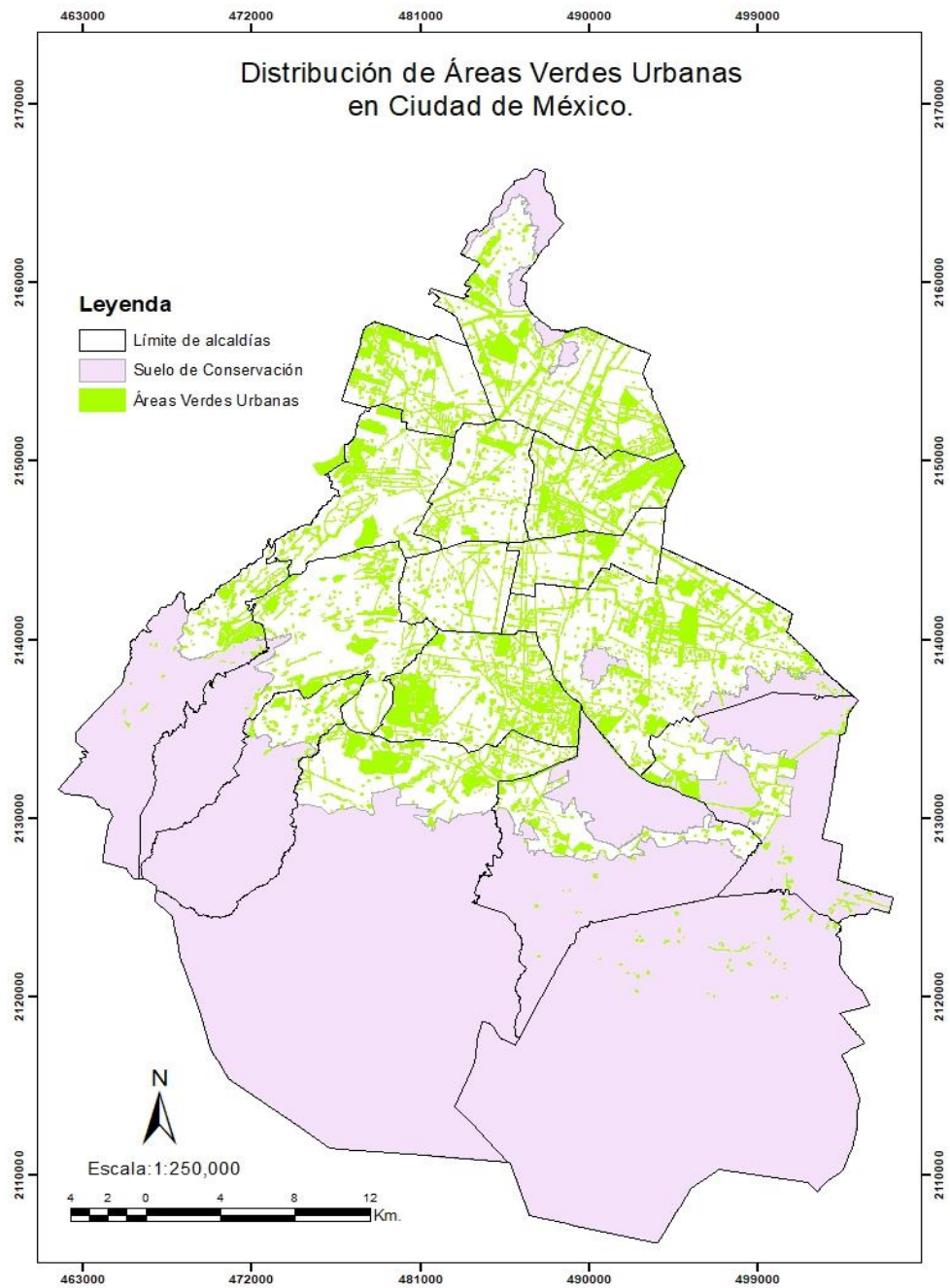
<b>Miguel Hidalgo</b>	414,470	5,607,701.5	13.52981277
<b>Venustiano Carranza</b>	443,704	5,805,150.1	13.08338464
<b>Total (CDMX)</b>	9,209,944	67,311,573.8	7.308575796

Fuente: elaborado con base en (INEGI, 2020); (SEDEMA, 2017a).

Como se ha mencionado, además de la cantidad de AVU, existen otras características que se deben considerar para el estudio de las mismas, y en ese sentido, las AVU de la CDMX cuentan con una categorización por parte de la SEDEMA (Figura 1.3).

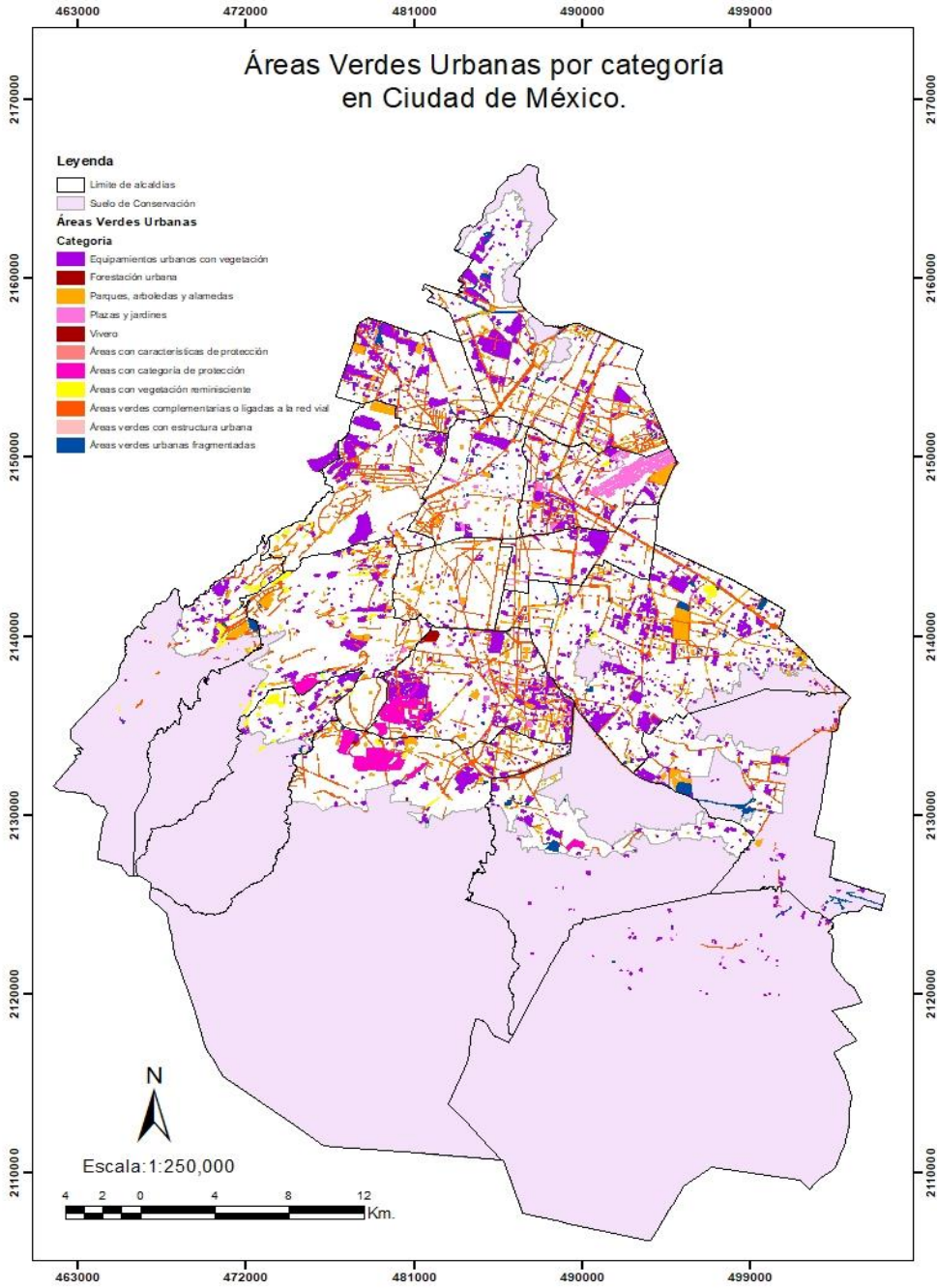
Dentro de las AVU se encuentran aquellas con alguna categoría de protección, tal es el caso del Bosque de Tlalpan, sitio de estudio de esta investigación, el cual está considerado como un Área Natural Protegida de la CDMX, tema que se abordará en el siguiente subcapítulo.

**Figura 1.2.** Distribución de las Áreas Verdes Urbanas en la Ciudad de México.



Fuente: elaborado con base en SEDEMA, 2020a

Figura 1.3. Categorías de las Áreas Verdes Urbanas en la Ciudad de México.



Fuente: elaborado con base en SEDEMA, 2020a.

## 1.2 Áreas Naturales Protegidas en la Ciudad de México

La actual Ciudad de México (CDMX) es históricamente, por lo menos a partir del siglo XIV con la fundación de Tenochtitlan, el principal centro poblacional, económico, político y cultural del territorio mexicano y, por lo tanto, la historia de la protección de espacios naturales en esta entidad está estrechamente relacionada con la del país mismo.

Los inicios de la protección de espacios naturales en la CDMX se pueden remontar al siglo XV con la creación de áreas verdes en Tenochtitlan por parte de Moctezuma Xocoyotzin y, posteriormente, la protección que Carlos V otorgó al Bosque de Chapultepec en el siglo XVI, o la creación del primer parque urbano de la capital: la Alameda Central (CONABIO y SEDEMA, 2016; Melo, 2002). Para principios del siglo XX también es posible encontrar la creación de viveros en la ciudad, como es el caso de los Viveros de Coyoacán; sin embargo, se considera el decreto mismo del Desierto de los Leones, primeramente, en 1876 como Reserva Nacional, y posteriormente en 1917 como Parque Nacional, como la primera ANP de la CDMX (CONABIO y SEDEMA, 2016; Melo, 2002).

Durante las siguientes décadas en la CDMX no se declararon más espacios protegidos y los esfuerzos de conservación se concentraron en otras herramientas de gestión ambiental como los jardines botánicos, los zoológicos e invernaderos, como es el caso del zoológico de Chapultepec; sin embargo, el establecimiento de ANP en la ciudad (y en el país) se reactiva durante el periodo presidencial de Lázaro Cárdenas (1934-1940), cuando dentro de la entidad se decretaron siete Parques Nacionales: Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla y Fuentes Brotantes, ambos en 1936; El Tepeyac en 1937; Lomas de Padierna y Cerro de la estrella en 1938; y Cumbres del Ajusco en 1947, quedando bajo protección 5,281 ha. de su territorio (CONABIO y SEDEMA, 2016; SEDEMA, 2017b). Es importante mencionar que hasta este momento las ANP decretadas en la CDMX son de administración federal, situación que cambiaría al sumarse a estas últimas las ANP que comenzarían a ser decretadas a nivel local, bajo la administración del Gobierno de la CDMX (antes Departamento del Distrito Federal o DDF) y, actualmente, a nivel de alcaldía.

Adicionalmente a la creación de ANP en la entidad, para el año 1947 Miguel Alemán decretó veda forestal total e indefinida de recuperación de los bosques de la CDMX y del Estado de México, siendo levantada en ésta última en 1970, pero continuando vigente en la capital del país (CONABIO y SEDEMA, 2016).

A partir de la década de 1970 la Ciudad de México experimenta un acelerado crecimiento demográfico, consecuencia de las políticas de desarrollo implementadas al término de la Segunda Guerra Mundial, con la finalidad de atraer a la población rural hacia las ciudades y así poder llevar a cabo un proceso de urbanización en todo el país (Martínez, s/a). Debido a tal situación, se promulgaron en el entonces DF la Ley de Desarrollo Urbano en 1976, con el objeto de planificar los usos del territorio y el desarrollo urbano y, posteriormente, el Plan Director de Desarrollo Urbano en 1978, y el Programa General de Desarrollo Urbano en 1982, este último en el cual por primera vez se comienza a establecer una zonificación de dos zonas del uso de suelo en la entidad: la de desarrollo urbano, y la de conservación ecológica, las cuales con el tiempo adquirirían sus nombres actuales: suelo urbano y suelo de conservación (CONABIO y SEDEMA, 2016; GDF, 1976).

Es de destacar también el esfuerzo que las universidades públicas han realizado en materia de conservación de la naturaleza, y no sólo por medio de la investigación y difusión del conocimiento, sino por la protección misma de espacios, como es el caso de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) creada en 1983 en Ciudad Universitaria bajo el esfuerzo de alumnos, investigadores y autoridades de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); por otro lado, la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) en 1984 funda el Parque Ecológico los Coyotes, destinada en un principio como escuela ecológica comunitaria, y que actualmente constituye el Zoológico Los Coyotes, que, a diferencia de los demás zoológicos en la CDMX, alberga principalmente especies nativas de la Cuenca de México (CONABIO y SEDEMA, 2016; GDF, 1976).

Para el año de 1983, la institución encargada de los temas de conservación ecológica en la ciudad, incluyendo la protección de espacios, era la recién creada Secretaría General de Desarrollo Urbano y Ecología que, años más tarde, en 1989, sería sustituida por la Dirección General de Reordenación

Urbana y Protección Ecológica (CONABIO y SEDEMA, 2016; GDF, 1976). Trece años más tarde, con la publicación de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal (LOAPDF) en 1998, se crea la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA, antes SMA), dependencia encargada de los asuntos relacionados al ambiente en la CDMX, entre los que figura establecer y coordinar lineamientos y acciones de protección, conservación y restauración de las ANP (CONABIO y SEDEMA, 2016; GDF, 2010).

Para inicios del siglo XXI la protección al ambiente, incluyendo las ANP, se vieron sustentadas en un marco jurídico con la creación en el año 2000 de la Ley Ambiental del Distrito Federal, la cual en 2013 cambió de nombre a Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal (LAPTF) (GDF, 2000; GDF, 2017). Además, también se estableció el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, herramienta que permitió un avance en la zonificación y planificación territorial (CONABIO y SEDEMA, 2016).

Tanto la creación de la SEDEMA, como el sustento jurídico que proporciona la LAPTF, permitieron que las ANP en la Ciudad de México cobraran mayor relevancia, creando así instrumentos indispensables para la gestión de las mismas, como son el Sistema Local de Áreas Naturales Protegidas (SLANP) en 2005, el cual está administrado por la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales (DGCORENA) (perteneciente a la SEDEMA); y la creación en 2010 del Plan Rector de las Áreas Naturales Protegidas del Distrito Federal (GDF, 2010).

A la par de lo anterior, a partir del año 2000 en la Ciudad de México se han diseñado diversas unidades administrativas e instrumentos que complementan a las ANP, tales como la Unidad de Bosques Urbanos, las Áreas de Valor Ambiental (AVA), los inventarios de las AVU, el Programa de Fondos de Apoyo para la Conservación y Restauración de los Ecosistemas a través de la Participación Social (PROFACE), y la Norma Ambiental para el Distrito Federal (NADF-006-RNAT-2004).

Actualmente, en la Ciudad de México existen siete categorías de manejo, quedando bajo protección 21,052.01 ha. (más del 14% de superficie de la CDMX), en un total de 24 Áreas Naturales Protegidas; siendo los Parques



Nacionales la única categoría de ANP Federal presente en la ciudad (SEDEMA, 2017b) (Cuadro 1.3).

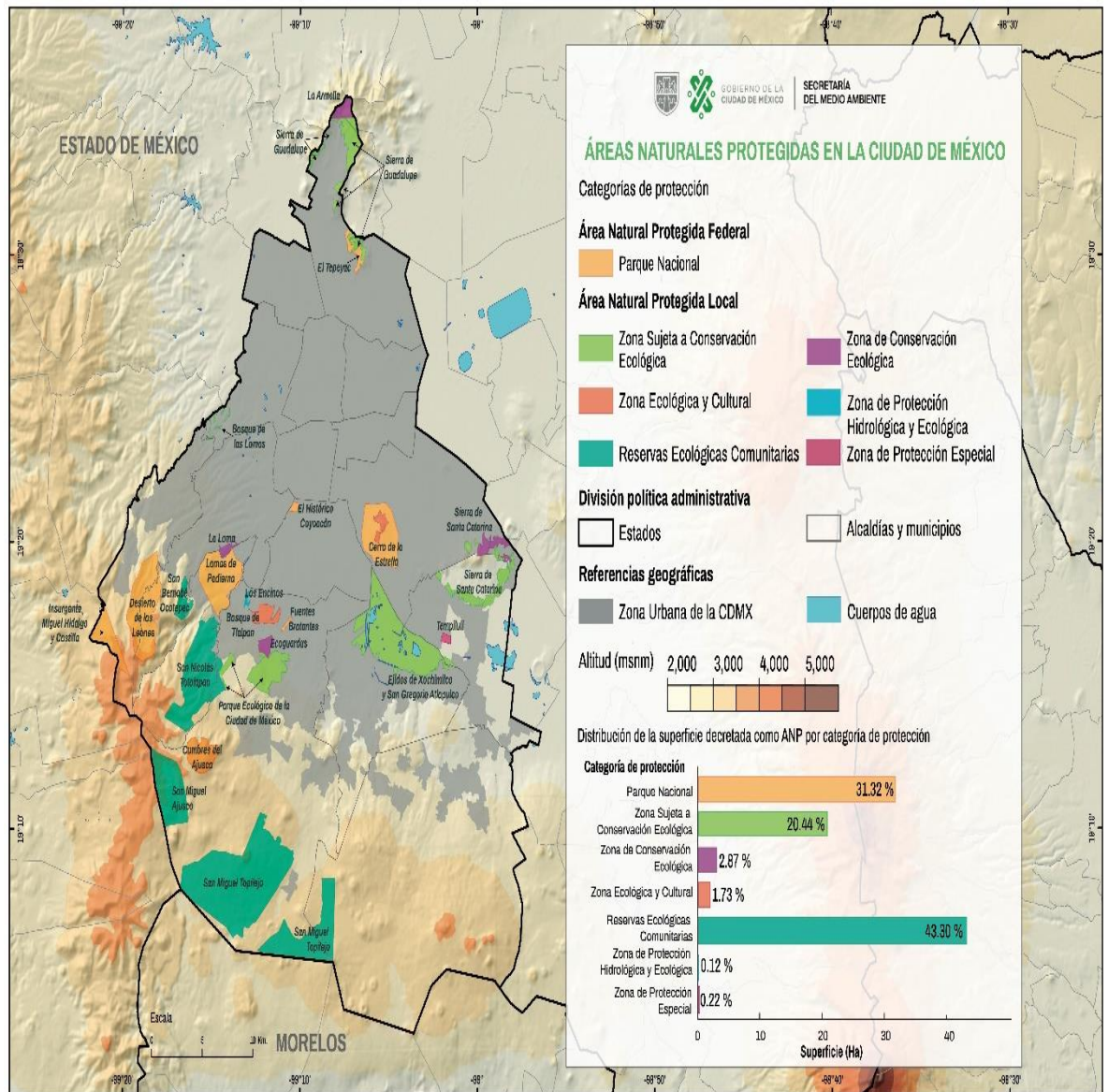
De igual forma, en la Figura 1.4 se muestra la distribución espacial de dichas áreas.

**Cuadro 1.3.** ANP de la CDMX por categoría de manejo.

<b>Categoría</b>	<b>Número de ANP</b>	<b>Superficie total (ha)</b>	<b>Administración</b>	<b>Sustento legal</b>
Parque Nacional	7	6,184	Federal	LGEEPA
Zona Sujeta a Conservación Ecológica	5	4,438.12	Gobierno de la CDMX	LAPTDF
Zona de Conservación Ecológica	4	623.89	Gobierno de la CDMX	LAPTDF
Zona Ecológica y Cultural	2	374.63	Gobierno de la CDMX	LAPTDF
Reserva Ecológica Comunitaria	4	9,401.36	Ejidal y Comunal	LAPTDF
Zona de Protección Hidrológica y Ecológica	1	25.01	Gobierno de la CDMX	LAPTDF
Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica*	1	5	Gobierno de la CDMX	LAPTDF
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>21,052.01</b>		

Fuente: elaborado con base en SEDEMA, 2017b.

**Figura 1.4.** Distribución de Áreas Naturales Protegidas en la Ciudad de México.



Fuente: SEDEMA 2020b.

### 1.3 Servicios Ecosistémicos Urbanos

El concepto de Servicios Ecosistémicos (SE) surgido en la década de 1970, se define como aquellos beneficios directos o indirectos que las personas aprovechamos del funcionamiento de los ecosistemas, y que forman parte importante del mantenimiento de las sociedades; (Costanza *et al*, 1997; Daily, 1997; MEA, 2005; TEEB, 2010). Costanza *et al* (1997) mencionan que existen las funciones de los ecosistemas (que son los procesos naturales en sí); los bienes de los ecosistemas (la utilización directa de los ecosistemas); y los servicios de los ecosistemas (utilización indirecta), y que realmente el término de SE incluye a estos dos últimos.

Autores como Meral (2005), y Mora *et al* (2012) indican que la evolución del concepto de SE, se puede abordar en tres etapas: 1) De 1970 a 1997: se considera que el primer documento científico que menciona el término SE es el generado en 1970 por el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT en inglés) “*Study of Critical Environmental Problem*”; además de llevarse a cabo diversas conferencias ambientales por parte de la ONU; 2) De 1997 a 2005: En el año 1997 surgen dos publicaciones en las cuales el término de SE se utiliza más claramente: “*Nature services*” de Daily; y “*The value of world’s ecosystem services and natural capital*” de Costanza *et al*; también, en el año 2002 diversos autores comenzaron a incorporar el término de Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE), con la finalidad de reconocer el valor económico de los mismos; 3) De 2005 a la fecha: en el año 2005 se llevó a cabo el esfuerzo internacional llamado Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM), en la que se realizó una valoración de las condiciones y tendencias de los ecosistemas y los SE que de ellos aprovechamos. Desde de entonces, la EM se considera como un parteaguas para el estudio de los SE.

Para poder incluir los SE dentro de planes de ordenamiento territorial y esquemas de PSE, es necesario conocer los diferentes tipos de SE que existen, su cuantificación y su traducción monetaria (Costanza *et al*, 1997).

La tipología de SE más reciente (2010), es la que presenta *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB), la cual comprende cuatro grandes grupos:

1) Aprovechamiento: obtención directa de comida, agua, materias primas,

recursos genéticos, medicinales y ornamentales; 2) Culturales y amenidades: proveen información estética, y espacios de recreación y turismo, de inspiración para la cultura, el arte y el diseño, como experiencia espiritual, e información para el desarrollo cognitivo; 3) Hábitat: proveen el espacio adecuado para los ciclos biológicos de especies migratorias y el mantenimiento de diversidad genética; 4) Regulación: regulan la calidad del aire, el clima, los fenómenos naturales extremos, los flujos y calidad del agua; ayudan al tratamiento de residuos, la prevención de erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo, a la polinización y al control biológico. Esta clasificación tiene como base la realizada por diversos autores (Costanza *et al*, 1997; De Groot *et al*, 2002), y la publicada en la EM (2005), pero con la diferencia que en la tipología TEEB, se incluye la categoría de hábitat en sustitución de los servicios de soporte, que son considerados como un subconjunto de los procesos ecológicos mismos.

En la actualidad, el PSE se ha presentado como un esquema que incluya a los SE dentro de la lógica económica, el cual consiste en que los usuarios de los SE (gobierno, sector privado, organizaciones no gubernamentales, fundaciones, etc.) otorgan una retribución monetaria a las personas o comunidades que optan por conservar los ecosistemas o espacios que proveen los servicios, en lugar de hacer un uso directo de los recursos (CONAFOR, s/a; Fallas y Molina, 2017) (TEEB, 2010).

Para poder tener mayor certeza en el PSE, es necesario saber la cantidad de SE que se está aprovechando para así poder asignarle un valor económico. A pesar de que existen diversos esfuerzos internacionales en el monitoreo de la biodiversidad y de los ecosistemas, como tal, en cuanto a la cuantificación de los SE hay poca información disponible (Tallis *et al*, 2012), sin embargo, el desarrollo metodológico, los avances tecnológicos en los instrumentos de medición, y el uso de herramientas como la percepción remota, han permitido abrir camino en el conocimiento de la magnitud de los diversos SE que aprovechamos como sociedad (Gómez-Baggethun y Barton, 2012; Tallis *et al*, 2012).

En el caso específico de las ciudades y su zona de influencia, los beneficios que aprovechamos de los ecosistemas son llamados Servicios Ecosistémicos Urbanos (SEU), los cuales presentan ciertas especificidades en comparación con el concepto tradicional de los SE.

Los SEU se definen como todos aquellos beneficios que aprovechamos, no sólo de los ecosistemas como tal, sino de todas las AVU en las ciudades (Dobbs *et al*, 2019; Gómez-Baggenhum y Barton, 2012).

En cuanto al estudio de los SEU, Dobbs *et al* (2019) indican que es a partir del inicio del nuevo milenio, que las investigaciones respecto a los SEU se han incrementado en el mundo; pero también hacen notar que la mayor parte de los trabajos corresponden a ciudades en países desarrollados, mientras que en América Latina y el Caribe se ha prestado mucho menor atención al tema.

La clasificación de los SEU atiende a los cuatro principales grupos de SE: aprovisionamiento, culturales y amenidades, hábitat, y regulación, sin embargo, presentan ciertas particularidades que se presentan en el Cuadro 1.4.

**Cuadro 1.4.** Clasificación de los Servicios Ecosistémicos Urbanos.

Servicio Ecosistémico Urbano (SEU)	Funciones/componentes de los ecosistemas	Ejemplo del SEU	Ejemplo de indicador del SEU
Provisión de alimento	La energía se transforma en plantas comestibles por medio de la Fotosíntesis	Vegetales derivados de las parcelas urbanas y periurbanas	Producción de comida (toneladas año <sup>-1</sup> )
Regulación del flujo de agua y mitigación de la escorrentía	Filtración y regulación de la escorrentía y la descarga de ríos	El suelo y vegetación ayuda la infiltración de agua durante lluvias prolongadas	Capacidad de infiltración del suelo: porcentaje de suelo permeable sellado (ha.)
Regulación de temperatura urbana	Fotosíntesis, generación de sombra y evapotranspiración	La vegetación urbana produce sombra, humedad y bloquean el viento	Índice de área foliar; disminución de temperatura por cobertura arbórea por m <sup>2</sup> de parcela cubierta (°C)

Reducción de ruido	Absorción de ondas sonoras por medio de la vegetación y el agua	La vegetación que sirve como barrera, absorbe las ondas sonoras	Área foliar (m <sup>2</sup> ) y distancia a los caminos (m); reducción de ruido dB (A)/unidades de vegetación (m)
Purificación del aire	Filtrado y fijación de gases y materia particulada	La vegetación urbana absorbe y fija, por medio de sus hojas, tallos y raíces, contaminantes en la atmósfera	O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, y remoción de PM <sub>10</sub> µm (toneladas año <sup>-1</sup> ) multiplicado por cubierta arbórea (m <sup>2</sup> )
Moderación de eventos extremos	Barreras físicas y absorción de energía cinética	La vegetación que sirve como barrera para amortiguar olas de calor, tormentas, inundaciones, oleaje, etc.	Densidad de cobertura de barreras vegetales que separen el área de edificaciones, y el mar
Tratamiento de residuos	Eliminación o avería de nutrientes de cultivo xénico	Los humedales urbanos ayudan la filtración de aguas residuales y fijación de nutrientes	P, K, Mg y Ca en mg/kg <sup>-1</sup> , comparado con los estándares de calidad del suelo y agua
Regulación climática	Captura y fijación de carbono en la fotosíntesis	La vegetación urbana ayuda a la captura y almacenamiento de carbono	Captura de carbono por parte de los árboles (conversión de carbono a CO <sub>2</sub> , multiplicándolo por 3.67).
Polinización y dispersión de semillas	Transporte de gametos florales por medio de la biota	Los ecosistemas urbanos proveen hábitat para aves,	Diversidad de especies y

		insectos y polinizadores	abundancia de aves y abejorros
Recreación y desarrollo cognitivo	Ecosistemas con valores recreacionales y educativos	Los parques urbanos proveen espacios para la recreación, meditación, y para la educación	Superficie de Áreas Verdes Urbanas (ha)/habitante (o cada mil habitantes)
Avistamiento de fauna	Provisión de hábitat para especies animales	Las Áreas Verdes Urbanas proveen el hábitat para aves y demás fauna, lo que favorece las actividades de avistamiento	Abundancia de aves, mariposas y otros animales valorados por sus atributos estéticos

Fuente: elaborado con base en Dobbs *et al*, 2019; Gómez-Baggenthum y Barton, 2012.

Debido a la complejidad de las ciudades y su zona de influencia, es necesario mencionar que la generación, importancia, accesibilidad y consumo de los SEU, responderán a los contextos geográficos y socioeconómicos de cada lugar (Gómez-Baggenthum y Barton, 2012; Inostroza *et al* 2020). Al respecto, Inostroza *et al* (2020) mencionan que inclusive dentro de las mismas ciudades existen diferencias en cuanto a la percepción de la población respecto de la importancia de alguno de los SEU: mientras que los habitantes de las zonas periurbanas pueden apreciar más la provisión de alimentos y materias primas, en los centros de las ciudades las personas pueden valorar más los servicios culturales y de recreación.

Para el caso de la CDMX, en el año 2016 y como insumo fundamental para la creación de la Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México (ECUSBE-CDMX), se elaboró la obra *Biodiversidad de la Ciudad de México*, en la que la Sección 8 del Volumen III se enfocó al análisis de los SEU (Perdomo-Velázquez, 2016). Dicho documento representa un gran esfuerzo en compilar gran parte de la información disponible en cuanto a los SEU en la CDMX, incluyendo reseñas históricas, los diferentes tipos, así como su presencia por región ecológica (Cuadro 1.5).

**Cuadro 1.5.** Servicios Ecosistémicos Urbanos por región ecológica en la CDMX.

Servicio Ecosistémico Urbano		Región ecológica					
Categoría	Tipo	Bosques y cañadas	Humedales de Xochimilco y Tláhuac	Parques y Jardines Urbanos	Serranías de Xochimilco y Milpa Alta	Sierra de Guadalupe	Sierra de Santa Catarina
Soporte	Hábitat	X	X	X	X	X	X
	Ciclo del agua	X	X		X		
	Productividad primaria	X	X		X		
	Formación y retención del suelo	X			X		
Provisión	Alimento	X	X		X		
	Agua dulce	X	X		X		X
	Recursos maderables y no maderables	X			X		
	Recursos genéticos	X	X		X	X	
	Clima	X	X	X	X	X	X

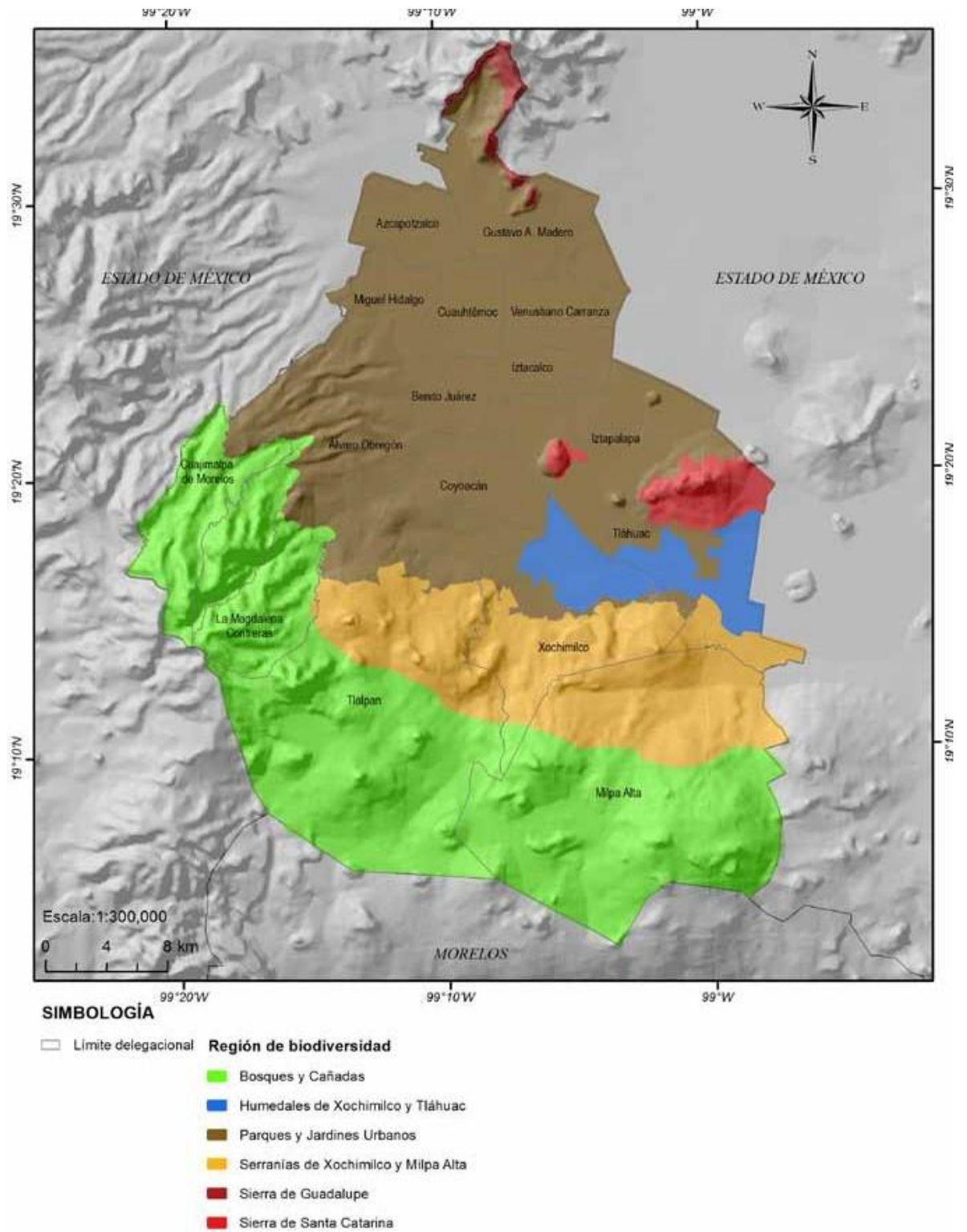


Regulación	Calidad del aire	X		X		X	
	Calidad del agua	X					
	Flujos de agua	X			X		X
Cultural	Culturales	X	X		X		
	Valor espiritual y religioso	X	X	X	X	X	X
	Recreación y ecoturismo	X	X	X	X	X	X

**Nota:** La "X" marca la región de la que aprovechamos los servicios. Fuente: elaborado con base en Perdomo-Velázquez, 2016.

Del Cuadro 1.5, podemos observar que la región que presenta mayor cantidad de SEU es la de Bosques y Cañadas, sin embargo, la región de Parques Urbanos es donde se encuentra la mayor parte de la población en la CDMX (Figura 1.5), por lo que posiblemente esta sea el lugar donde la mayor parte de los SEU sean aprovechados. Por otro lado, también es importante mencionar que además de los SEU de Valor espiritual y religioso, y Recreación y turismo, el SEU presente en todas las regiones ecológicas es el de Regulación del clima, el cual está directamente relacionado con el siguiente capítulo de esta investigación.

**Figura 1.5.** Regiones ecológicas en la Ciudad de México.



Nota: el autor hace uso indistinto de los términos “región ecológica” y “región de biodiversidad”.

Fuente: Perdomo-Velázquez 2016.

## 2. Climatología urbana: isla de calor e isla de frescor y sus consecuencias ambientales.

En este capítulo se realizó una revisión teórica y conceptual en relación a la Climatología urbana. En primera instancia, se abordó el efecto de Isla de Calor Urbana, derivado del incremento de temperatura en las ciudades; y posteriormente se revisó el tema del efecto de la Isla de Frescor Verde, generado por las Áreas Verdes Urbanas. Por último, se verificó la importancia de dichos efectos en la salud ambiental en las ciudades.

### 2.1 Isla de Calor Urbana

Dentro de la ciencia geográfica, la Climatología se considera una rama de la Geografía Física y estudia las condiciones promedio de variables atmosféricas en un sitio sobre la superficie terrestre en un periodo largo, así como sus variaciones y extremos, y su influencia sobre diferentes actividades biológicas y humanas (Bastien, 2018; Landsberg, 1964; Landsberg y Oliver, 2005; WMO, s/a).

De acuerdo con la extensión horizontal de los fenómenos atmosféricos, la Climatología se clasifica en tres diferentes escalas espaciales: el macroclima (fenómenos de decenas hasta cientos de kilómetros); el mesoclima o clima regional (de uno a decenas de kilómetros); y el microclima o clima local (escalas menores a un kilómetro) (Geiger, 1950; Jáuregui, 1971). El clima de las ciudades o Climatología urbana, como subrama de la Climatología, se localiza dentro de las escalas meso y microclimática, y su surgimiento va de la mano con el calentamiento artificial de las ciudades y el descubrimiento mismo del efecto de la Isla de Calor Urbana (ICU).

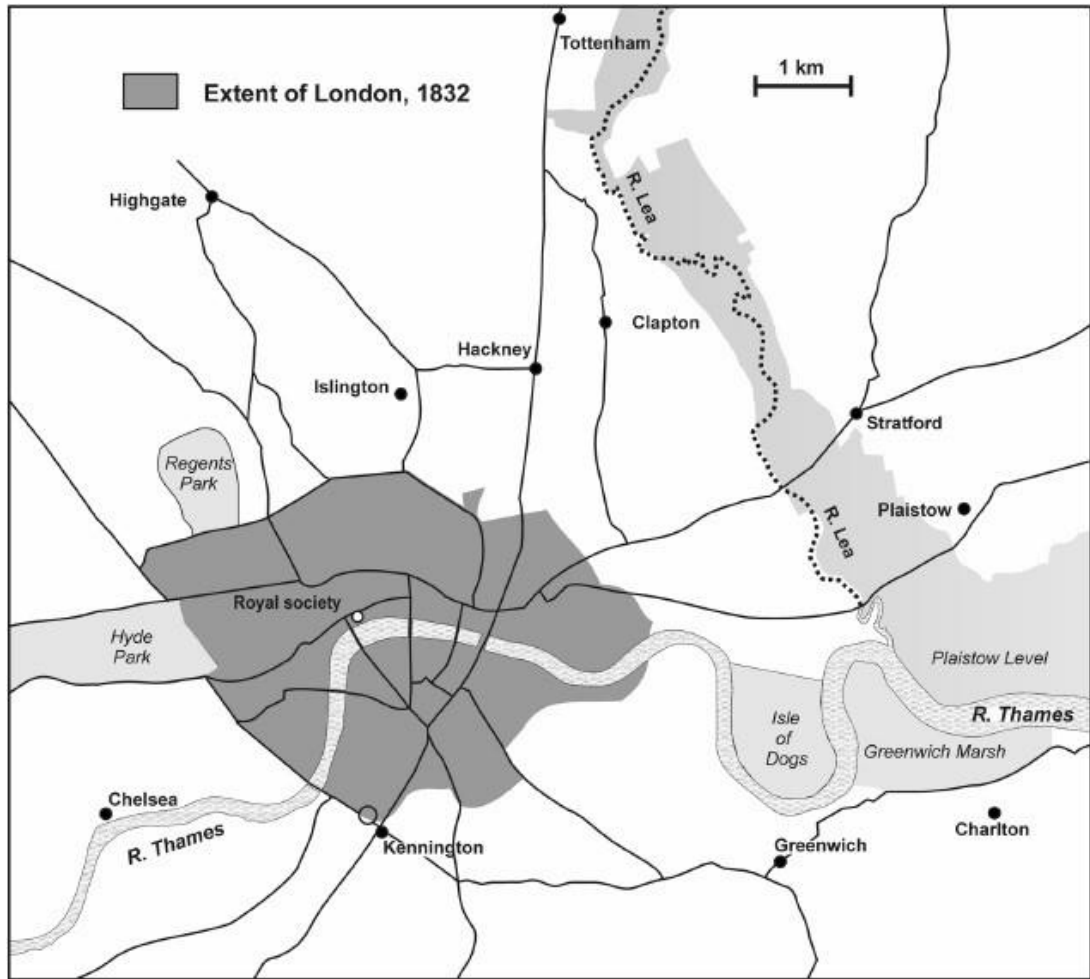
Oke (1984) menciona que el estudio de los procesos tanto físicos, químicos y biológicos que dan lugar a un cambio en la atmósfera en las ciudades es la llamada Meteorología urbana, y que el estudio de los estados típicos de sus atmósferas es la Climatología urbana, la cual se define como el estudio de las alteraciones en el clima derivadas de los procesos antropogénicos de las áreas

urbanas, teniendo en consideración a la ciudad como una entidad tanto natural como social, y la aplicación de dicho conocimiento en el diseño y planeación de las ciudades (Jankovic, 2013; Jáuregui, 1993; 2000; Mills, 2014).

Los inicios de la Climatología urbana los podemos encontrar con el desarrollo mismo de las ciudades tras la revolución neolítica (~7000 a. C.), existiendo indicios de que distintas culturas a través del tiempo han tenido en consideración el clima en la planeación de sus ciudades, como es el caso de los asirios, griegos y romanos (Yoshino, 1990). El tratado de Hipócrates del siglo V a.C. *De los aires, de las aguas y de los lugares* es un ejemplo de los primeros textos en que se identificaba la climatología urbana; sin embargo, es hasta finales del siglo XVIII que se encuentran los primeros textos formales del tema basados en resultados de la toma de datos, como es el caso de las observaciones hechas por Cotte en 1777 en la ciudad de Paris (Lemus, 2016; Yoshino, 1990).

Varios autores (Jáuregui 1971; 1993; Moreno, 1990; Mills, 2006; Oliveira *et al*, 2020; Stewart, 2019; Yang *et al*, 2016) consideran que el antecedente formal de la climatología urbana se encuentra a principios del siglo XIX y fue el trabajo realizado por el inglés Luke Howard en su libro *Climate*, el cual en su primera edición en 1818 enfocó su atención en la descripción y el análisis del tiempo atmosférico y el clima en general; y fue hasta su segunda edición en 1833 que Howard agregó un apartado titulado *The climate of London*. En él, el autor realiza una comparación entre los datos de temperatura de diferentes periodos de la estación meteorológica del Observatorio Real ubicada en Londres, y tres diferentes sitios en los alrededores en esos entonces rurales de la ciudad: Plaistow, Stratford y Tottenham (Figura 2.1).

**Figura 2.1.** La ciudad de Londres y sus alrededores rurales en la primera mitad del siglo XIX.



Fuente: Mills (2006).

A pesar de que el mismo Howard aceptaba que la recolecta de datos de temperatura de sus investigaciones no fue completamente estandarizada, en todos los sitios de muestreo observó que la ciudad de Londres era en promedio 1.579°F (diferencia de alrededor de 1°C) respecto a los sitios rurales de sus alrededores en un periodo de más de tres años, lo que dio pie a que el autor mencionara que existe una diferencia entre el clima en general, y las condiciones presentes en la ciudad, debido a que en esta última existe un calentamiento artificial provocado por su propia estructura, por la gran concentración de la población, y por el calentamiento emanado de las chimeneas de las casas y de

la industria en general<sup>1</sup> siendo así la primera referencia como tal de la climatología urbana (Howard, 1833, Mills, 2006).

El efecto de Isla de Calor Urbana (ICU) se define como el incremento de la temperatura o de calor contenido en las ciudades o zonas metropolitanas, respecto a sus alrededores rurales o no urbanizados, expresada como  $\Delta T_{u-r}$  (donde  $u$ : temperatura urbana; y  $r$ : temperatura rural); dicho aumento está asociado principalmente a la actividad antrópica de las zonas urbanas, incluyendo la morfología de la ciudad, el tipo de material de construcción, la emisión de gases contaminantes, el cambio en la cobertura del suelo, así como por la disponibilidad de humedad en el ambiente (Moreno, 1990; Parsaee *et al*, 2019; Rizwan *et al*, 2008; Spronken-Smith y Oke, 1998; Stewart, 2011; 2019).

Como se mencionó al inicio del subcapítulo, las observaciones de Howard permitieron detectar el efecto de la ICU, lo que simultáneamente abrió el campo para el estudio científico de la climatología urbana (Mills, 2014).

Stewart (2019) con base en Yoshino (1975) indica que la literatura clásica de la ICU se encuentra en los estudios anteriores a la década de 1980, y se puede dividir en tres etapas principales: la primera de ellas o etapa pionera, transcurrió durante el siglo XIX y principios del XX, donde coloca, junto con el trabajo de Howard, a otros autores que pudieran considerarse de igual forma como pioneros en el tema (Cuadro 2.1), de los que cabe resaltar el trabajo de Manuel Moreno en 1899 para la Ciudad de México.

**Cuadro 2.1.** Pioneros en los estudios de la ICU.

Autor	Año de la publicación.	Nombre de la publicación.	Ciudad de estudio
Luke Howard	1833	The climate of London (El Clima de Londres).	Londres, RU.
E. Renou	1868	Différences de température entre la ville et la champagne (Diferencia de	Paris, Francia

<sup>1</sup> En Inglaterra durante el siglo XIX, el principal combustible para generar fuego para calentar los hogares y para la industria era el carbón y la madera, por lo que su uso generaba calentamiento artificial en los grandes centros urbanos como Londres.

		temperatura entre la ciudad y el campo).	
J. Hann	1885	Über den Temperaturunterschied zwischen Stadt und Land (De la diferencia de temperatura entre la ciudad y el campo).	Varias (Europa, India, EE. UU.).
M. Moreno	1895	Comparación de los climas de México y Tacubaya.	Ciudad de México, México.
W. Hammon & F. Duenckel	1902	Abstract of a comparison of the minimum temperatures recorded at the United States Weather Bureau and the Forest Park meteorological observatories (Resumen de una comparación de temperaturas mínimas registradas en la Oficina del Tiempo de los EE. UU., y los observatorios meteorológicos de un Parque Forestal).	San Luis, EE. UU.

Fuente: elaborado con base en Stewart (2019).

La etapa pionera se caracteriza por que las observaciones atmosféricas en superficie se comenzaron a formalizar de tal forma que se fueron incrementando los sitios de muestreo, lo que permitió comparaciones de datos y que se identificaran los efectos locales en el clima (Stewart, 2019).

La segunda etapa o etapa de la innovación metodológica (década de 1920 a década de 1940) fue un periodo relativamente corto en el que, debido a los

descubrimientos de los efectos de las ciudades en el clima local, se comenzaron a realizar estudios detallados de la variabilidad espacial de los elementos climáticos presentes en pequeñas escalas (desde decenas de metros a decenas de kilómetros) (Stewart, 2019); pero es también en este periodo que Geiger (1950) menciona que Scaetta es quien comienza a hablar sobre la escala meso o regional en la climatología en 1935.

La innovación metodológica se debe principalmente al trabajo realizado por Schmidt en 1927<sup>2</sup> en Viena, y posteriormente replicado por Pepler en la ciudad de Karlsruhe en 1929. Esta nueva técnica consistió en realizar viajes o transectos con sensores térmicos montados en automóviles, con la finalidad de poder recolectar datos de temperatura en diversos puntos dentro y fuera de una ciudad, de tal forma que no se tuviera que depender de la información de las condiciones ambientales presentes en los sitios de las estaciones meteorológicas fijas (Jáuregui, 1971; Stewart, 2019; Yoshino, 1990).

En la tercera etapa de estudio o periodo del experimentalismo de la ICU (década de 1950 a década de 1980) ,debido a que ya se contaban con extensos bancos de datos de temperatura de estaciones fijas y móviles (resultado del trabajo de la etapa previa y la fundación en 1950 de la Organización Meteorológica Mundial) se comenzó a estudiar la climatología local desde un enfoque del experimentalismo, controlando y repitiendo las observaciones realizadas, con el suficiente rigor que permitiera identificar los procesos físicos detrás de los patrones observados, de tal forma que se pudieran inferir relaciones de causa-efecto; lo que generó que se comenzaran a publicar una gran cantidad de artículos y estudios científicos en el tema (Bertolin y Camuffo, 2020; Stewart, 2019).

A la par de lo anterior, Yoshino (1990) menciona que es en la segunda mitad del siglo XX que los estudios en climatología urbana se desarrollaron con bastante rapidez, destacando diversos avances (relacionados con el desarrollo tecnológico) como la utilización de modelos matemáticos realizados en

---

<sup>2</sup> Respecto a 1927, Yoshino (1990) menciona que fue particularmente un año de gran desarrollo para la climatología urbana, ya que además del trabajo de Schmidt, Geiger realizó un texto monográfico con relación a la climatología a pequeña escala incluyendo la climatología urbana, el cual considera como un libro de texto básico en la temática.



computadora, y la introducción de la fotointerpretación y la Percepción Remota (PR).

A pesar de que en este periodo existen diversos autores cuyas publicaciones son consideradas de gran relevancia (p. e.: Chandler, 1960; Landsberg, 1979; Oke, 1973, 1988; Sundborg, 1951), Stewart (2019) indica que el trabajo más inspirador es el realizado por Ernesto Jáuregui en 1973<sup>3</sup> titulado: *The urban climate of Mexico City* (El clima urbano de la Ciudad de México); en el que, debido a las complicaciones derivadas del tamaño de la ciudad así como los materiales disponibles, Jáuregui complementó sus datos de temperatura obtenidos con el método de transectos en automóvil de Schmidt, con los de las estaciones climatológicas existentes que reportaban al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en el observatorio de Tacubaya, lo que le permitió contar con información tanto del centro de la ciudad como de las zonas suburbanas y rurales de los alrededores y así elaborar mapas de distribución de la temperatura de la metrópolis (Jáuregui, 1973; Stewart, 2019).

El trabajo de Jáuregui formó parte de un gran auge en los estudios de ICU en países intertropicales en las décadas de 1970 y 1980, los cuales estaban cobrando cada vez mayor relevancia debido al aumento del proceso de urbanización a partir del término de la II Guerra Mundial. La comparación de los resultados en ciudades intertropicales y los ya existentes en latitudes medias permitió observar que la magnitud de la ICU era menor en las primeras respecto de las segundas, y que dicha magnitud varía conforme a la morfología urbana, las propiedades térmicas de la superficie, y la disponibilidad de humedad en el ambiente (Stewart, 2011; 2019).

Los estudios de meteorología urbana dependen mucho de la escala en la cual se trabajará. Al respecto Oke (1984) indica que existen cinco principales morfologías urbanas: desde un edificio, hasta una ciudad entera, las cuales se pueden abordar desde la escala micro, local y meso (Cuadro 2.2).

---

<sup>3</sup> A pesar de que Stewart señala ésta obra de Jáuregui como la más representativa del periodo, éste último autor ya contaba con diversas publicaciones relacionados al clima urbano para ese entonces.

**Cuadro 2.2.** Escalas o morfología urbana de los estudios de meteorología urbana.

Unidades urbanas	Elementos urbanos	Fenómenos climático-urbanos	Dimensiones	Escala
Edificios	Edificio/árbol/jardín	Zonas de baja presión/ calentamiento del aire/sombra	Altura: 10 m. Ancho: 10 m. Largo: 10 m.	Micro
Cañón	Calle urbana/ edificios y árboles de borde	Efecto de cañón/circulación del viento/sombra	Altura: 10 m. Ancho: 30 m. Largo: 300 m.	Micro
Manzana/ vecindario	Manzana urbana/parque/ nave industrial	Clima de parque/Agrupación de edificios/mini brisa	Ancho: 0.5 km. Largo: 0.5 km.	Micro/local
Zona de Uso de suelo.	Residencial/comercial/ industrial/etc.	Clima local/vientos/ modificación de nubes	Ancho: 5 km. Largo: 5 km.	Local
Ciudad	Área urbana	Isla de calor urbano/ efectos urbanos en general	Ancho: 25 km. Largo: 25 km.	Meso

Fuente: elaborado con base en Oke (1984).

Para la década de 1990 y principios del siglo XXI, inicio de la etapa moderna, los estudios de la ICU comenzaron a centrar su atención en las relaciones de las causas, procesos y efectos de la misma, resultado de las correlaciones estadísticas observadas entre la magnitud de la ICU y diversos parámetros físicos como las tasas de enfriamiento rural y urbano, la estabilidad atmosférica, el tamaño y separación de las edificaciones, el uso de suelo rural, la cobertura vegetal, y el factor de cielo visible (Stewart, 2011).

Además de lo mencionado en el párrafo anterior, esta etapa moderna en la climatología urbana (incluyendo los estudios en la ICU) se ha distinguido por el surgimiento y uso de nuevas tecnologías y metodologías. Algunos de estos avances son la PR, los termómetros digitales, los registradores de datos de temperatura, estaciones meteorológicas automáticas, computadoras portátiles, etc.; y todos ellos han permitido que actualmente las observaciones de

temperatura en la ciudad y el monitoreo de la ICU se realicen de diversas formas y de manera confiable y precisa (Grimmond, 2006; Stewart, 2011).

Otro aspecto importante en los estudios de la Climatología urbana y de la ICU, es poder comprender la forma en que las ciudades utilizan la energía solar, la cual, junto con el calor generado por los centros urbanos, se reparte en calentar el aire, evaporar las superficies húmedas, y parte de ésta se queda almacenada en las superficies de las edificaciones. Para ello se ha establecido la ecuación del balance energético de un área urbana (Jáuregui, 1995; Oke, 1988):

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + Q_G$$

Donde:

$Q^*$ : radiación neta (de toda onda)

$Q_F$ : calor que se genera en la ciudad

$Q_H$ : calor sensible para calentar el aire

$Q_E$ : calor latente para evaporar superficies húmedas

$Q_G$ : calor almacenado en las superficies urbanas

Para el caso de México además de los trabajos ya mencionados de Moreno (1899) y Jáuregui (1973), los cuales contribuyeron de forma sustancial al desarrollo de los estudios en climatología urbana y de la ICU, existen gran cantidad de autores que a través del tiempo han contribuido al conocimiento en el tema, teniendo como sitios de estudio diferentes ciudades y zonas urbanas del país.

## 2.2 Isla de Frescor Verde.

Además de la manifestación de la ICU y su consecuente cambio en el clima a micro y mesoescala, el consumo excesivo de energía, y la generación de basura y GEI, son aspectos originados en las zonas urbanas que han contribuido de manera considerable al actual cambio climático (ONU-HABITAT, s/a). Dicha situación ha ocasionado que las personas en las ciudades se encuentren expuestas a diversas afectaciones ambientales, tales como el estrés por calor y los golpes de calor, (las cuales se revisarán con mayor detalle en el subcapítulo

siguiente) de tal forma que en décadas recientes se haya comenzado a poner particular atención en la mitigación de la ICU.

Para Aram *et al* (2019) los métodos utilizados actualmente para mitigar los efectos de la ICU se pueden clasificar de manera general en cuatro: el uso de cobertura vegetal; la ventilación nocturna; el uso de cuerpos de agua; y el uso de materiales de construcción con gran albedo. En la presente investigación nos enfocaremos a hacer una revisión del primer método mencionado, que en general hoy se le considera como IV, y en específico la vegetación urbana o AVU, las cuales han demostrado ser espacios con menor temperatura dentro de las ciudades y representar un papel importante en el clima urbano (Barradas, 1991).

Además de la sombra que producen los árboles, la vegetación urbana amortigua la temperatura debido principalmente a que buena parte de la radiación solar que llega a las ciudades es utilizada para evaporar superficies húmedas ( $Q_e$ ), incluyendo la vegetación, de tal forma que queda menos energía disponible para calentar el aire ( $Q_h$ ). Lo anterior tiene relación con el balance energético en las ciudades mencionado en el subcapítulo anterior, donde Jáuregui (1995) menciona que es de particularmente interesante el cociente de Bowen  $B=Q_h/Q_e$ , el cual indica la relación que hay entre calor utilizado para calentar el aire respecto de aquella utilizada para evaporar el agua contenida en la vegetación urbana.

Desde finales de la década de 1950 y hasta finales de la de 1980, con la crisis energética basada en el petróleo, el inicio de los movimientos conservacionistas y las conferencias mundiales sobre medio ambiente de la Organización de Naciones Unidas (ONU), así como el surgimiento de conceptos como el de servicios ecosistémicos y el de desarrollo sostenible, la relación entre la salud humana y su entorno natural comenzó a cobrar gran relevancia centrando parte del interés en realizar estudios del ambiente en las ciudades, debido en gran medida a la concentración poblacional en las zonas urbanas que a partir de la segunda mitad del siglo XX ha ido en aumento hasta la actualidad (Abreu *et al*, 2014; Aguilar y Escamilla, 2013; Camacho y Ruiz, 2012; Ochoa, 1999; ONU, 1987; Owen, 1971).

Algunos de los primeros estudios durante este periodo en relación a los parques urbanos o AVU y su impacto en el ambiente en las ciudades estaban enfocados en cómo la vegetación mejoraba la calidad del aire en las mismas, reduciendo algunos gases contaminantes; sin embargo, autores como Chandler (1962), Jáuregui (1971), Barradas y Seres (1988), Oke (1988) y Barradas *et al* (1999) ya hacen referencias a cómo las áreas de parques dentro de las ciudades son aberturas térmicas en la formación de la ICU.

Cabe destacar el trabajo de Jáuregui (1975) titulado *Microclima del Bosque de Chapultepec*, en el que el autor, por medio del método de transectos mencionado en el subcapítulo anterior, encuentra que el bosque es hasta 5° C más fresco en comparación a sus alrededores urbanos de la Ciudad de México.

Para 1989 Oke *et al* publicaron el trabajo *The micrometeorology of the urban forest* en el cual mencionan que para ese entonces, los estudios de la micrometeorología de los árboles o bosques dentro de las ciudades habían recibido escasa atención; además en él exponen el potencial de los árboles como modificadores del clima urbano, así como una modificación a la clasificación de escalas de Oke (1984) donde incluyen los atributos arbóreos presentes en cada una de ellas (Cuadro 2.3).

**Cuadro 2.3.** Diferentes escalas para el estudio de la meteorología urbana.

Unidades urbanas	Elementos urbanos	Elementos arbóreos	Fenómenos climático-urbanos	Dimensiones	Escala
Edificios	Edificio/árbol/jardín	Árboles/jardines	Zonas de baja presión/ calentamiento del aire/ sombra	Altura: 10 m. Ancho: 10 m. Largo: 10 m.	Micro
Cañón	Calle urbana/ edificios y árboles de borde	Avenidas/bulevares/ camellones	Efecto de cañón/ circulación del viento/ sombra	Altura: 10 m. Ancho: 30 m. Largo: 300 m.	Micro
Manzana/ vecindario	Manzana urbana/ parque/ nave industrial	Parque/bosque	Clima de parque/ Agrupación de edificios/	Ancho: 0.5 km. Largo: 0.5 km.	Micro/local

			mini brisa		
Zona de Uso de suelo.	Residencial/comercial/industrial/etc.	Cinturones verdes/corredores ecológicos/bosque suburbano	Clima local/vientos/modificación de nubes	Ancho: 5 km. Largo: 5 km.	Local
Ciudad	Área urbana	Bosque urbano	Isla de calor urbano/efectos urbanos en general	Ancho: 25 km. Largo: 25 km.	Meso

Fuente: elaborado con base en Oke *et al* (1989).

Con la celebración de la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro en 1992, así como el surgimiento de conceptos como el de “salud ambiental” en 1993 y el de “infraestructura verde” en 1994, aunado a la cada vez mayor utilización de la Percepción Remota (PR) en diferentes ámbitos, en la década de 1990 comenzaron a surgir cada vez un número mayor de estudios sobre la vegetación urbana y la mitigación de la ICU, así como su relación con la salud humana, (Abreu *et al*, 2014; Firehock, 2010; Wang y Bazhaf, 2018; Xueru *et al*, 2018). Dicho aumento lo podemos constatar en obras como las de Spronken-Smith y Oke (1998), Bowler *et al* (2010), y Akbari y Dionysia (2016), donde los autores mencionan una gran variedad de trabajos en el tema en diferentes ciudades y diversas latitudes del mundo en este periodo.

Recordemos que el efecto de la ICU se refiere a la diferencia de temperatura existente entre una zona urbana y sus alrededores rurales ( $ICU = T_U - T_r$ ), sin embargo, como se ha mencionado, en el caso contrario es posible encontrar dentro de las ciudades zonas con una temperatura menor respecto a sus alrededores urbanos, debido a diferentes factores como la orientación de los edificios, la sombra originada por edificaciones y árboles, y los diferentes tipos de cobertura del suelo; a este efecto se le ha llamado islas frías o islas de frescor (Declet-Barreto *et al* 2012; Goncalvez *et al*, 2018; Xueru *et al*, 2018.). Haciendo alusión en específico al efecto refrescante de las AVU, existen diferentes formas en que se le ha nombrado: autores como Lee *et al* (2009), y Cheng *et al* (2019) lo denominan como *urban cool island* (isla de frescor urbana); Declet-Barreto *et*

*al* (2012), y Spronken-Smith y Oke (1998) lo denominan como *park cool island* (isla de frescor de parque); y Aram *et al* (2019) menciona que en estudios más recientes (Martins *et al*, 2016; Du *et al* 2017) lo denominan como *green space cool island* (isla fresca de espacio verde). En la presente investigación, a dicho efecto se le denominará como Isla de Frescor Verde (IFV) expresada como  $IFV = T_u - T_p$  (donde  $T_u$ : temperatura máxima urbana; y  $T_p$ : temperatura mínima del parque o área verde).

A partir de finales de la década de 1990 y principios del nuevo milenio y hasta la actualidad, los estudios sobre las AVU e IV para mitigar la ICU se han concentrado en temas como la intensidad de la IFV, la creación de modelos matemáticos, y el uso de nuevos sensores térmicos en terreno, así como de la PR y Sistemas de Información Geográfica (SIG), siendo estos últimos utilizados frecuentemente relacionando datos de temperatura en superficie obtenidos por la banda del infrarrojo térmico e índices de vegetación como el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) (Aram *et al*, 2019; Bowler *et al*, 2010; Xueru *et al*, 2018).

Otro aspecto importante a considerar en la IFV es la heterogeneidad de las AVU, las cuales varían tanto en extensión y en composición y origen de sus elementos y, por lo tanto, también varían en su capacidad de amortiguamiento de calor en las ciudades (Akbari y Dionysia 2016; Aram *et al*, 2019; Oke *et al*, 1989).

Respecto al arbolado urbano, Oke *et al* (1989) también indican que la abundancia de los mismos variará conforme los usos de suelo en la ciudad; los autores ponen como ejemplo las ciudades típicas estadounidenses, donde los distritos comerciales y áreas industriales presentan una cobertura menor del 10%, mientras que las áreas residenciales tienen entre el 15 y 40%, y los parques del 20 al 60%.

Ya se mencionó en el subcapítulo 1.1, que existen recomendaciones internacionales en cuanto a la disponibilidad de área verde por habitante (9m<sup>2</sup> como mínimo), sin embargo, a pesar de demostrar ser una forma viable de mitigar la ICU y de las recomendaciones internacionales, la vegetación en las ciudades es frecuentemente sustituida por infraestructura urbana (Ballinas, 2011; 2016; Barradas, 2013).

### 2.3 Climatología urbana y salud ambiental.

Como se mencionó en el subcapítulo anterior, los estudios relacionados con el ambiente y la salud humana cobraron mayor auge a partir de la segunda mitad del siglo XX, alentados en parte por los avances tecnológicos así como por la celebración de la primera Conferencia Internacional sobre Medio Humano de la ONU en 1972, en la que se comenzó a dar gran relevancia al impacto ambiental de algunas de las actividades humanas, y cómo dicha situación a su vez genera afectaciones a la salud de las personas a nivel global (ONU, s/aa).

La salud ambiental se refiere a todos aquellos aspectos de la salud humana que son determinados en alguna medida por factores físicos, químicos, biológicos y sociales presentes en el ambiente (Abreu *et al*, 2014). Dentro de dichos factores ambientales, la biometeorología o bioclimatología humana es la dedicada a estudiar la influencia de la contaminación del aire y de las principales variables meteorológicas y climáticas sobre el organismo humano (Jáuregui, 1995; Mayer, 1993).

En dicho sentido, el efecto de la ICU al generar ambientes más cálidos en las ciudades, tiene una importante repercusión en la salud de sus habitantes al someter a presión el confort térmico de las personas ocasionando estrés por calor, lo que a su vez tiene consecuencias en el rendimiento en las actividades cotidianas e incluso provocar la muerte (Roghanchi *et al*, 2015; Vieira *et al*, 2015). Lo anterior cobra gran relevancia actualmente, debido a que, por un lado el calentamiento global y el cambio climático están generando incrementos en las temperaturas promedio a nivel mundial, habiendo con mayor frecuencia eventos de temperaturas extremas; por otro lado, desde el año 2007 más de la mitad de la población mundial se concentra en las ciudades, y se estima que para el año 2050 dicha cifra aumente hasta el 68%, por lo que las personas en las zonas urbanas potencialmente se verán más afectadas por los efectos de la contaminación ambiental en la salud humana (Burgstall *et al*, 2019; OMS, s/a; ONU, s/ab; ONU, s/ac).

Para poder mantener su funcionamiento general, el cuerpo humano comprende un rango de temperaturas internas límite relativamente pequeño que va de los 35°C a los 40°C; más allá de ellas los mecanismos de termorregulación, así



como los procesos metabólicos y la actividad de enzimas se ven afectadas: si durante un breve periodo la temperatura corporal disminuye por debajo de los 35°C, ya sea por no poder producir el calor suficiente o por un exceso de pérdida del mismo, se denomina hipotermia; cuando la temperatura aumenta por encima de los 40°C, ya sea por producir calor en exceso o por no poder expulsarlo de forma adecuada, se denomina hipertermia. El balance térmico humano, es decir, la relación entre la producción de calor del cuerpo y las ganancias y pérdidas de calor del mismo se expresa matemáticamente con la Ecuación de balance de calor (Albaladejo, 2012; Roghanchi *et al*, 2015), la cual se muestra a continuación:

$$S=M-W (C_{res}+E_{res}\pm C\pm R+E), \text{ donde:}$$

M: tasa metabólica

W: tasa de trabajo externo

$C_{res}$ : pérdida de calor por convección respiratoria

$E_{res}$ : pérdida de calor por evaporación respiratoria

E: Evaporación del sudor

C: Convección

R: Radiación

Teniendo en consideración este rango de temperaturas del cuerpo humano, sumado a otros parámetros o factores ambientales como la temperatura del aire, la velocidad del viento, la humedad relativa y la intensidad de la radiación solar, así como factores fisiológicos, psicológicos, culturales y de vestimenta de las personas, se define el confort térmico humano como la condición en la que mentalmente sentimos satisfacción con respecto al ambiente térmico y, por lo tanto, hay una ausencia de inconformidad en por lo menos más del 80% de las personas (Roghanchi *et al*, 2015; Vieirra *et al*, 2015; Yilmaz *et al*, 2007). Autores como Fanger (1970) y Roghanchi *et al* (2015) mencionan que una persona necesita satisfacer tres parámetros para encontrarse en la zona de confort térmico: que la tasa de sudoración esté dentro de los límites de confort; que el cuerpo mantenga el balance térmico; y que la temperatura promedio de la piel también se encuentre dentro de los límites de confort.

El poder realizar una evaluación del confort térmico humano es sumamente complicado debido a que, por un lado, se deben monitorear los diversos factores ambientales antes mencionados y, por otro, el confort térmico humano es un estado mental y subjetivo y, por lo tanto, existirán gran variedad de sensaciones térmicas en las personas, aunado a las cuestiones fisiológicas y culturales de cada una de ellas (Roghanchi *et al*, 2015). Al respecto, Fanger (1970) y Roghanchi *et al* (2015), mencionan que el confort térmico depende en la interacción que existe entre seis principales factores, pertenecientes a dos grupos: factores ambientales, y factores de comportamiento (Cuadro 2.4).

**Cuadro 2.4.** Principales factores del confort térmico humano.

Grupo o tipo de factor	Factores
Ambiental	Temperatura de bulbo seco
	Temperatura de globo negro
	Velocidad del viento
	Humedad relativa
De comportamiento	Vestimenta
	Tasa metabólica

Fuente: elaborado con base en Roghanchi *et al*, 2015.

A pesar de las dificultades mencionadas para la evaluación del confort térmico humano, desde finales del siglo XIX se han diseñado diversos índices relacionados a la sensación térmica de las personas que en lo general se les conoce como índices térmicos o Índices de Estrés Térmico (IET), los cuales han evolucionado principalmente incluyendo o adecuando diferentes factores que se han considerado importantes en el tema (Burgstall *et al*, 2019; Freitas y Grigorieva, 2015; Haldane, 1905; MacPherson, 1962; Roghanchi *et al*, 2015; Vieira *et al*, 2015; Yilmaz *et al*, 2007). De tal forma en sus inicios, el principal factor ambiental que era considerado para evaluar el confort térmico era la temperatura seca del aire (por medio de termómetros de bulbo seco), sin embargo, al parecer el primer índice publicado que además utilizara la

temperatura húmeda del aire (por medio de termómetros de bulbo húmedo) fue por Haldane en 1905, y a partir de entonces se han propuesto más de un centenar de índices para diferentes ambientes térmicos y considerando diferentes factores ambientales y humanos (Freitas y Grigorieva, 2015; Roghanchi *et al*, 2015).

La gran cantidad de índices que se han elaborado ha hecho notar tres situaciones: a) existe gran interés por evaluar la influencia del ambiente térmico sobre la salud humana (posiblemente alentado por los avances en investigación relacionada al cambio climático); b) los más de 160 índices existentes han generado bastante confusión tanto en cuales son los factores ambientales y de comportamiento que toman en consideración, así como en el nombre mismo de los índices, los que también existen en gran variedad, y; c) debido a la variabilidad de los factores ambientales y de comportamiento, en general no existen índices que puedan ser utilizados plenamente como una evaluación de estrés térmico universal, debido a que la mayoría de ellos sólo son aplicables a algunas circunstancias específicas para los que fueron elaborados (Freitas y Grigorieva, 2015; MacPherson, 1962; Roghanchi *et al*, 2015).

Al realizar un catálogo de índices térmicos, Freitas y Grigorieva (2015) mencionan que éstos pueden clasificarse en ocho grupos primarios: a) índices de dispositivo de simulación para mediciones integradas; b) índices de un solo sensor (un solo parámetro); c) índices con base en modelos algebraicos o estadísticos; d) índices de deformación térmica con variable proxy; e) índices de estrés térmico con variable proxy; f) índice de deformación del balance energético; g) índices de estrés del balance energético; e h) índices para propósitos especiales. Autores como Burgstall *et al* (2019) y Roghanchi *et al* (2015) hacen notar que son tres los grupos que mayor porcentaje representan de todos los estudios y propuestas de índices térmicos: los directos, los empíricos, y los racionales, cada uno de ellos sustentados en diferentes bases (Cuadro 2.5).

**Cuadro 2.5.** Tipos de índices de estrés térmico.

Tipo o grupo de IET	Basado en:
Directo	Datos meteorológicos
Empírico	Variables objetivas y subjetivas
Racional	Ecuación de balance térmico

Fuente: elaborado con base en Burgstall *et al*, 2019; Roghanchi *et al*, 2015.

Debido a que los índices racionales son los que incluyen parámetros tanto ambientales como de comportamiento para la elaboración de sofisticados modelos de la respuesta del cuerpo humano al ambiente, éstos son los que más se han desarrollado en mayor cantidad, sin embargo, la simplicidad de los índices directos (de variables meteorológicas) les confiere ciertas ventajas, por ejemplo, sirven para realizar estudios de periodos largos como los análisis climáticos (por la disponibilidad de datos), son mucho más flexibles, sencillos de utilizar, y representan menores costos para los procesos computacionales; por lo anterior los índices directos son los que mayormente se utilizan en Estados Unidos y países europeos (Burgstall *et al*, 2019).

A pesar de que en un inicio sólo tomaba en consideración factores ambientales, Roghanchi *et al* (2015) mencionan que actualmente algunas variaciones del índice de globo negro húmedo (WBGT por sus siglas en inglés) ya incorporan los factores de comportamiento, por lo que posiblemente es uno de los índices más utilizados. A partir del año 1999 la Sociedad de Biometeorología Internacional y, posteriormente, en 2005 en asociación con la Cooperación Europea en Ciencia y Tecnología, comenzaron el desarrollo de un índice universal llamado Índice Universal de Clima Térmico (IUCT o UTCI por sus siglas en inglés), el cual analiza el estrés por calor inducido meteorológicamente que experimenta el cuerpo humano en su proceso de regulación térmica (balance térmico humano), con lo que se busca que éste pueda ser aplicado de manera generalizada en diversos ambientes térmicos (Blazejczyk *et al*, 2013; Burgstall *et al*, 2019).

Para el caso de la Ciudad de México, Jáuregui (2009) menciona que las personas comienzan a sentir estrés por calor cuando la temperatura alcanza o sobrepasa los 30°C, o cuando la temperatura media es igual o mayor a los 24°C durante por lo menos tres días; lo anterior tiene relación con otro evento climático extremo: las olas de calor, las cuales comenzaron a tener gran relevancia en la salud humano a partir de los eventos ocurridos en varios países europeos en el año 2003, donde se registraron temperaturas que llegaron a sobrepasar los 40°C y ocasionaron alrededor de 70 mil muertos (OMS, s/a; Tirado, 2010). A nivel mundial, para el año 2013 tres de los diez peores desastres naturales en cuanto a número de fallecimientos estuvieron relacionados con olas de calor (Martínez-Austria *et al*, 2015).

Las olas de calor se definen como periodos prolongados (más de tres días) en los que la temperatura se mantiene por encima del promedio de un lugar, derivado de altas presiones atmosféricas y masas de aire cálido. (Jáuregui, 2009; OMM, 2019; Tirado, 2010). Se ha observado que, a nivel mundial, incluyendo la Ciudad de México, dichos eventos han ocurrido con mayor frecuencia e intensidad durante los últimos años, lo que se estima incrementa el riesgo de enfermedades por calor afectando principalmente a grupos vulnerables como las personas de edad avanzada y/o con problemas de salud crónicos (Jáuregui, 2009; OMS, s/a).

La hipertermia y las enfermedades relacionadas al calor pueden presentarse de forma directa e indirecta: de forma indirecta, debido a que el actual cambio climático y calentamiento global está causando afectaciones a los ciclos biológicos y ecológicos de la biodiversidad en general, existe un riesgo de incremento de enfermedades infecciosas por zoonosis al cambiar la incidencia y distribución de diversos patógenos como son algunos parásitos como la *Taenia* o solitarias; bacterias como *Salmonella* y *E. coli*; así como mosquitos de la especie *Aedes* transmisores de diversos virus causantes de enfermedades como la malaria, dengue, chikunguña, fiebre amarilla y zika (Riojas *et al*, 2006; WMP, s/a); por otro lado, existen enfermedades ocasionadas directamente por el calor, siendo los golpes de calor (incluyendo la insolación) uno de los principales síndromes de la hipertermia, el cual ha cobrado relevancia en los últimos años debido a las defunciones que ha generado a nivel mundial, en

relación con los eventos cada vez más frecuentes de olas de calor ya mencionadas (OMS, s/a). Los síntomas, así como las causas de las enfermedades por calor, se muestran en el Cuadro 2.6.

**Cuadro 2.6.** Síntomas y causas de las principales enfermedades y síndromes por calor.

Enfermedad/Síndrome	Síntomas	Causas	Gravedad
Sarpullido por calor	Puntos o granos diminutos que pueden irritarse y causar infecciones.	Bloqueo o hinchazón de los conductos sudoríparos de la piel	Baja
Calambres por calor	Contracciones, espasmos y dolores musculares; debilidad y fatiga	Pérdida de agua, sal y minerales por medio de la sudoración	Baja
Edema por calor	Hinchazón de manos y/o pies	Por estar de pie o sentado por mucho tiempo en ambientes calurosos	Moderada
Tetania por calor	Hiperventilación, problemas respiratorios; hormigueo o espasmos musculares	Periodos cortos de estrés en ambientes calurosos	Moderada
Síncope por calor	Sensación de desmayos o mareo; piel pálida, fresca y húmeda	Dilatación de vasos sanguíneos por presión arterial baja en ambientes calurosos	Moderada
Agotamiento por calor	Fatiga, debilidad, dolor de cabeza, mareos y náuseas	Realizar actividades en ambientes	Moderada

		calurosos y no beber el líquido suficiente	
Golpes de calor	Estar inconsciente por varios segundos; confusión, agitación, convulsiones, dificultad para respirar, aumento de la frecuencia cardíaca	Exposición larga a ambientes calurosos/pérdida de termorregulación del cuerpo humano	Alta

Fuente: elaborado con base en: Albaladejo, 2012; CDC, s/a; Cigna, s/a; OMS, s/a.

El calentamiento global y el efecto de la ICU han demostrado ocasionar afectaciones a la salud humana, sin embargo, la demás biodiversidad de las ciudades igualmente sufre diversas alteraciones tanto en sus ciclos biológicos como en su comportamiento. De tal forma, el aumento de la temperatura ambiental puede ocasionar, por ejemplo, cambios en las temporadas de floración de la vegetación y de reproducción en la fauna, incremento de actividad en animales de sangre fría, así como una posible disminución en otros animales e, inclusive, puede estar relacionado con el incremento de picaduras de alacrán en personas.

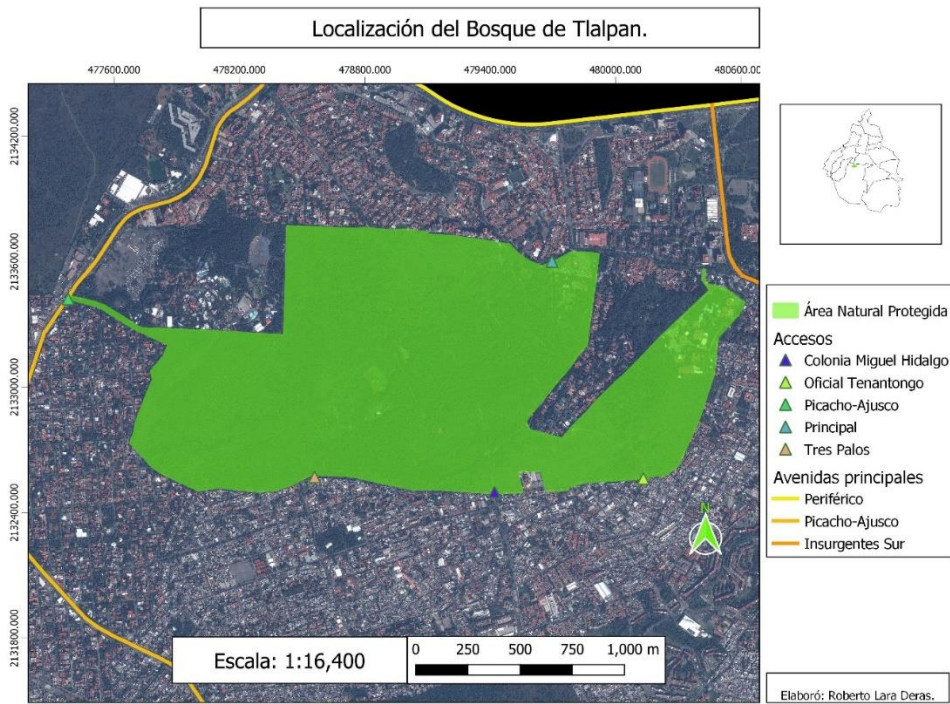
### 3. Caracterización geográfica del Bosque de Tlalpan y estrategia metodológica.

En los siguientes subcapítulos se muestra la caracterización geográfica de la zona de estudio, así como los instrumentos y métodos utilizados para la elaboración de la presente investigación.

#### 3.1 Caracterización geográfica del Bosque de Tlalpan.

Pertenciente a la provincia fisiográfica del Eje Volcánico Transversal, el Área Natural Protegida (ANP) Bosque de Tlalpan es uno de los ecosistemas relictos existentes al suroeste de la Ciudad de México, en el pie de monte de la Sierra del Ajusco, originado por los flujos de lava asociados al volcán Xitle, el cual hizo erupción hace alrededor de 1,600 años. Se encuentra ubicado en la alcaldía de Tlalpan con coordenadas extremas:  $19^{\circ}17'21''$  N, y  $99^{\circ}12'25''$  W, y una extensión de 252.86 ha. (Figura 3.1) (GDF, 2011a; Siebe, 2009).

**Figura 3.1.** Mapa de localización del Bosque de Tlalpan.

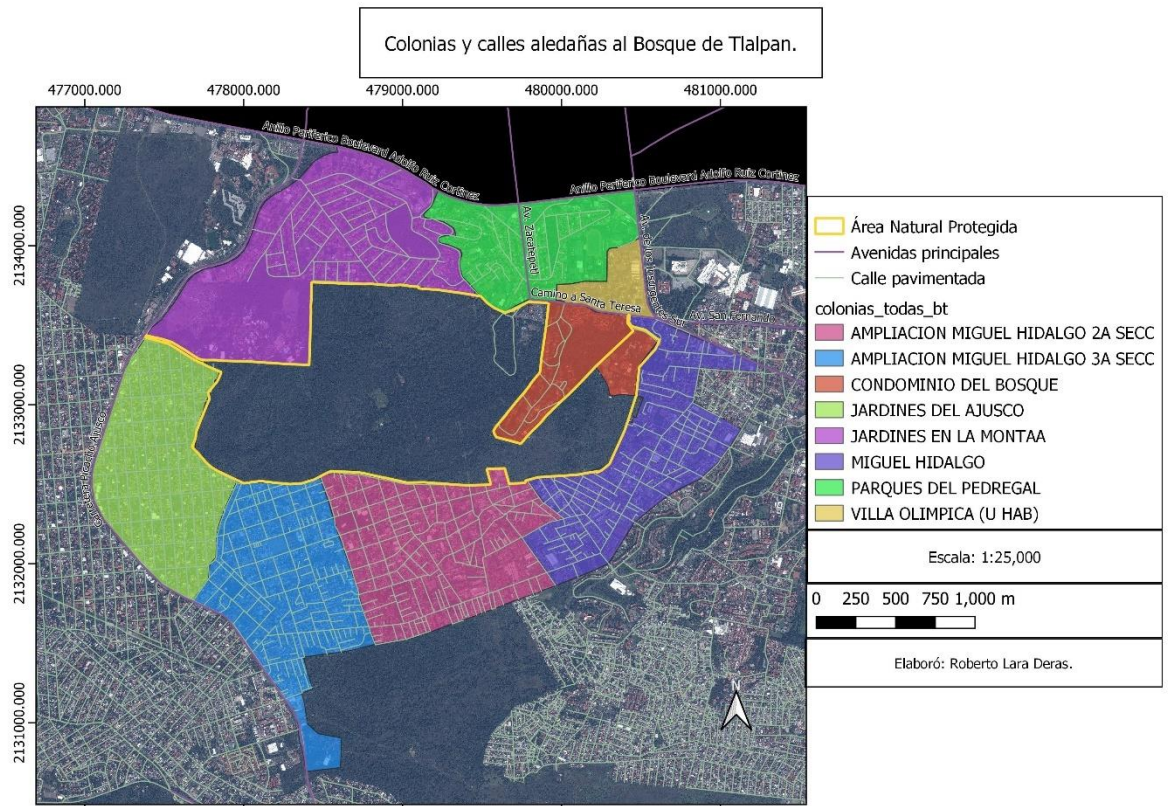


Fuente: elaborado con base en ANP Bosque de Tlalpan, 2019.



Debido a que el Bosque de Tlalpan se encuentra enclavado en la Ciudad de México, tiene colindancias con diversas avenidas y colonias de la misma: al norte colinda con la Avenida Camino a Santa Teresa, la unidad habitacional Villa Olímpica, la colonia Miguel Hidalgo, y el fraccionamiento Jardines en la Montaña; al sur con la colonia Ampliación Miguel Hidalgo; al este con las colonias Miguel Hidalgo y La Fama; y al oeste con las colonias Lomas de Padierna, Ejidos de Padierna, y el parque recreativo Six Flags (GDF, 2011a). (Figura 3.2).

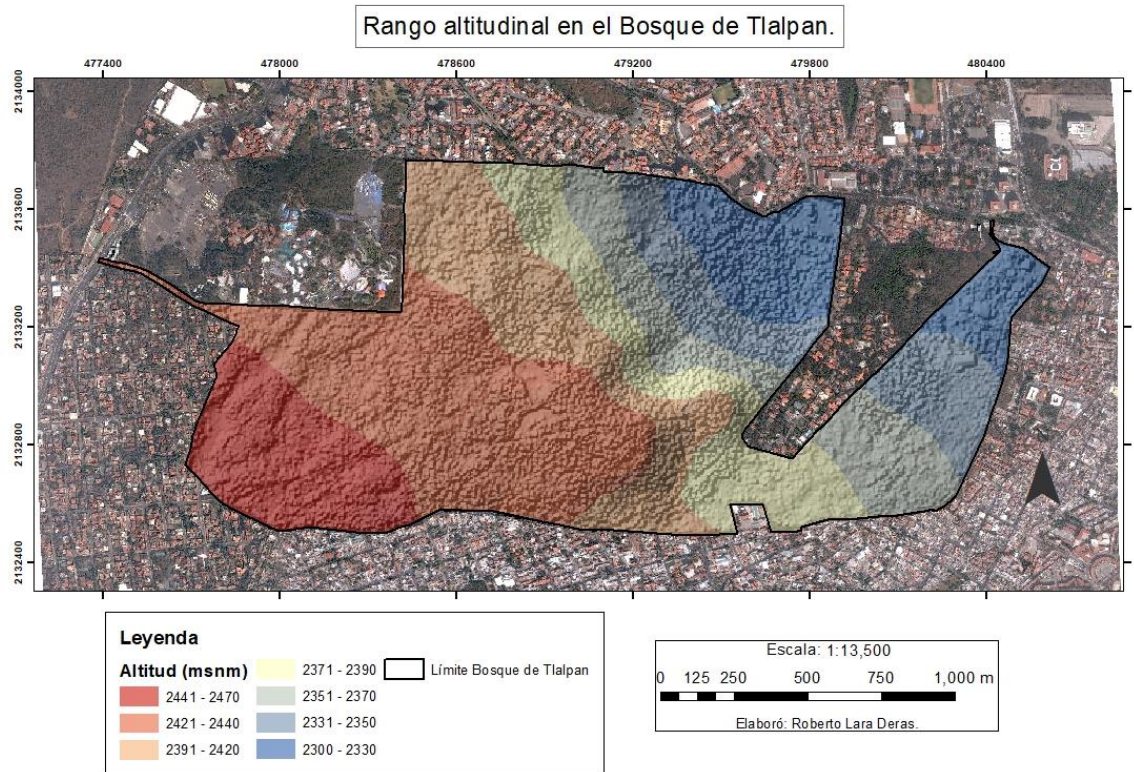
**Figura 3.2.** Mapa de colonias y calles aledañas al Bosque de Tlalpan.



Fuente: elaborado con base en ANP Bosque de Tlalpan, 2019; GDF, 2022.

Topográficamente, alrededor del 90% de la superficie del Bosque de Tlalpan es ondulada con pendientes suaves a partir del 0% en sus porciones sur-suroeste y nor-noreste, y hasta del 19% en su porción central; el 10% de la superficie restante presenta una topografía más accidentada con pendientes hasta del 100% en los parajes de El Mirador y Piedra de los sacrificios. El rango altitudinal va desde los 2,300 msnm hasta los 2,470 msnm (GDF, 2011a) (Figura 3.3).

**Figura 3.3.** Rango altitudinal en el Bosque de Tlalpan.



**Fuente:** elaborado con base en INEGI, 2013.

La formación geológica de la zona se remonta al vulcanismo del periodo Cuaternario que dio origen a la Sierra del Chichinautzin, incluyendo el volcán Ajusco, la cual finalmente obstruyó el drenaje de la cuenca convirtiéndola así en una cuenca endorreica (GDF, 2011a; Mooser, 1975). El sustrato basáltico de este periodo se estima tiene una edad aproximada de entre 2 y 3 millones de años, presentándose también algunas rocas ígneas extrusivas del Terciario. Algunas elevaciones más recientes de la zona incluyen los cerros Zacatepetl, Vivero y el Basalto Antiguo (GDF, 2011a; Schmitter, 1953).

De forma reciente, hace aproximadamente 1,600 años, los flujos de lava asociados a la erupción del Xitle transformaron considerablemente el paisaje presente en esta porción de la Cuenca de México, cubriendo de basalto una extensión de 80 km<sup>2</sup>, incluyendo gran parte del actual Bosque de Tlalpan (Enciso, 1979; GDF, 2011a; Siebe, 2009).

La principal litología presente en el Bosque de Tlalpan es el basalto de olivino variando la abundancia de feldespatos y piroxena, con coloraciones que van desde el gris o verde oscuro, hasta el café o negro (Enciso, 1979; GDF, 2011a; Lara, 2016).

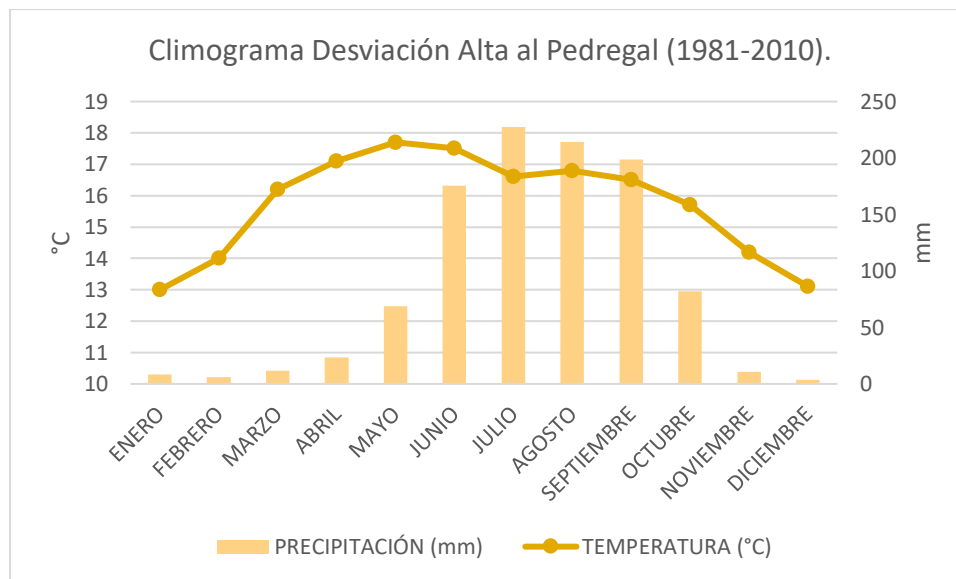
Existen dos principales formaciones de suelo en el Bosque de Tlalpan: una, formada encima de los flujos de lava del Xitle y otra, presente en los sitios que no fueron cubiertos por los mismos. En el primer caso se observan suelos someros de tipo litosol y feozem háplico y calcárico, siendo la textura predominante la media o la limosa. En el caso de los sitios no cubiertos por lava, la principal unidad edáfica es el feozem (H) o suelos de “tepetate” (GDF, 2011a).

De acuerdo con la modificación a la clasificación climática de Köppen de Enriqueta García (1964) el clima presente en el Bosque de Tlalpan es el C(w1)(w)b(i'): templado húmedo intermedio con lluvias en verano; verano fresco y de larga duración; con porcentaje de lluvia invernal menor al 5% de la precipitación anual y oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 5°C y 7°C (GDF, 2011a).

Durante el año se presentan dos temporadas marcadas por una diferencia de temperatura y de precipitación: una temporada fría y seca que abarca de noviembre a mediados de mayo; y otra temporada cálida y lluviosa de mediados de mayo a octubre. La temperatura media anual se encuentra alrededor de los 15°C, siendo enero el mes más frío con una temperatura promedio de 11.4°C; y julio el más cálido con temperatura promedio de 17.6°C (GDF, 2011a).

Con datos disponibles de las normales climatológicas de la estación meteorológica más cercana al Bosque de Tlalpan “Desviación alta al Pedregal”, perteneciente a la red del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se determinó que la temperatura anual promedio en la zona en el periodo 1981-2010 es de 15.7° C, con 23.3°C como máxima anual, y 8.1°C como mínima anual; mientras que la precipitación anual promedio es de 1,030.3 mm (SMN, s/a). (Figura 3.4).

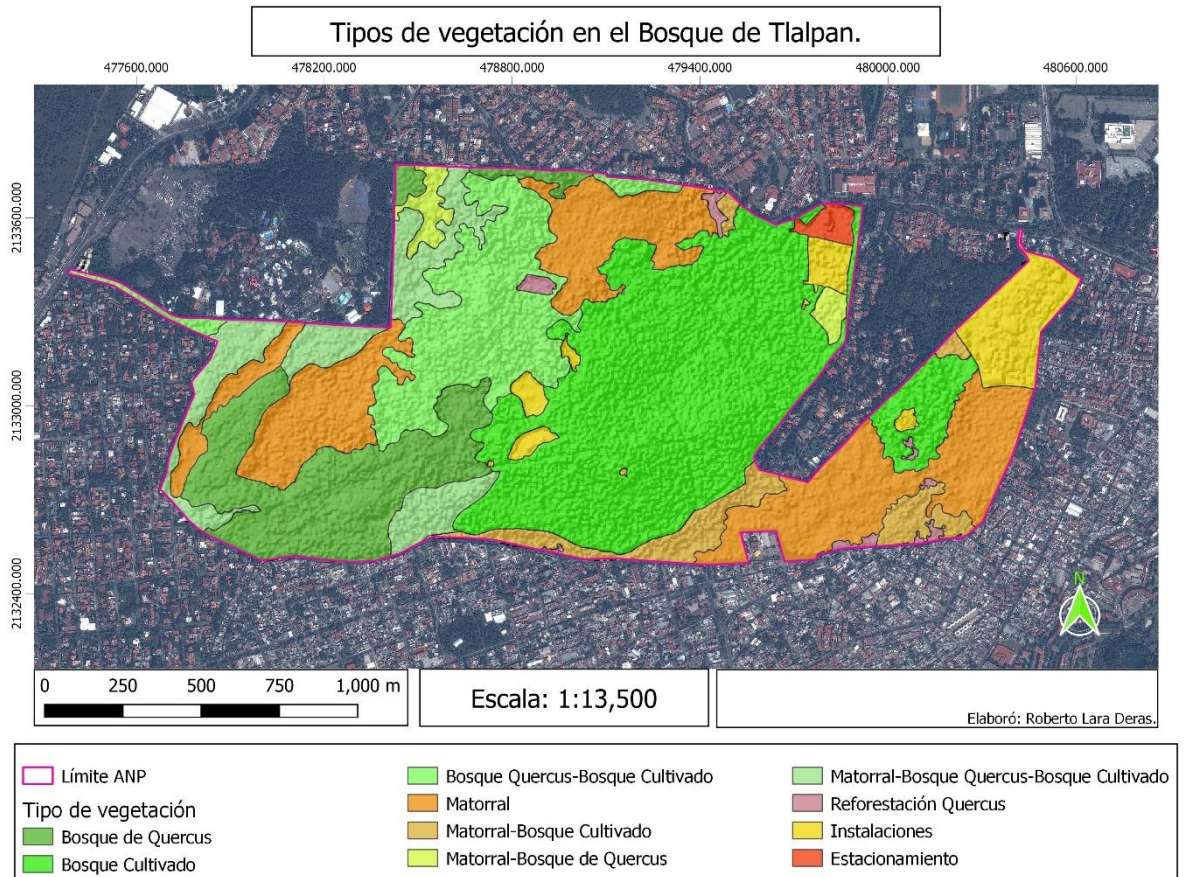
**Figura 3.4.** Climograma de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal.



**Fuente:** elaborado con base en SMN, s/a.

Respecto a la biodiversidad presente en el Bosque de Tlalpan, originalmente existían tres principales ecosistemas nativos: el bosque de pino, bosque encino y el matorral xerófilo, sin embargo, debido a los procesos sucesionales y a la presión antrópica, actualmente los tres principales tipos de vegetación presentes en el ANP son: el bosque de encino, el matorral xerófilo, y el bosque cultivado, siendo éste último formado artificialmente (como su nombre lo indica); en ellos se puede encontrar una gran diversidad de especies (Figura 3.5).

**Figura 3.5.** Tipos de vegetación en el Bosque de Tlalpan.



Fuente: elaborado con base en ANP Bosque de Tlalpan, 2019.

El ecosistema con mayor biodiversidad en el Bosque de Tlalpan (y posiblemente en toda la Cuenca de México) es el matorral xerófilo, en el que, como su nombre lo indica, la vegetación dominante está acostumbrada a ambientes áridos, que en este caso lo ocasiona, por un lado, la aridez edáfica originada por el sustrato basáltico, y por otra parte, la prolongada temporada sin lluvias en la Ciudad de México. Este ecosistema también es llamado *Senecionetum praecosis*, debido a la abundancia de la especie *Senecio* (o *Pittocaulum*) *praecox*, llamado comúnmente como palo loco (GDF, 2011a; Rzedowski, 1954).

Algunas especies de plantas representativas del matorral xerófilo son los agaves (*Agave spp.*), la siempreviva (*Sedum oxypetalum*), la oreja de burro (*Echeveria gibbiflora*), la dalia (*Dahlia coccinea*), el nopal (*Opuntia tomentosa*), la biznaga del chilito (*Mammillaria magnimamma*), y el tepozán (*Buddleja cordata*) (GDF,

2011a; Lara, 2016). Cabe señalar que algunas de estas especies pueden estar compartidas tanto con el bosque de encino, como con el bosque cultivado.

El bosque de encino se localiza principalmente al oeste del Bosque de Tlalpan, aprovechando los espacios con mayor altitud del polígono del ANP. En este ecosistema se tienen registradas siete especies de encinos o *Quercus*, siendo la principal de ellas *Q. rugosa*, y cuyas alturas pueden variar de 3 a 12 m. Estos árboles tienen convivencia con las especies del matorral xerófilo y del bosque cultivado (GDF, 2011a).

El bosque cultivado, como su nombre lo indica, se compone principalmente por especies introducidas ajenas a los ecosistemas nativos antes mencionados. Las especies características de este bosque cultivado pueden alcanzar hasta los 16 metros de altura; algunas de ellas son los eucaliptos (*Eucalyptus spp.*), cipreses (*Cupressus spp.*), pinos (*Pinus spp.*), fresno (*Fraxinus udhei*), y acacia (*Acacia longifolia*). Dentro de este tipo de vegetación, también existen algunas zonas de reforestación con diferentes especies de encinos (GDF, 2011a).

Es importante señalar que algunas de las especies vegetales del Bosque de Tlalpan se encuentran bajo alguna categoría de protección dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001, como es el caso de *Bletia urbana* y *mammillaria san angelensis* (GDF, 2011a).

En cuanto a fauna silvestre, el Programa de Manejo del Bosque de Tlalpan de 2011 indica que no se cuenta con algún inventario científico del ANP en el tema, por lo que las especies que en él se mencionan, se tomaron como referencia de los relictos de los ecosistemas cercanos, con los cuales es muy probable que se compartan la mayoría de ellas.

La fauna presente está representada tanto por invertebrados, principalmente artrópodos (insectos, arácnidos, miriápodos y crustáceos), y por vertebrados como aves, mamíferos, reptiles y anfibios. Algunos ejemplos de especies presentes (o que pudieran estarlo) en el Bosque de Tlalpan son: lagartija del pedregal (*Sceloporus torquatus*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), murciélago trompudo (*Choeronycteris mexicana*) la serpiente de cascabel de cola negra (*Crotalus molossus*), alacrán (*Vaejovis mexicanus*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), y carpintero mexicano (*Picoides scalaris*) (GDF, 2011a; SEDEMA, 2018; SEREPSA, 2008).

Los inicios del contexto socio-ecosistémico y cultural se puede remontar a la presencia cuicuilca en la zona, cuyo principal centro ceremonial, Cuicuilco, tuvo que ser abandonado por sus habitantes debido a la erupción del volcán Xitle ocurrida hace aproximadamente 1,600 años, cuyas lavas cubrieron parte del Gran Basamento Circular (GDF, 2011a).

Dentro del área que actualmente comprende el Bosque de Tlalpan, existen sitios arqueológicos relacionados a la cultura cuicuilca como la pirámide de Tenantongo y la Piedra de los Sacrificios. Lamentablemente hoy en día no han existido trabajos de rescate, por lo que su estado de conservación se encuentra deteriorado (GDF, 2011a).

La zona del Bosque de Tlalpan no tuvo mayores transformaciones sino hasta mediados del siglo XIX, cuando en 1845 comenzó el funcionamiento de la fábrica de papel de la Hacienda de Peña Pobre, que posteriormente se uniría con la fábrica de Loreto para crear las Fábricas de Papel Loreto y Peña Pobre S. A. y con ello, el consumo de agua y madera de los alrededores aumentó considerablemente, por lo que para el año 1935 se realizaron intentos de reforestación en cerros como el de Zacatepetl y Zacayuca, los cuales lamentablemente se realizaron con especies exóticas al lugar, lo que significó alteraciones en la flora y fauna nativa (GDF, 2011a).

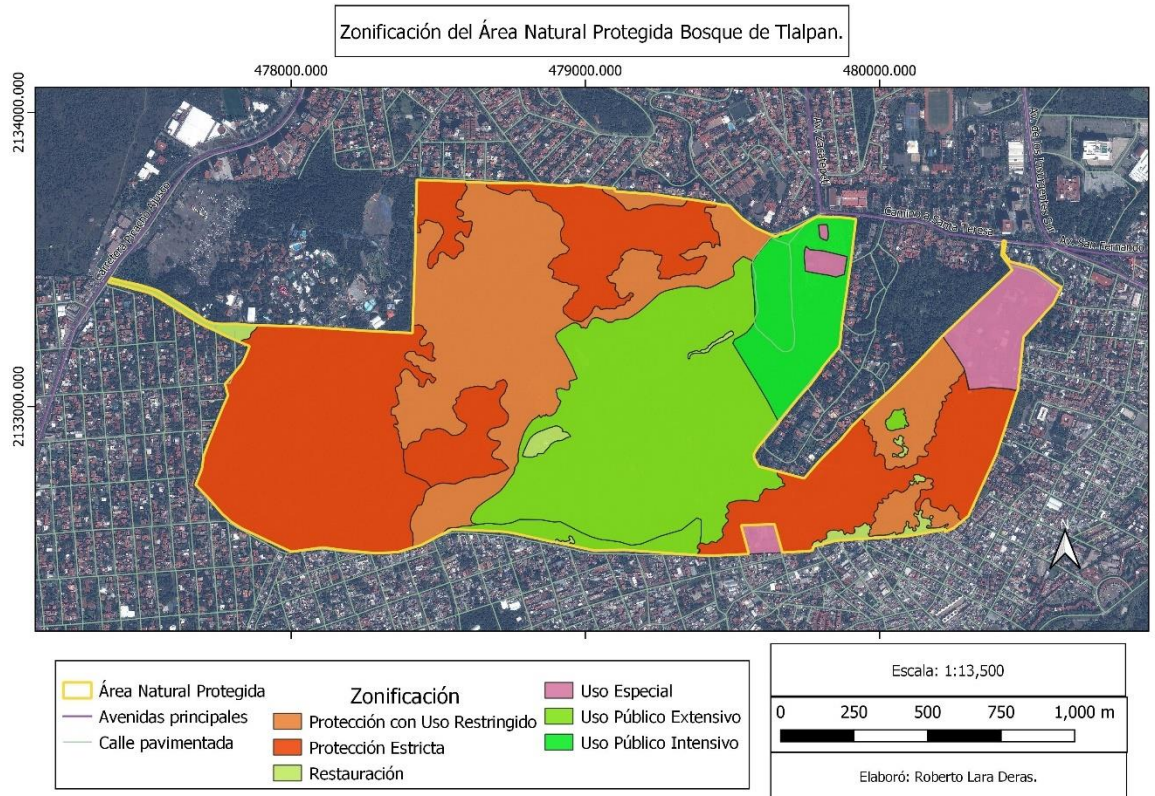
Para la segunda década del siglo XX en 1968, el entonces Departamento del Distrito Federal (DDF) adquirió los terrenos que actualmente constituyen el núcleo original del Bosque de Tlalpan, parte de los cuales se acondicionaron como áreas verdes recreativas que incluyeron viveros, cabañas, zonas de entrenamiento para las brigadas contra incendios, e incluso un pequeño zoológico; dichas áreas abrieron al público en general en 1970, pero es hasta 1997 que se decretaron 252.86 ha. como ANP bajo la categoría de Parque Urbano (GDF, 2011a; GDF, 2011b).

En 2002, el Bosque de Tlalpan se reclasificó como Zona de Preservación Ecológica, y en 2007 se modifica su categoría nuevamente como Zona Ecológica y Cultural, la cual sigue vigente hasta el día de hoy bajo la administración de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) de la Ciudad de México (GDF, 2011a; SMA, 2012). La categoría de Zona Ecológica y Cultural se define como zonas “con importantes valores ambientales y ecológicos, donde

también se presentan elementos físicos, históricos o arqueológicos o se realizan usos y costumbres de importancia cultural” (Artículo 92 Bis 2, LAPTDF, 2017).

Es importante mencionar que para el año 2009 se publicó el primer Programa de Manejo del Bosque de Tlalpan, cuya actualización en el 2011 sigue vigente y en él se muestra la zonificación del ANP (GDF, 2011a) (Figura 3.6).

**Figura 3.6.** Zonificación del ANP Bosque de Tlalpan.



Fuente: elaborado con base en ANP Bosque de Tlalpan, 2019.

### 3.2 Estrategia metodológica e instrumentos

Para poder determinar los contrastes térmicos entre los diferentes tipos de vegetación dentro del ANP Bosque de Tlalpan y sus alrededores de carácter urbano de la Ciudad de México, se siguió la siguiente metodología:

Se realizaron recorridos de reconocimiento en la zona de estudio, utilizando el método de transectos de Schmidt y Peppler, teniendo como instrumento de medición un sensor ambiental Kestrel 5200. En los recorridos se observaron



algunas situaciones con el uso de dicho método: debido a que la toma de datos es manual, el levantamiento sólo puede realizarse dentro de los horarios de visita del Bosque de Tlalpan (5:30 a 17:00 hrs.); para realizar recorridos Norte-Sur, y Este-Oeste de forma sincrónica, es necesario contar con el doble de equipamiento (tanto personal como instrumental); y, los recorridos al tener que realizarse sin salir de los caminos y veredas con las que cuenta el Boque de Tlalpan, la toma de temperatura puede verse afectada por la misma infraestructura.

Para hacer frente a dichas situaciones se decidió utilizar un método de observación de temperatura fija similar al usado por Lee *et al* (2009), en el que se utilizaron sensores ambientales automáticos en diferentes puntos de un parque urbano y sus alrededores de la ciudad de Seúl, Corea del Sur.

Para el caso particular de la zona de estudio, se generó una microrred de monitoreo, utilizando los sensores de temperatura automáticos Kestrel D2 (Figura 3.7), los cuales se ajustaron para que la toma de datos se realizara en intervalos de una hora, las 24 horas del día. El periodo de monitoreo respondió principalmente a la disponibilidad de los sensores, el cual abarcó diversos días de la temporada cálida (agosto, septiembre y octubre), y de la temporada fría (noviembre) del año 2018.

**Figura 3.7.** Sensores de temperatura automáticos utilizados para el levantamiento de datos.



Fuente: Kestrelmeters, s/a.

Cabe señalar que el personal del Bosque de Tlalpan recomendó por experiencia propia, montar algún tipo protección en los sensores para evitar del mordisqueo de ardillas. Por tal motivo, y para disminuir su visibilidad, se decidió pintar y proteger el equipo de medición como se muestra en la Figura 3.8, evitando que dichas adecuaciones interfirieran o modificaran la toma de datos.

**Figura 3.8.** Adecuaciones de seguridad aplicadas a los sensores ambientales automáticos.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

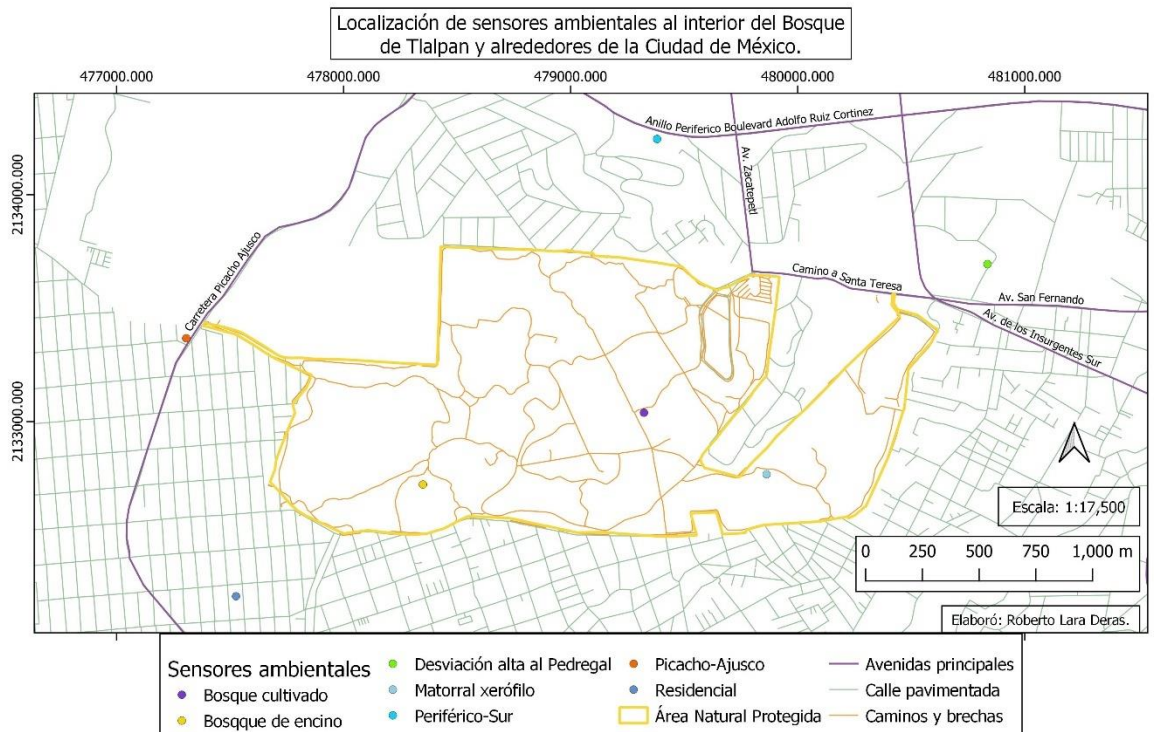
En total se contaron con seis sensores colocados en diferentes sitios para el monitoreo de datos: tres al interior del Bosque de Tlalpan, y tres en sus alrededores urbanos de la CDMX. Al interior del Bosque de Tlalpan se identificaron como los tres principales tipos de vegetación: el bosque de encino, el matorral xerófilo, y el bosque cultivado; cada uno de ellos se seleccionó teniendo en consideración principalmente dos puntos: que los lugares contaran con cierto grado de conservación de elementos representativos del tipo de vegetación; y que no estuvieran a plena vista de las personas (por cuestiones de seguridad del equipo de medición). Los sitios de monitoreo en los alrededores urbanos del Bosque de Tlalpan se seleccionaron con base en los siguientes

critérios: que estuvieran ubicados de tal forma que se cubrieran diferentes flancos del perímetro del Bosque de Tlalpan; y la disponibilidad de espacios seguros para los sensores.

Además de los sensores colocados, también se utilizaron los datos de temperatura disponibles de la estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) “Desviación Alta al Pedregal”, que fue la más cercana a la zona de estudio.

La distribución de los sensores (incluyendo la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal) se puede observar en la Figura 3.9.

**Figura 3.9.** Distribución de los sensores térmicos en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores de la CDMX.



Fuente: SMN, s/a; trabajo en campo, 2018.

A continuación, se describirán los sitios donde se colocaron los sensores de temperatura para el monitoreo de datos:

**Bosque cultivado:** El sensor fue colocado en un cedro (*Cupressus sp.*) en un ambiente de sombra, a una altura aproximada de 3.5 metros del suelo, en un estrato arbóreo de hasta 16 metros de altura (GDF, 2011b). La altitud del lugar es de 2,375.7 msnm. Las especies de árboles a los alrededores del sitio corresponden principalmente a individuos de la misma especie (*Cupressus sp.*), intercalados con pinos (*Pinus spp.*) y Eucaliptos (*Eucalyptus spp.*). A nivel de suelo la especie predominante es el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

Debido a que este sensor pertenecía al personal del Bosque de Tlalpan, no se contó con una fotografía del mismo colocado en el sitio, sin embargo, en la Figura 3.10 se muestra el lugar donde se encontraba montado originalmente.

**Figura 3.10.** Sitio donde se encontraba el sensor de temperatura colocado en el Bosque cultivado.



Ambiente general del sitio



Detalle del sitio

Fuente: trabajo en campo, 2018.

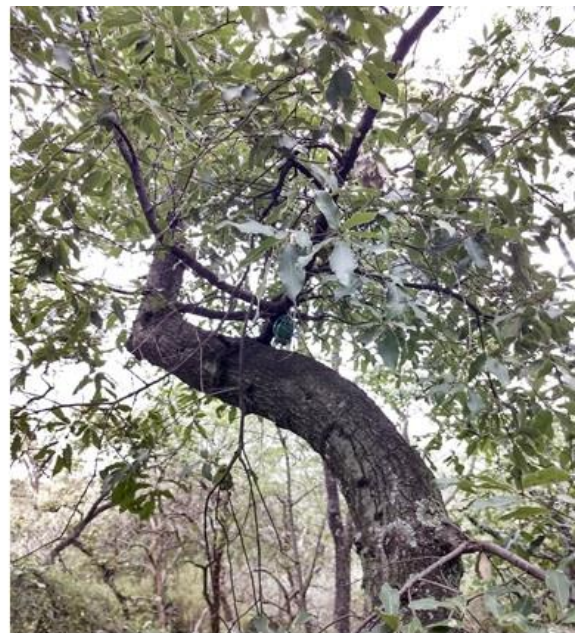
**Bosque de encino:** El sensor fue colocado en un encino (*Quercus sp.*), en un ambiente de sombra, a una altura aproximada de 2.15 metros del suelo, en un estrato arbóreo de hasta 12 metros de altura (GDF, 2011b). La altitud del lugar

es de 2,450.9 msnm. Las especies de árboles a los alrededores del sitio corresponden principalmente a individuos de la misma especie (*Quercus sp.*), y sólo algunos tepozanes (*Buddleja cordata*). A nivel de suelo se observaron salvias (*Salvia sp.*), helechos (*Phlebodium sp.*), zacatón (*Muhlenbergia robusta*) agave (*Agave salmiana*), y algunas cactáceas como el nopal (*Opuntia sp.*) y biznagas (*Mammillaria magnimamma*) (Figura 3.11). Cabe mencionar que en este sitio se utilizaron las adecuaciones ya mostradas en la Figura 3.8

**Figura 3.11.** Sensor térmico colocado en el sitio Bosque de encino.



Ambiente general del sitio

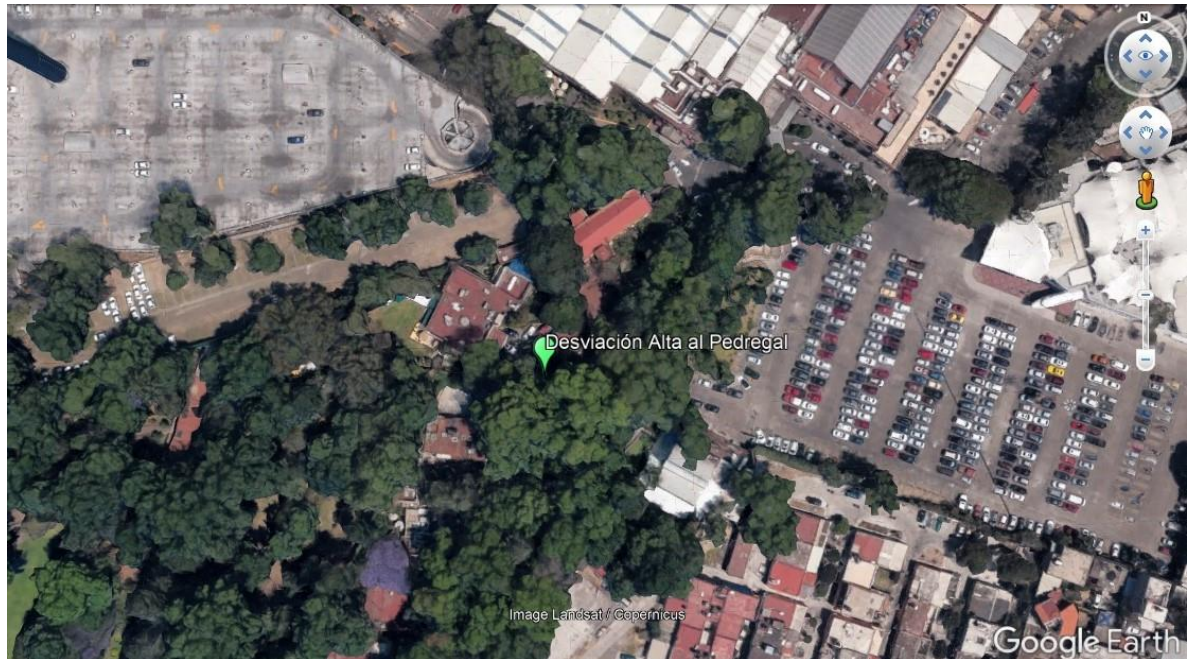


Detalle del sensor

Fuente: trabajo en campo, 2018.

**Desviación Alta al Pedregal:** Debido a que no se tuvo acceso directo a la estación meteorológica, la cual se encuentra a una distancia en línea recta con el punto más cercano del perímetro del Bosque de Tlalpan de 614 metros, y una altitud de 2,290.8 msnm., en la Figura 3.12 se muestra una vista aérea de la zona como referencia del ambiente cercano al sitio. El número de la estación es la 9020 y se localiza a 2, 296 msnm (SMN, s/a). Algunas especies de árboles que se lograron identificar en los alrededores son cedros (*Cupressus sp.*), fesos (*Fraxinus sp.*), y jacarandas (*Jacaranda mimosifolia*).

**Figura 3.12.** Ambiente general en la estación meteorológica del SMN  
Desviación Alta al Pedregal.



Fuente: Google Earth s/a.

**Matorral xerófilo:** El sensor fue colocado en un tronco semiseco de tepozán (*Buddleja cordata*) cubierto en parte por heno (*Tillandsia sp.*), y algunas ramas secas de una especie que no se logró identificar, en un ambiente de semi sombra, a una altura aproximada de 1.50 metros del suelo, en un estrato arbóreo de dos a cinco metros de altura (GDF, 2011b). La altitud del lugar es de 2,379.1 msnm. Debido a que el sitio es un matorral, no hay presencia de árboles, con excepción de algunos tepozanes de baja altura (alrededor de dos metros). En los alrededores existen gran variedad de especies como son nopales (*Opuntia sp.*), palo loco (*Senecio praecox*), biznagas (*Mammillaria magnimamma*), oreja de burro (*Echeveria gibbiflora*), rama de la cruz (*Eupatorium sp.*), helechos (*Cheliantes sp.* y *Phlebodium sp.*), etc. (Figura 3.13). Cabe mencionar que en este sitio se utilizaron las adecuaciones ya mostradas en la Figura 3.8.

**Figura 3.13.** Sensor térmico colocado en el sitio Matorral xerófilo.



Ambiente general del sitio



Detalle del sensor

Fuente: trabajo en campo, 2018.

**Periférico-Sur:** El sensor fue colocado en el poste de metal un letrero comercial, en la azotea de de un restaurante, en un ambiente urbano y luz directa, a una altura aproximada de 5.2 metros del suelo (nivel de calle), y a una distancia en línea recta con el punto más cercano del perímetro del Bosque de Tlalpan de 540 metros. La altitud del lugar es de 2,338.1 msnm. Debido a que el sitio se encuentra sobre una avenida principal, la mayor parte de la cobertura es de pavimento y concreto, a excepción de algunas jardineras y camellones con vegetación, en los que se observan principalmente pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), truenos (*Ligustrum sp.*), y fresnos (*Fraxinus sp.*). (Figura 3.14). Por cuestiones de seguridad, en este sitio se decidió colocar el sensor junto con un candado.

**Figura 3.14.** Sensor térmico colocado en el sitio Bosque cultivado.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

**Picacho-Ajusco:** El sensor fue colocado en una reja protectora de un local comercial, en un ambiente de luz directa, a una altura aproximada de 4.5 metros del suelo, y a una distancia en línea recta con el punto más cercano del perímetro del Bosque de Tlalpan de 85 metros. La altitud del lugar es de 2,455.8 msnm. Debido a que el sitio se encuentra sobre una avenida principal, la mayor parte de la cobertura es de pavimento y concreto, con una notable ausencia de espacios con vegetación (a excepción de los jardines en casas privadas) (Figura 3.15). Por cuestiones de seguridad, en este sitio se decidió colocar el sensor junto con un candado.



**Figura 3.15.** Sensor térmico colocado en el sitio Picacho-Ajusco.



Ambiente general del sitio



Detalle del sensor

Fuente: trabajo en campo, 2018.

**Residencial:** El sensor fue colocado en un pasamanos metálico de una escalera, situada entre el jardín de la casa y la parte construida, en un ambiente de luz directa, a una altura aproximada de 3.80 metros del suelo, y a una distancia en línea recta con el punto más cercano del perímetro del Bosque de Tlalpan de 495 metros. La altitud del lugar es de 2,496.3 msnm. El material de la parte construida corresponde principalmente a concreto y ladrillo, y en la parte del jardín se observan especies como el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), encinos (*Quercus sp.*), y árboles cultivados de durazno (*Prunus persica*) y limón (*Citrus limon*) (Figura 3.16).

**Figura 3.16.** Sensor térmico colocado en el sitio Residencial.



Parte con construcción del sitio



Parte con ajardinamiento del sitio

Fuente: trabajo en campo, 2018.

A partir de los resultados del monitoreo, se calculó el contraste por medio de una diferencia de temperaturas entre los distintos sitios.

Con la ayuda de la paquetería de acceso libre RStudio se realizó para cada mes, una prueba de análisis de varianza (ANOVA) entre las temperaturas de los diferentes sitios de levantamiento, para identificar si existían diferencias significativas entre ellos, teniendo el siguiente juego de hipótesis:

- $H_0$ : No existen diferencias significativas en las temperaturas medias de los diferentes tipos de vegetación dentro del Bosque de Tlalpan con respecto a las presentes en los alrededores de carácter urbano.
- $H_1$ : Las temperaturas medias de los diferentes tipos de vegetación dentro del Bosque de Tlalpan son significativamente menores con respecto a las presentes en alrededores de carácter urbano.

Posteriormente, se aplicó el método o prueba de Tukey para comparaciones múltiples, con la finalidad de identificar entre qué pares de comparaciones de las distintas coberturas se encuentran las diferencias significativas, centrandó la atención en los pares entre los sitios al interior del Bosque de Tlalpan y sus alrededores urbanos de la CDMX. Ambas pruebas (ANOVA y Tukey) se realizaron con un nivel de significancia del 95% con un valor de  $\alpha=0.05$ .

Para la elaboración cartográfica se utilizó el Sistema de Información Geográfica de acceso libre QGIS, y en específico, la herramienta de interpolación IDW.

En el siguiente capítulo se muestran las temperaturas medias, máximas y mínimas registradas en cada sitio y su representación espacial, así como los resultados obtenidos de las pruebas ANOVA y de Tukey.

Como referencia se incluyó para cada mes, la comparación de la marcha diurna de la temperatura de un día de los diferentes sitios de monitoreo. El día de muestra se seleccionó teniendo en consideración la fecha en la que más sensores hayan registrado la máxima temperatura en el mes.

También se utilizaron los resúmenes de datos disponibles de la estación meteorológica más cercana al Bosque de Tlalpan perteneciente a la red del SMN, "Desviación Alta al Pedregal", para la elaboración de climogramas y tener mayores puntos georreferenciados para la elaboración de las interpolaciones presentadas en los mapas de temperatura. Cabe mencionar que dichos resúmenes tienen una gran variabilidad térmica entre las temperaturas máximas y las mínimas, por lo que se utilizaron únicamente como referencia y no se incluyeron en los análisis mencionados en los párrafos anteriores.

## 4. Contraste térmico en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores de carácter urbano.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los meses de monitoreo.

### 4.1 Contraste térmico en el mes de agosto

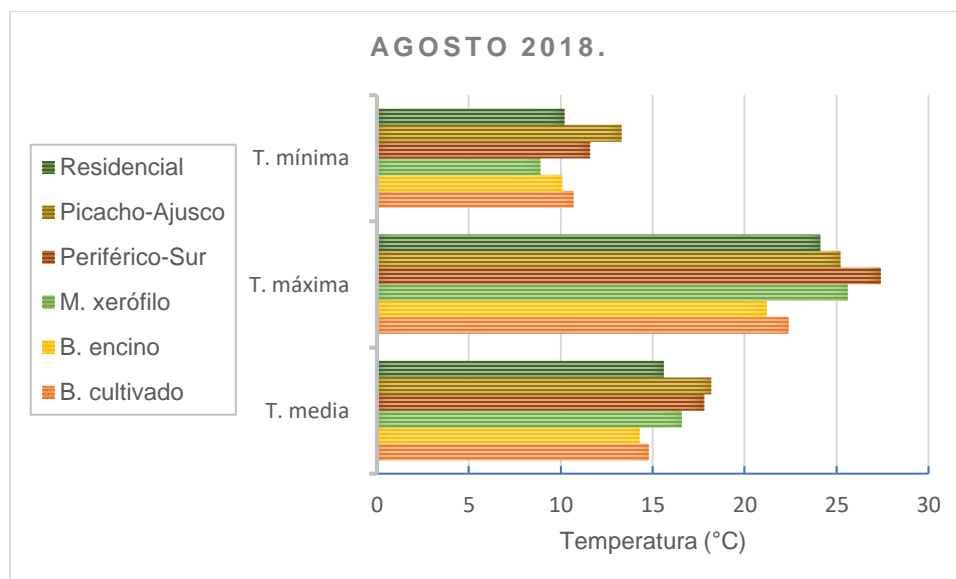
Los sensores colocados al interior y exterior del Bosque de Tlalpan registraron datos desde el día 23 de agosto a las 9:00 hrs., hasta el día 31 de agosto a las 23:00 hrs., cuyas temperaturas medias, máximas y mínimas se muestran en la Tabla 4.1, y su representación gráfica en la Figura 4.1. Adicionalmente, como referencia, se contó con los resúmenes de datos de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal, la cual registró para este mes una temperatura media de 14.3°C, una máxima de 28°C, y una mínima de 5°C.

**Tabla 4.1.** Temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de agosto de 2018.

AGOSTO	T. media (°C)	T. máxima (°C)	T. mínima (°C)
B. cultivado	14.8	22.4	10.7
B. encino	14.3	21.2	10.1
M. xerófilo	16.6	25.6	8.9
Periférico-Sur	17.8	27.4	11.6
Picacho-Ajusco	18.2	25.2	13.3
Residencial	15.6	24.1	10.2

Fuente: trabajo en campo, 2018.

**Figura 4.1.** Gráfica de temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de agosto de 2018.

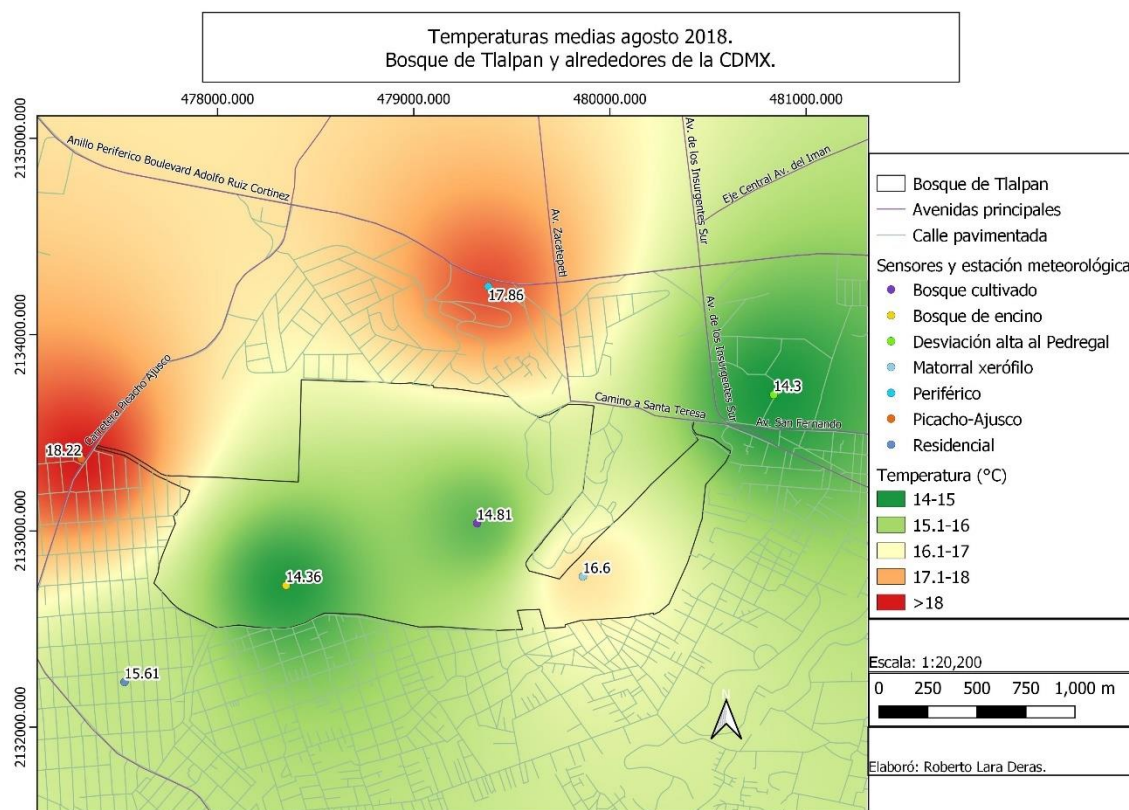


Fuente: trabajo en campo, 2018.

De la Tabla 4.1 y la Figura 4.1, podemos identificar que la mayor temperatura media se observó en Picacho-Ajusco (18.2°C), mientras que la menor en el bosque de encino (14.3°C). La temperatura máxima mayor se observó en Periférico-Sur (27.4°C), y la menor en el bosque de encino (21.2°C). Para las temperaturas mínimas, la mayor se observó en Picacho-Ajusco (13.3°C), y la menor en el matorral xerófilo (8.9°C). Cabe señalar que la cobertura que presentó mayor variabilidad térmica (16.7°C) fue el matorral xerófilo, cuyas temperaturas van desde los 8.9°C a los 25.6°C.

Para analizar la distribución espacial de dichos contrastes, de la Figura 4.2 a la 4.4, se muestran los mapas correspondientes para las temperaturas medias, máximas y mínimas, en las que se incluyeron los datos disponibles de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal.

**Figura 4.2.** Mapa de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de agosto de 2018.

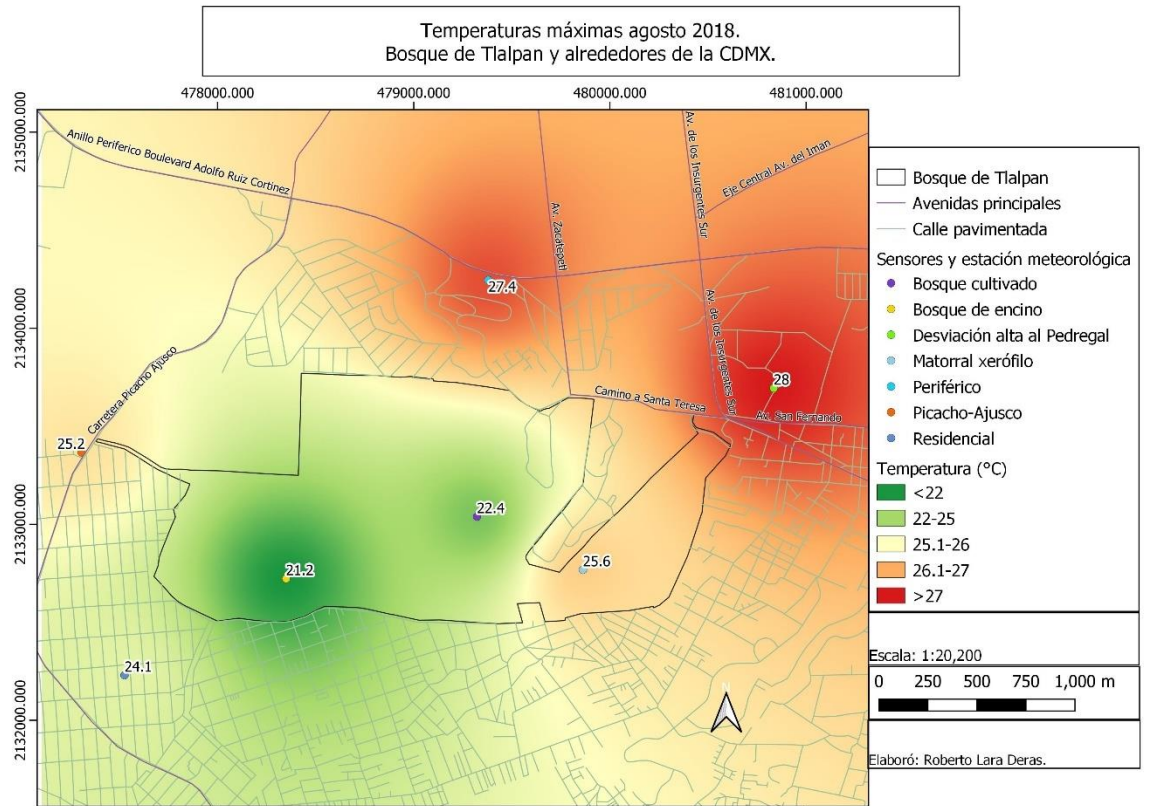


Fuente: trabajo en campo, 2018.

De la Figura 4.2, podemos decir que al interior del Bosque de Tlalpan se observan temperaturas más bajas respecto a las ubicadas en los alrededores urbanos, siendo el bosque de encino (14.3°C) más fresco que el bosque cultivado (14.8°C). Es importante mencionar que el matorral xerófilo (16.6°C) es el tipo de vegetación al interior del Bosque de Tlalpan que presenta mayores temperaturas, inclusive por encima de la zona residencial (15.6°C) y de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal (14.3°C), lo cual pudiera responder principalmente a que en estos últimos dos sitios se encuentran especies arbóreas similares al bosque de encino y bosque cultivado, mientras que en el matorral, como su nombre lo indica, la presencia de árboles de gran tamaño es menor. Los sitios con mayor temperatura son los ubicados en Picacho-Ajusco (18.2°C) y

Periférico-Sur (18.7°C) los cuales representan los sitios de mayor carácter urbano.

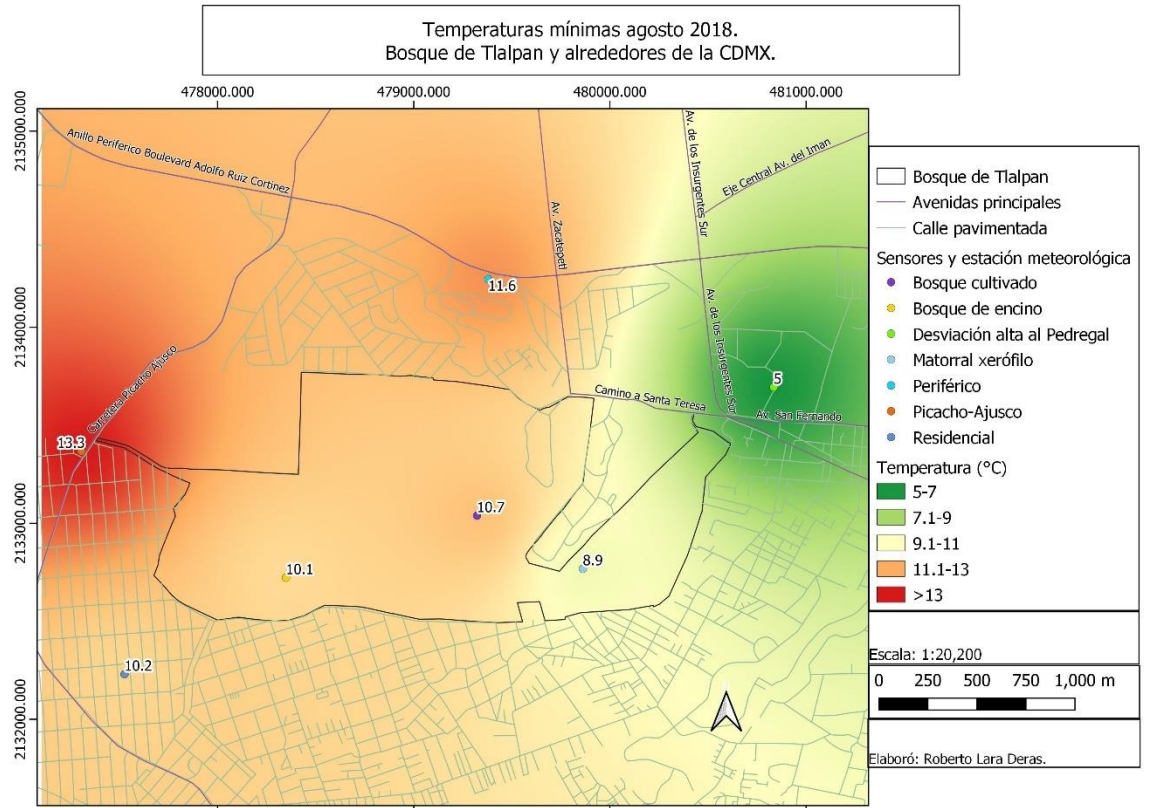
**Figura 4.3.** Mapa de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de agosto de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

Para las temperaturas máximas, en la Figura 4.3 podemos observar que el bosque de encino (21.2) y el bosque cultivado (22.4), se mantienen con temperaturas más bajas respecto a los alrededores del Bosque de Tlalpan, sin embargo, el matorral xerófilo (25.6°C) presenta temperaturas máximas similares a los sitios urbanos, inclusive superiores a Picacho-Ajusco (25.2°C) y la zona residencial (24.1°C). Los sitios con mayor temperatura son los ubicados en la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal (28°C), y Periférico-Sur (27.4°C).

**Figura 4.4.** Mapa de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de agosto de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

Respecto a las temperaturas mínimas, es importante mencionar que la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal (5°C) registró datos muy por debajo en comparación con los registrados en los demás sensores térmicos, sin embargo, de estos últimos podemos observar en la Figura 4.4 que de manera general las temperaturas mínimas al interior del Bosque de Tlalpan son menores a la de los alrededores urbanos, siendo el matorral xerófilo (8.9°C) el sitio más fresco, seguido del bosque de encino (10.1°C), mientras que la zona residencial (10.2°C) presentó una temperatura menor que el bosque cultivado (10.7°C). Los sitios con las temperaturas mínimas mayores son Picacho-Ajusco (13.3°C) y Periférico-Sur (11.6°C). Cabe señalar que el contraste de las temperaturas



mínimas entre el interior del Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos, es menor que el registrado en las temperaturas medias y máximas.

En promedio, el contraste térmico de temperaturas medias indicó que el interior del Bosque Tlalpan es 2°C más fresco que los alrededores urbanos, sin embargo, para poder hacer un análisis entre cada par de comparaciones, se elaboró una matriz (Cuadro 4.1), en la que se observó que el bosque de encino fue tipo de vegetación que mayor intensidad presentó (3.8°C con Picacho-Ajusco) seguido del bosque cultivado (3.5°C con Periférico-Sur) y el matorral xerófilo (1.6°C con Picacho-Ajusco) .Es importante señalar que el matorral xerófilo fue más cálido (0.99°C) que la zona residencial.

**Cuadro 4.1.** Matriz de contrastes de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de agosto de 2018.

T. MEDIA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	2.24					
B. cultivado	0.45	1.79				
Residencial	1.25	0.99	0.8			
Picacho-Ajusco	3.86	1.62	3.41	2.61		
Periférico-Sur	3.5	1.26	3.5	2.5	0.36	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

Para el caso de los contrastes de las temperaturas máximas, el Bosque de Tlalpan en promedio fue 2.5°C más fresco que la parte urbana. En la matriz del Cuadro 4.2 se observa que el bosque de encino fue el tipo de vegetación que mayor contraste presentó (6.2°C con Periférico-Sur) seguido del bosque cultivado (3.5°C con Periférico-Sur). El matorral xerófilo presentó temperaturas menores (1.8°C) con Periférico-Sur, pero fue más cálido que la zona residencial (1.5°C) e inclusive que Picacho-Ajusco (0.4°C).

**Cuadro 4.2.** Matriz de contrastes de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de agosto de 2018.

T. MÁXIMA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	4.4					
B. cultivado	1.2	3.2				
Residencial	2.9	1.5	1.7			
Picacho-Ajusco	4	0.4	2.8	1.1		
Periférico-Sur	6.2	1.8	5	3.3	2.2	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

En cuanto a los contrastes de las temperaturas mínimas, en promedio el Bosque de Tlalpan fue 1.8°C más fresco que la parte urbana. En el Cuadro 4.3 se observa que en este caso, el matorral xerófilo fue el tipo de vegetación con mayor intensidad (4.4°C con Picacho-Ajusco), seguido del bosque de encino (3.2°C con Picacho-Ajusco); el bosque cultivado por un lado, también presenta temperaturas menores tanto con Picacho-Ajusco (2.6°C) como con Periférico-Sur (0.9°C), sin embargo, fue más cálido respecto a la zona residencial (0.5°C).

**Cuadro 4.3.** Matriz de contrastes de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de agosto de 2018.

T. MÍNIMA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	1.2					
B. cultivado	0.6	1.8				
Residencial	0.1	1.3	0.5			
Picacho-Ajusco	3.2	4.4	2.6	3.1		
Periférico-Sur	1.5	2.7	0.9	1.4	1.7	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

Adicionalmente se realizó una prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) (Anexo 1), cuyo valor  $2e-16$ , menor al grado de significancia de  $\alpha=0.05$ , nos permitió rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), determinando que sí existe una diferencia significativa en las temperaturas medias en por lo menos un par de comparaciones.

Posteriormente, se realizó una prueba estadística de Tukey con la finalidad de conocer entre qué pares de comparaciones se encuentran las diferencias significativas (Anexo1). De dichos resultados, se observó que de las 15 comparaciones posibles, 12 presentan valores P menores a  $\alpha=0.05$ , por lo que sus temperaturas medias son significativamente diferentes.

Para visualizar e identificar los resultados correspondientes a las comparaciones entre los sitios al interior del Bosque de Tlalpan y los localizados en los alrededores urbanos, se elaboró una matriz de los valores P obtenidos de la prueba de Tukey (Cuadro 4.4). En ella, podemos identificar que para el mes de agosto, el bosque de encino tiene diferencias significativas con los tres sitios de carácter urbano (residencial, Picacho-Ajusco, y Periférico-Sur), pero para el caso del matorral xerófilo y el bosque cultivado, las diferencias significativas sólo

se encontraron con Picacho-Ajusco y Periférico-Sur, ya que con la zona residencial sus valores P fueron mayores a  $\alpha=0.05$ .

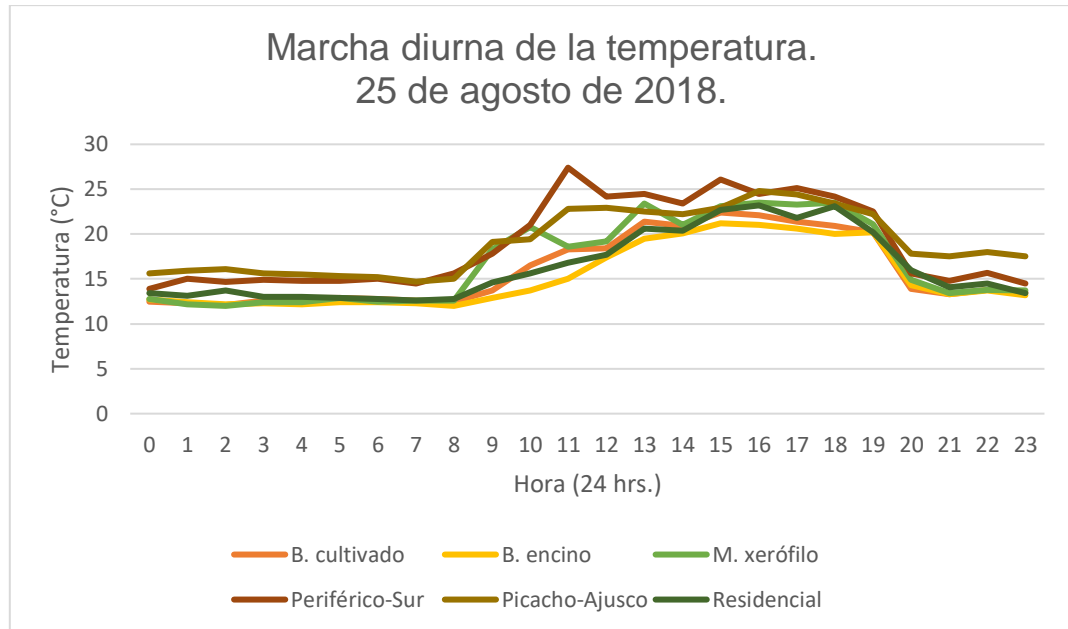
**Cuadro 4.4.** Matriz de valores P para cada una de las comparaciones de temperaturas medias en el mes de agosto de 2018.

<b>AGOSTO</b>	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	0.0001666					
B. cultivado	0.8575409	0.0150389				
Residencial	0.014733	0.860348	0.287997			
Picacho-Ajusco	0	0.0000443	0	0.0000001		
Periférico-Sur	0	0.0000443	0	0.0000001	1	

Las casillas en color verde corresponden a los pares de comparaciones entre los sitios al interior del Bosque de Tlalpan y los localizados en la parte urbana. Los valores en color rojo indican las comparaciones en las que las diferencias fueron significativas. Fuente: trabajo en campo, 2018.

El 25 de agosto fue el día que el mayor número de sensores registraron las máximas temperaturas en el periodo de levantamiento (Periférico-Sur: 27.4°C; bosque de encino: 21.2°C; y bosque cultivado: 22.4°C), por lo que en la Figura 4.5 se muestra la marcha diurna de la temperatura para ese día.

**Figura 4.5.** Marcha diaria comparativa de las temperaturas en las diferentes coberturas del día 25 de agosto de 2018.



**Fuente:** trabajo en campo, 2018.

En la Figura 4.5 podemos observar cómo desde la 0:00 hrs., la temperatura se mantiene relativamente constante en un rango que va desde los 12°C (valor mínimo del día a las 02:00 hrs. en el matorral xerófilo; y a las 8:00 hrs. en el bosque de encino) hasta los 15.9°C, siendo en este horario el bosque de encino la cobertura más fresca, y Picacho-Ajusco la más cálida. A partir de las 8:00 hrs. la temperatura comienza a incrementarse, teniendo los registros más elevados entre las 11:00 y las 15:00 hrs., llegando hasta los 27.4°C (valor máximo de día a las 11:00 h en Periférico-Sur), siendo en este horario el bosque de encino la cobertura más fresca, y Periférico-Sur la más cálida. A partir de las 15:00 hrs. la temperatura se mantiene relativamente estable hasta las 19:00 hrs., momento en el que comienza a descender hasta estabilizarse nuevamente desde las 21:00 hrs. y hasta el comienzo del próximo día.

## 4.2 Contraste térmico en el mes de septiembre

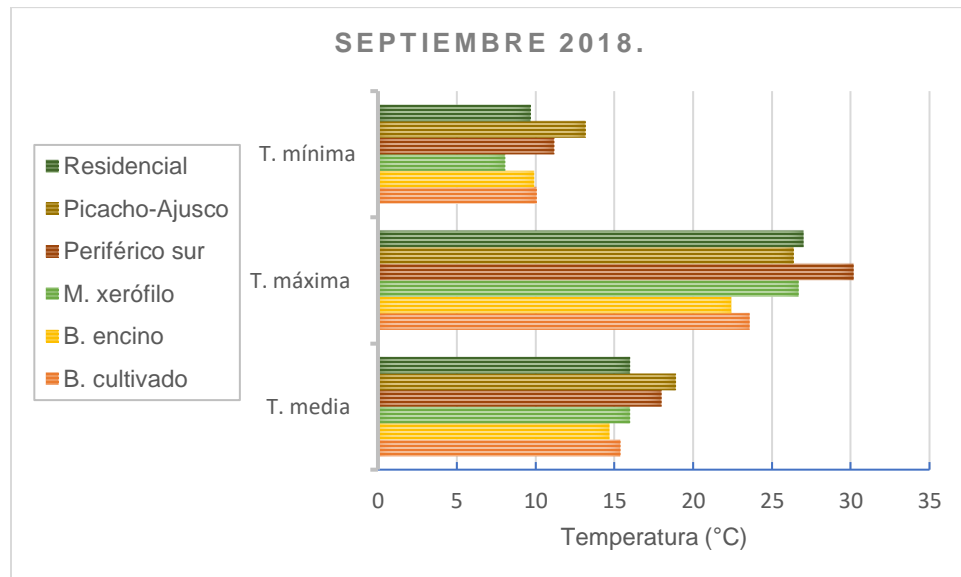
Los sensores colocados al interior y exterior del Bosque de Tlalpan registraron datos desde el día 01 septiembre a las 0:00 hrs., hasta el día 24 de septiembre a las 02:00 hrs., cuyas temperaturas medias, máximas y mínimas se muestran en la Tabla 4.2, y su representación gráfica en la Figura 4.6. Adicionalmente como referencia, se contó con los resúmenes de datos de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal, la cual registró para este mes una temperatura media de 15°C, una máxima de 24°C, y una mínima de 5°C.

**Tabla 4.2.** Temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de septiembre de 2018.

SEPTIEMBRE	T. media (°C)	T. máxima (°C)	T. mínima (°C)
B. cultivado	15.4	23.6	10.1
B. encino	14.7	22.4	9.9
M. xerófilo	16	26.7	8.1
Periférico sur	18	30.2	11.2
Picacho-Ajusco	18.9	26.4	13.2
Residencial	16	27	9.7

Fuente: trabajo en campo, 2018.

**Figura 4.6.** Gráfica de temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de septiembre de 2018.

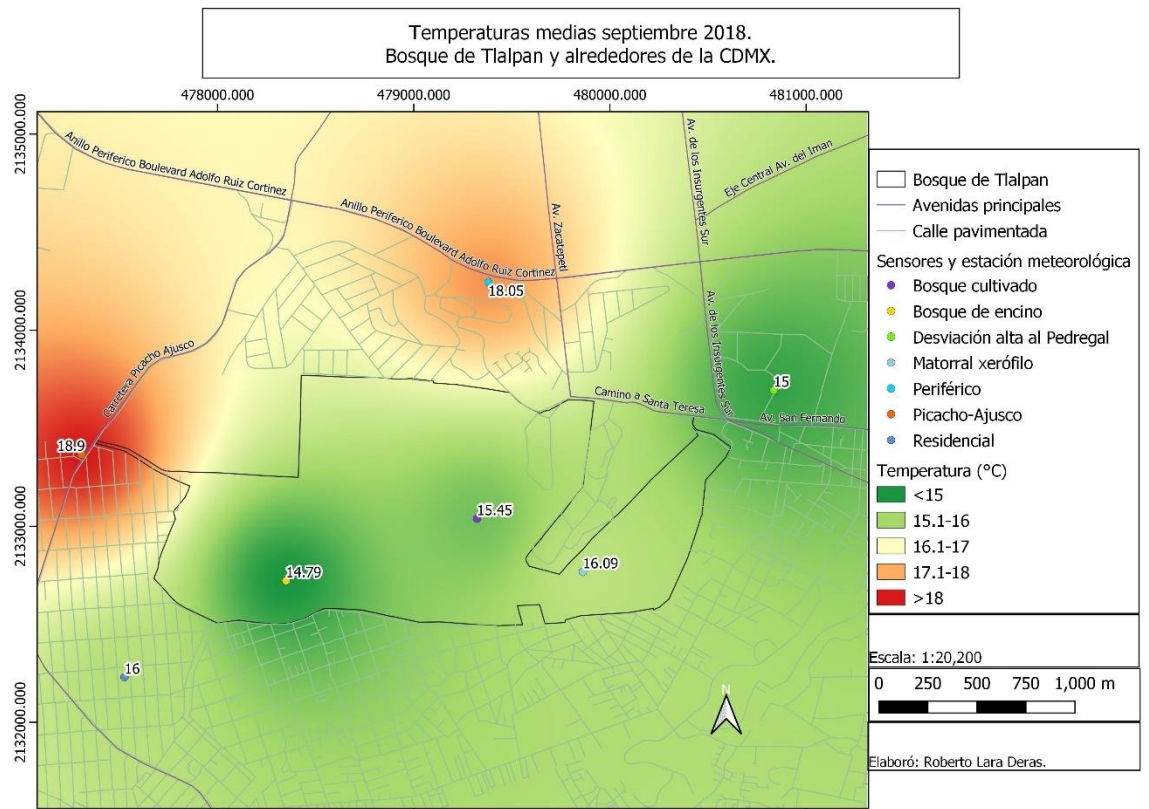


**Fuente:** trabajo en campo, 2018.

De la Tabla 4.2, y la Figura 4.6, podemos identificar que la mayor temperatura media se observó en Picacho-Ajusco (18.9°C), mientras que la menor en el bosque de encino (14.7°C). La temperatura máxima mayor se observó en Periférico-Sur (30.2°C), y la menor en el bosque de encino (22.4°C). Para las temperaturas mínimas, la mayor se observó en Picacho-Ajusco (13.2°C), y la menor en el matorral xerófilo (8.1°C). Al igual que en el mes anterior, la cobertura que presentó mayor variabilidad térmica (18.6°C) fue el matorral xerófilo, cuyas temperaturas van desde los 8.1°C a los 26.7°C.

Para analizar la distribución espacial de dichos contrastes, de la Figura 4.7 a la 4.9, se muestran los mapas correspondientes para las temperaturas medias, máximas y mínimas, en las que se incluyeron los datos disponibles de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal.

**Figura 4.7.** Mapa de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de septiembre de 2018.

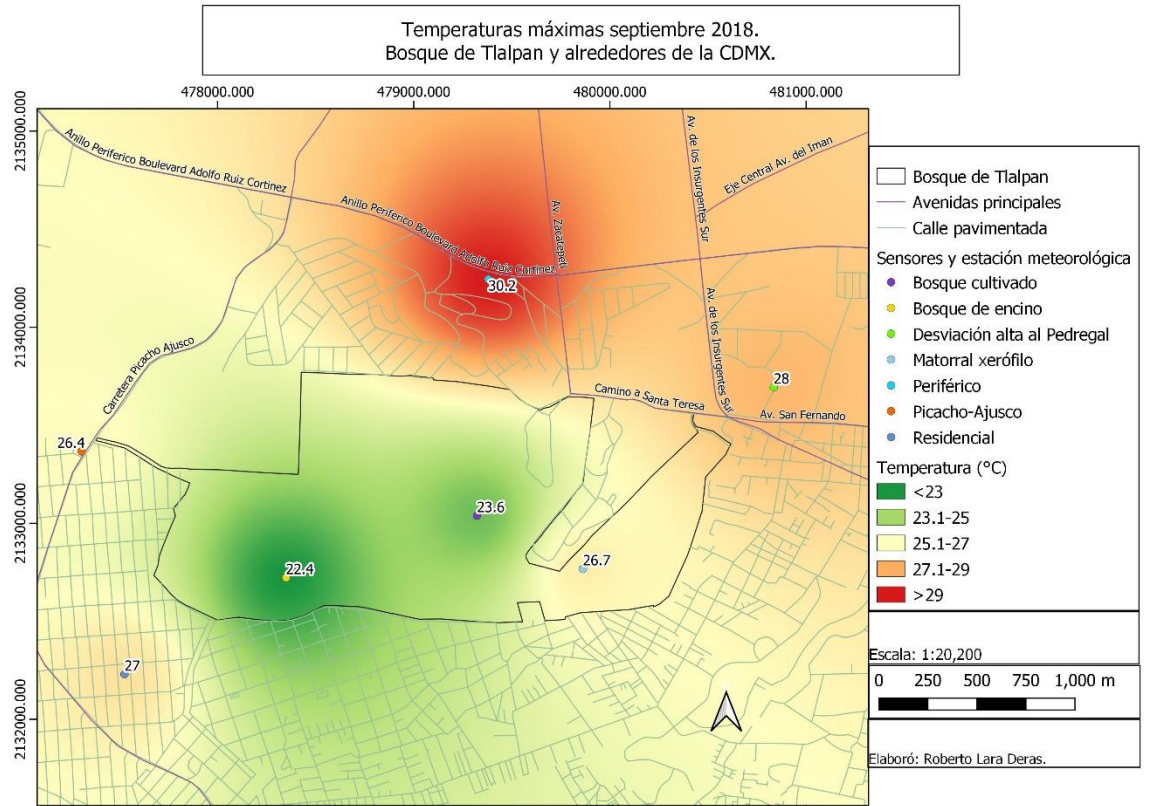


Fuente: trabajo en campo, 2018.

De la Figura 4.7, podemos decir que al interior del Bosque de Tlalpan se observan temperaturas más bajas respecto a las ubicadas en los alrededores urbanos, siendo el bosque de encino ( $14.7^{\circ}\text{C}$ ) más fresco que el bosque cultivado ( $15.4^{\circ}\text{C}$ ). El matorral xerófilo ( $16.1^{\circ}\text{C}$ ) es el tipo de vegetación al interior del Bosque de Tlalpan que presentó mayores temperaturas, inclusive por encima de la zona residencial ( $16^{\circ}\text{C}$ ) y de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal ( $15^{\circ}\text{C}$ ). Los sitios con mayor temperatura son los ubicados en Picacho-Ajusco ( $18.9^{\circ}\text{C}$ ) y Periférico-Sur ( $18.05^{\circ}\text{C}$ ) los cuales representan los sitios de mayor carácter urbano.



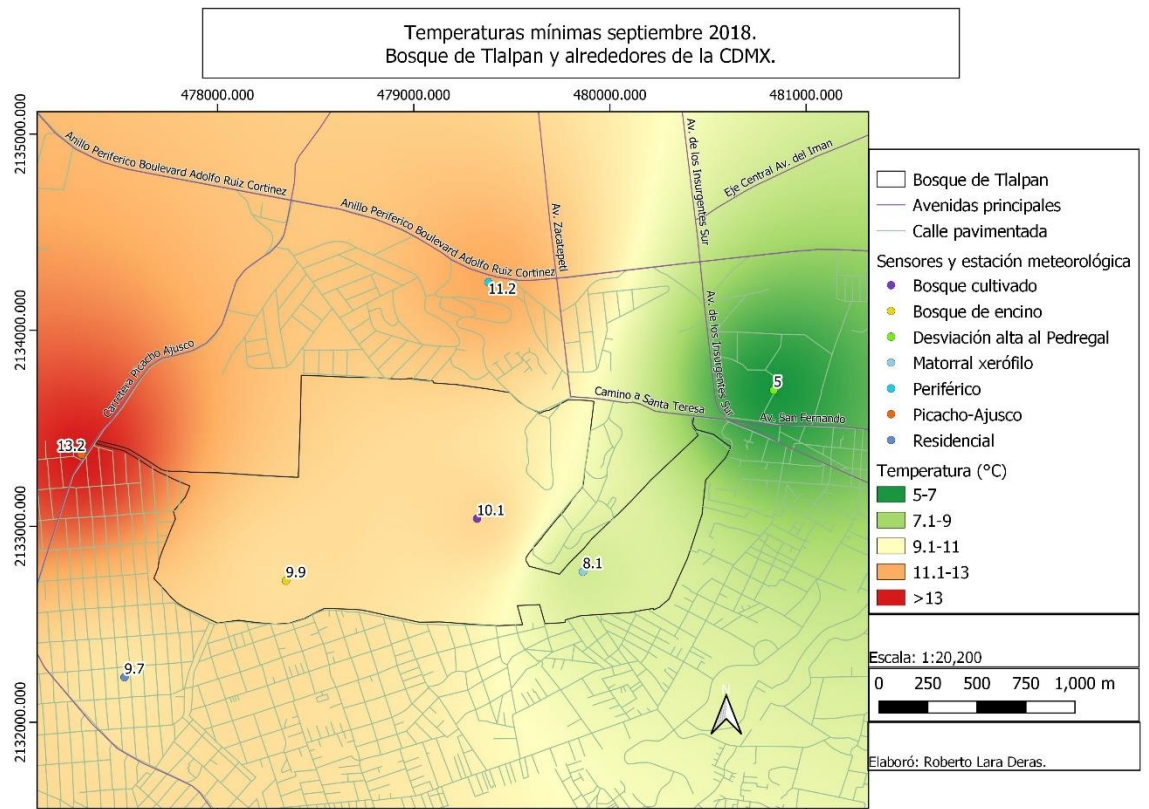
**Figura 4.8.** Mapa de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de septiembre de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

Para las temperaturas máximas, en la Figura 4.8 podemos observar que los tres tipos de vegetación al interior del Bosque de Tlalpan: bosque de encino ( $22.4^{\circ}\text{C}$ ), bosque cultivado ( $23.6^{\circ}\text{C}$ ), y matorral xerófilo ( $26.7^{\circ}\text{C}$ ), en general mostraron temperaturas más bajas respecto a los alrededores urbanos, a excepción del matorral xerófilo respecto a Picacho-Ajusco ( $26.4^{\circ}\text{C}$ ). La mayor temperatura se registró en Periférico-Sur ( $30.2^{\circ}\text{C}$ ), siguiéndole Desviación Alta al Pedregal ( $28^{\circ}\text{C}$ ), y la zona residencial ( $27^{\circ}\text{C}$ ).

**Figura 4.9.** Mapa de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de septiembre de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

Respecto a las temperaturas mínimas, es importante mencionar que la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal (5°C) registró datos muy por debajo en comparación con los registrados en los demás sensores térmicos, sin embargo, de éstos últimos podemos observar en la Figura 4.9 que de manera general las temperaturas mínimas al interior del Bosque de Tlalpan son menores a la de los alrededores urbanos, siendo el matorral xerófilo (8.1°C) el sitio más fresco, seguido del bosque de encino (9.9°C), mientras que la zona residencial (9.7°C) presentó una temperatura menor que el bosque cultivado (10.1°C). Los sitios con las temperaturas mínimas mayores son Picacho-Ajusco (13.2°C) y Periférico-Sur (11.2°C). Cabe señalar que el contraste de las temperaturas mínimas entre el interior del Bosque de Tlalpan y sus alrededores urbanos, es menor que el registrado en las temperaturas medias y máximas.

En promedio, el contraste de temperaturas medias indicó que el interior del Bosque Tlalpan es 3.3°C más fresco que los alrededores urbanos, sin embargo, para poder hacer un análisis entre cada par de comparaciones, se elaboró una matriz (Cuadro 4.5), en la que el bosque de encino fue el tipo de vegetación que mayor contraste presentó (4.1°C con Picacho-Ajusco, y 3.2°C con Periférico-Sur) seguido del bosque cultivado (3.4°C con Picacho-Ajusco, y 2.6°C con Periférico-Sur) y el matorral xerófilo (2.8°C con Picacho-Ajusco, y 1.9°C con Periférico-Sur). Es importante señalar que el matorral xerófilo fue más cálido (0.09°C) que la zona residencial.

**Cuadro 4.5.** Matriz de contrastes de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de septiembre de 2018.

T. MEDIA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	1.3					
B. cultivado	0.66	0.64				
Residencial	1.1	0.09	0.55			
Picacho-Ajusco	4.11	2.81	3.45	2.9		
Periférico-Sur	3.26	1.96	2.6	2.05	0.85	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

Para el caso de los contrastes de las temperaturas máximas, el Bosque de Tlalpan fue en promedio 3.6°C más fresco que la parte urbana. En la matriz del Cuadro 4.2 se observa que en la mayoría de los casos los valores se incrementaron en comparación con los contrastes de la temperatura media, siendo el bosque de encino el tipo de vegetación que mayor intensidad presentó (7.8°C con Periférico-Sur; 4.6°C con la zona residencial; y 3.5°C con Picacho-Ajusco) seguido del bosque cultivado (6.6°C con Periférico-Sur; 3.4°C con la

zona residencial; y 2.8°C con Picacho-Ajusco), y el matorral xerófilo (3.5°C con Periférico-Sur; y 0.3°C tanto con Picacho-Ajusco como con la zona residencial).

**Cuadro 4.6.** Matriz de contrastes de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de septiembre de 2018.

T. MÁXIMA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	4.3					
B. cultivado	1.2	3.1				
Residencial	4.6	0.3	3.4			
Picacho-Ajusco	3.5	0.3	2.8	0.6		
Periférico-Sur	7.8	3.5	6.6	3.2	3.8	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

En cuanto a los contrastes de las temperaturas mínimas, en promedio el Bosque de Tlalpan fue 2°C más fresco que la parte urbana. En el Cuadro 4.7 se observa que en este caso el matorral xerófilo fue el tipo de vegetación con mayor intensidad de contraste (5.1°C con Picacho-Ajusco; 3.1°C con Periférico-Sur; y 1.6°C con la zona residencial). El bosque de encino presentó temperaturas menores con Picacho-Ajusco (3.3°C), y con Periférico-Sur (1.3°C), pero fue más cálido (0.2°C) con la zona residencial. El bosque cultivado presenta temperaturas menores tanto con Picacho-Ajusco (3.1°C) como con Periférico-Sur (1.1°C), sin embargo, también fue más cálido respecto a la zona residencial (0.4°C).

**Cuadro 4.7.** Matriz de contrastes de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de septiembre de 2018.

T. MÍNIMA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	1.8					
B. cultivado	0.2	2				
Residencial	0.2	1.6	0.4			
Picacho-Ajusco	3.3	5.1	3.1	3.5		
Periférico-Sur	1.3	3.1	1.1	1.5	2	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

Adicionalmente, se realizó una prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) (Anexo 2), cuyo valor  $2e-16$ , menor al grado de significancia de  $\alpha=0.05$ , nos permitió rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), determinando que sí existe una diferencia significativa en las temperaturas medias en por lo menos un par de comparaciones.

Posteriormente, se realizó una prueba estadística de Tukey con la finalidad de conocer entre qué pares de comparaciones se encuentran las diferencias significativas (Anexo 2). De dichos resultados se observó que de las 15 comparaciones posibles, 12 presentan valores P menores a  $\alpha=0.05$ , por lo que sus temperaturas medias son significativamente diferentes.

Para visualizar e identificar los resultados correspondientes a las comparaciones entre los sitios al interior del Bosque de Tlalpan y los localizados en los alrededores urbanos, se elaboró una matriz de los valores P obtenidos de la prueba de Tukey (Cuadro 4.8). En ella podemos identificar que para el mes de septiembre, el bosque de encino tiene diferencias significativas con los tres sitios de carácter urbano (residencial, Picacho-Ajusco, y Periférico-Sur) pero nuevamente para el caso del matorral xerófilo y el bosque cultivado, las

diferencias significativas sólo se encontraron con Picacho-Ajusco y Periférico-Sur, ya que con la zona residencial sus valores P fueron mayores a  $\alpha=0.05$ .

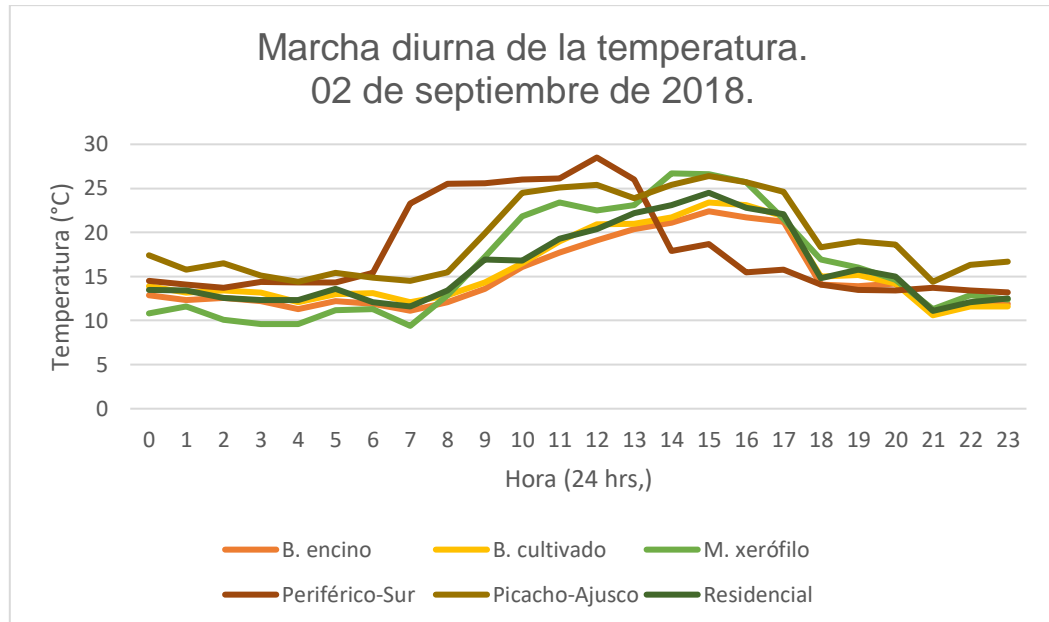
**Cuadro 4.8.** Matriz de valores P para cada una de las comparaciones de temperaturas medias en el mes de septiembre de 2018.

SEPTIEMBRE	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	0.0000002					
B. cultivado	0.0442176	0.0509487				
Residencial	0.0000018	0.9980593	0.1526373			
Picacho-Ajusco	0	0	0	0		
Periférico-Sur	0	0	0	0	0.0024591	

**Nota:** Las casillas en color verde corresponden a los pares de comparaciones entre los sitios al interior del Bosque de Tlalpan y los localizados en la parte urbana. Los valores en color rojo indican las comparaciones en las que las diferencias fueron significativas. Fuente: trabajo en campo, 2018.

El 02 de septiembre fue el día que el mayor número de sensores registraron las máximas temperaturas en el periodo de monitoreo (bosque de encino: 22.4°C; matorral xerófilo: 26.7°C; y Picacho-Ajusco: 26.4°C), por lo que en la Figura 4.10 se muestra la marcha diurna de la temperatura para ese día.

**Figura 4.10.** Marcha diurna comparativa de las temperaturas en las diferentes coberturas del día 02 de septiembre de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

En la Figura 4.10 podemos observar cómo desde la 0:00 hrs., la temperatura se mantiene relativamente constante en un rango que va desde los 9.4°C (valor mínimo del día a las 7:00 hrs. en el matorral xerófilo) hasta los 25.5°C, siendo en este horario el matorral xerófilo la cobertura más fresca, y Picacho-Ajusco la más cálida. A partir de las 8:00 hrs. la temperatura comienza a incrementarse, teniendo los registros más elevados entre las 12:00 y las 15:00 hrs., llegando hasta los 28.5°C (valor máximo de día a las 12:00 hrs. en Periférico-Sur), siendo en este horario el bosque de encino la cobertura más fresca, y Periférico-Sur la más cálida. A partir de las 15:00 hrs. la temperatura se mantiene estable hasta las 17:00 hrs., momento en el que comienza a descender hasta estabilizarse nuevamente desde las 21:00 hrs. y hasta el comienzo del próximo día.

### 4.3 Contraste térmico en el mes de octubre

Los sensores colocados al interior y exterior del Bosque de Tlalpan registraron datos desde el día 07 octubre a las 16:00 hrs., hasta el día 31 de octubre a las 23:00 hrs., cuyas temperaturas medias, máximas y mínimas se muestran en la Tabla 4.3, y su representación gráfica en la Figura 4.11. Adicionalmente, como referencia, se contó con los resúmenes de datos de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal, la cual registró para este mes una temperatura media de 15.8°C, una máxima de 25°C, y una mínima de 6°C.

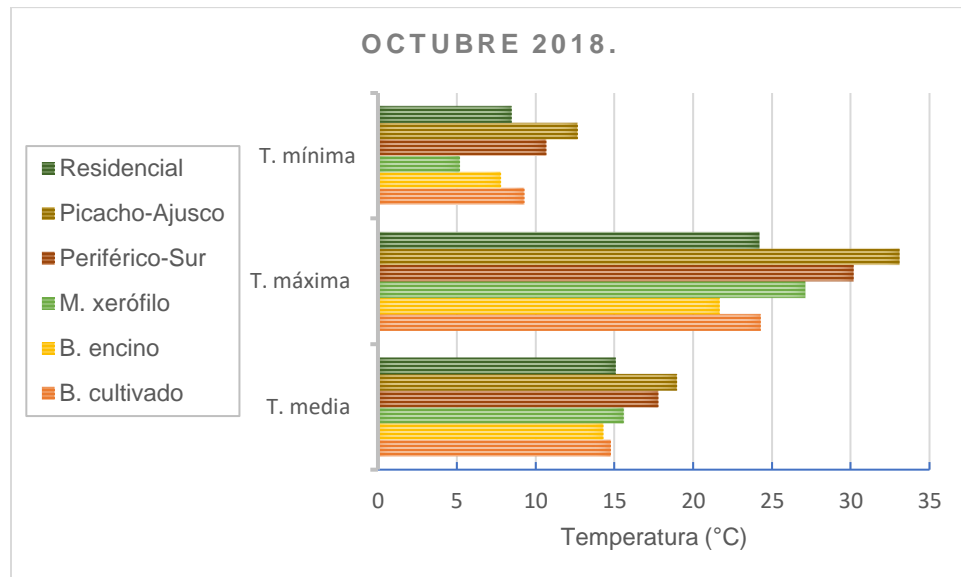
**Tabla 4.3.** Temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de octubre de 2018.

OCTUBRE	T. media (°C)	T. máxima (°C)	T. mínima (°C)
B. cultivado	14.8	24.3	9.3
B. encino	14.3	21.7	7.8
M. xerófilo	15.6	27.1	5.2
Periférico-Sur	17.8	30.2	10.7
Picacho-Ajusco	19	33.1	12.7
Residencial	15.1	24.2	8.5

Fuente: trabajo en campo, 2018.



**Figura 4.11.** Gráfica de temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de octubre de 2018.

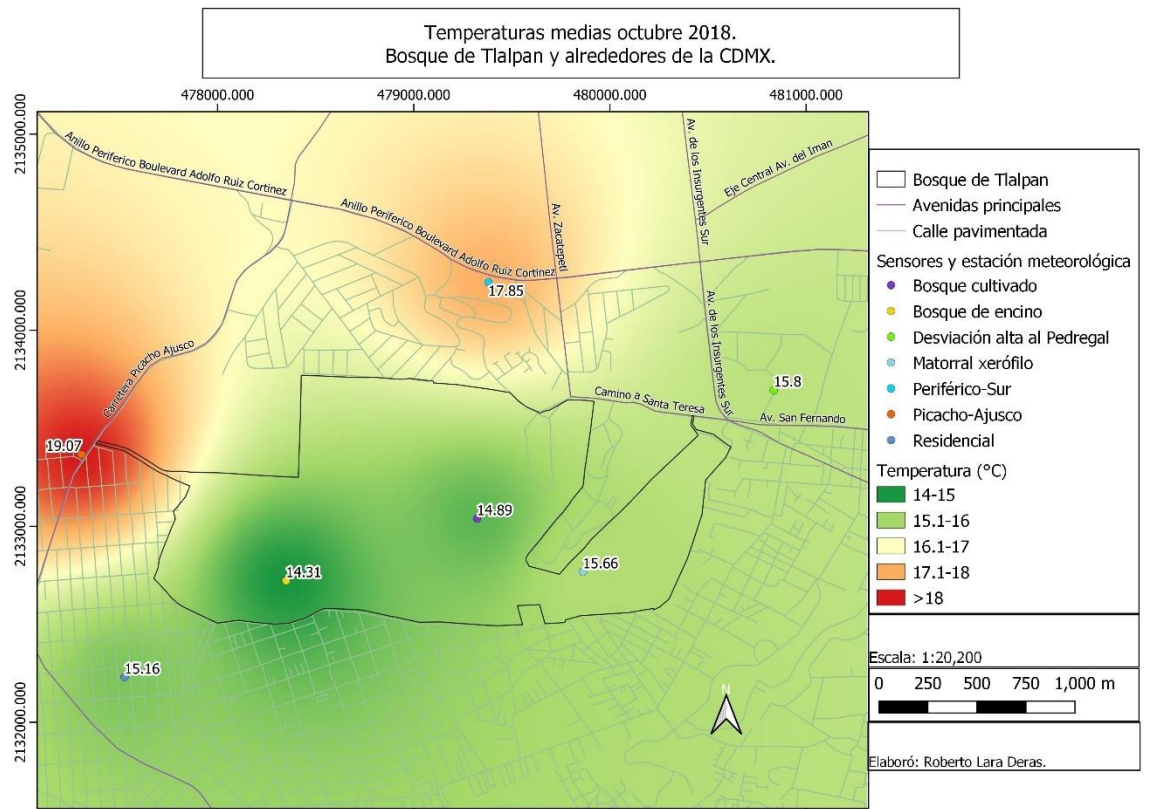


Fuente: trabajo en campo, 2018.

De la Tabla 4.3, y la Figura 4.15, podemos identificar que la mayor temperatura media se observó en Picacho-Ajusco (19°C), mientras que la menor en el bosque de encino (14.3°C). La temperatura máxima mayor se observó en Picacho-Ajusco (33.1°C), y la menor en el bosque de encino (21.7°C). Para las temperaturas mínimas, la mayor se observó en Picacho-Ajusco (12.7°C), y la menor en el matorral xerófilo (5.2°C). La cobertura que presentó mayor variabilidad térmica (21.9°C) fue el matorral xerófilo, cuyas temperaturas van desde los 5.2°C a los 27.1°C.

Para analizar la distribución espacial de dichos contrastes, de la Figuras 4.12 a la 4.14, se muestran los mapas correspondientes para las temperaturas medias, máximas y mínimas, en las que se incluyeron los datos disponibles de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal.

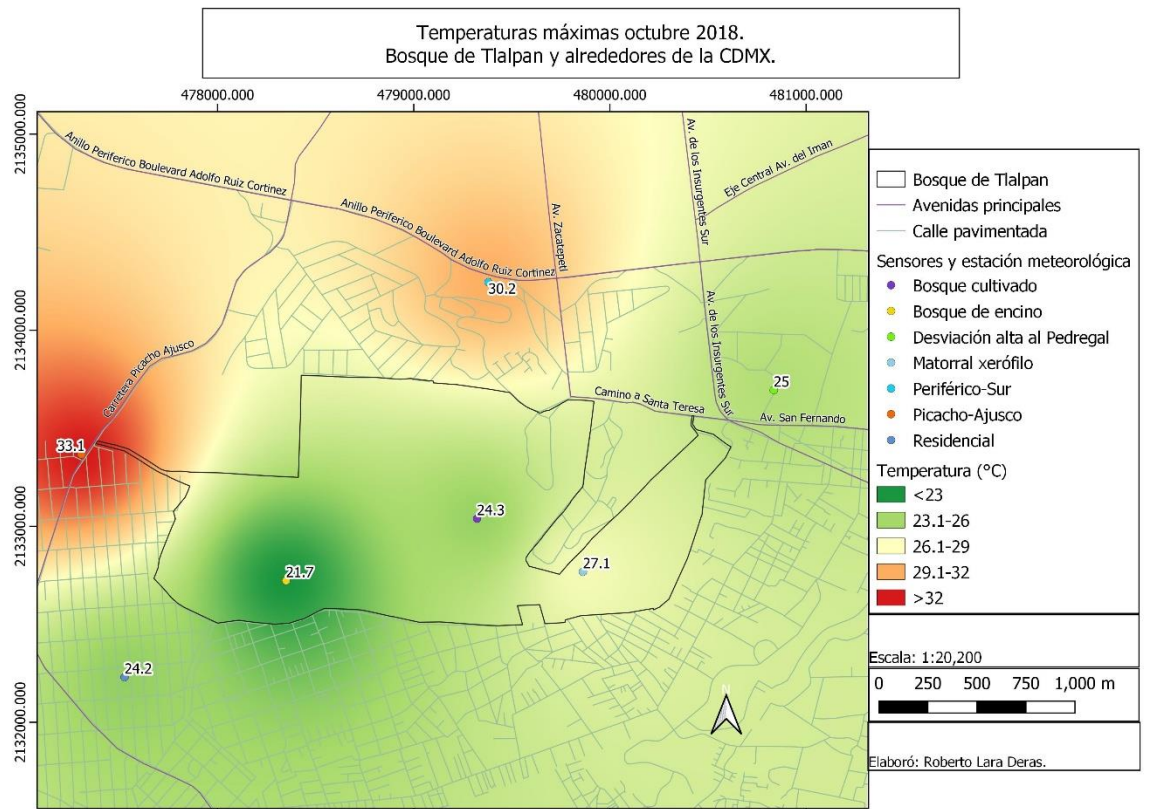
**Figura 4.12.** Mapa de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de octubre de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

De la Figura 4.12, podemos decir que al interior del Bosque de Tlalpan se observan temperaturas más bajas respecto a las ubicadas en los alrededores urbanos, siendo el bosque de encino (14.3°C) más fresco que el bosque cultivado (14.8°C). El matorral xerófilo (15.6°C) es el tipo de vegetación al interior del Bosque de Tlalpan que presentó mayores temperaturas, inclusive por encima de la zona residencial (15.1°C). Los sitios con mayor temperatura son los ubicados en Picacho-Ajusco (18.9°C), Periférico-Sur (18°C), y la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal (15.8°C).

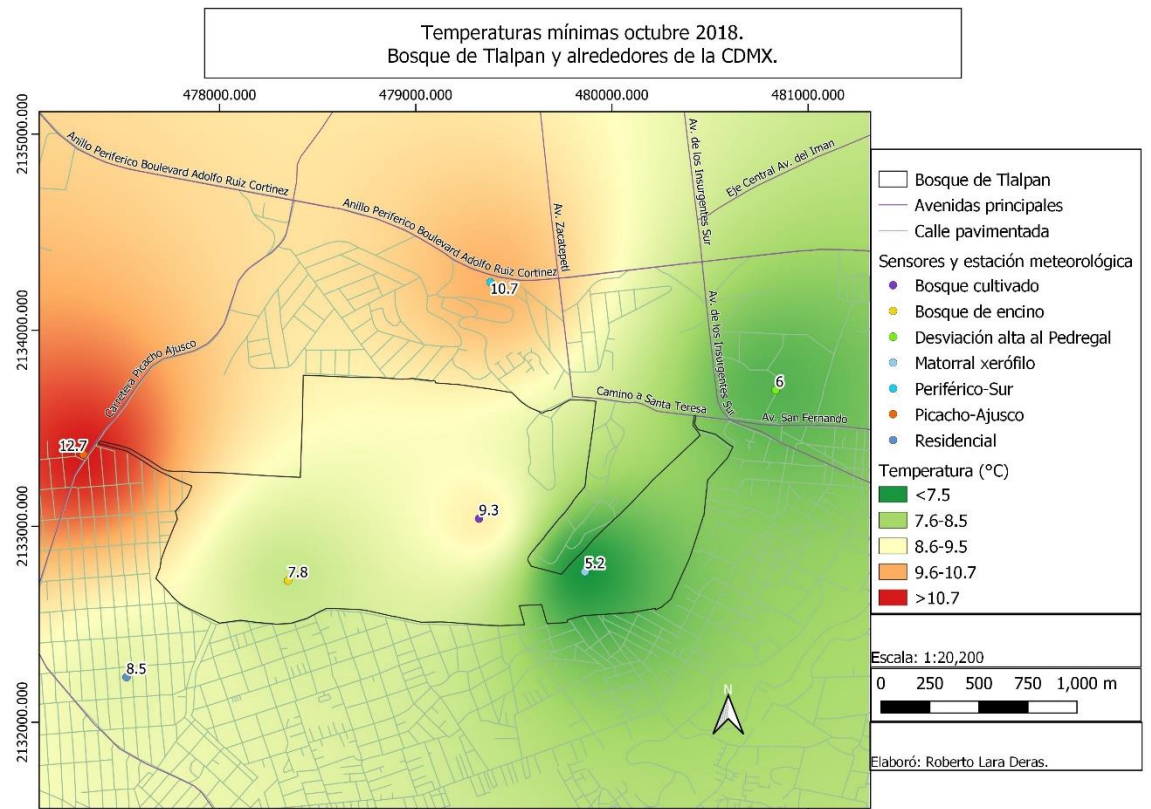
**Figura 4.13.** Mapa de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de octubre de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

Para las temperaturas máximas, en la Figura 4.13 podemos observar que el bosque de encino (21.7°C) fue la única cobertura dentro del Bosque de Tlalpan que mostró menor temperatura en relación con todos los sitios de los alrededores urbanos; el bosque cultivado (24.3°C) y el matorral xerófilo (27.1°C) fueron mayores respecto a la zona residencial (24.2°C), pero menores a Desviación Alta al Pedregal (25°C), a Periférico-Sur (30.2°C), y a Picacho-Ajusco (33.1°C), siendo ésta última la mayor temperatura máxima del mes.

**Figura 4.14.** Mapa de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de octubre de 2018.



Fuente: datos obtenidos en campo.

Respecto a las temperaturas mínimas, en la Figura 4.14 se observa que el matorral xerófilo ( $5.2^{\circ}\text{C}$ ) al ser el valor más bajo de todos, fue la cobertura al interior del Bosque de Tlalpan que fue menor respecto a todos los sitios en los alrededores urbanos como Picacho-Ajusco ( $12.7^{\circ}\text{C}$ ) y Periférico-Sur ( $10.7^{\circ}\text{C}$ ); el bosque de encino ( $7.8^{\circ}\text{C}$ ) sólo fue más cálido en comparación con Desviación Alta al Pedregal ( $6^{\circ}\text{C}$ ); mientras que el bosque cultivado ( $9.3^{\circ}\text{C}$ ) registró mayor temperatura que la zona residencial ( $8.5^{\circ}\text{C}$ ).

En promedio, el contraste térmico de temperaturas medias indicó que el interior del Bosque Tlalpan es  $2.4^{\circ}\text{C}$  más fresco que los alrededores urbanos, sin embargo, para poder hacer un análisis entre cada par de comparaciones, se elaboró una matriz (Cuadro 4.9), en la que el bosque de encino fue el tipo de vegetación que mayor contraste presentó (hasta  $4.7^{\circ}\text{C}$  con Picacho-Ajusco, y

3.5°C con Periférico-Sur) seguido del bosque cultivado (hasta 4.1°C con Picacho-Ajusco, y 2.9°C con Periférico-Sur) y el matorral xerófilo (hasta 3.4°C con Picacho-Ajusco, y 2.1°C con Periférico-Sur). Es importante señalar que el matorral xerófilo fue más cálido (0.5°C) que la zona residencial.

**Cuadro 4.9.** Matriz de contrastes de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de octubre de 2018.

T. MEDIA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	1.35					
B. cultivado	0.58	0.77				
Residencial	1.1	0.5	0.27			
Picacho-Ajusco	4.76	3.41	4.18	3.91		
Periférico-Sur	3.54	2.19	2.96	2.69	1.22	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

Para el caso de los contrastes de las temperaturas máximas, el Bosque de Tlalpan fue en promedio 4.8°C más fresco que la parte urbana. En la matriz del Cuadro 4.10 se observa que en la mayoría de los casos los valores se incrementaron en comparación con los contrastes de la temperatura media, sin embargo, de forma general, se mantuvo cierta tendencia: el bosque de encino presentó las mayores intensidades (11.4°C con Picacho-Ajusco; 4.6°C; 8.5°C con Periférico-Sur; y 2.5°C con la zona residencial), el bosque cultivado fue más fresco que Picacho-Ajusco y Periférico-Sur (8.8°C, y 5.9°C respectivamente) pero fue más cálido que la zona residencial (0.1°C). De igual forma, el matorral xerófilo fue más fresco que Picacho-Ajusco y Periférico-Sur (6°C, y 3.1°C respectivamente) pero fue más cálido que la zona residencial (2.9°C).

**Cuadro 4.10.** Matriz de contrastes de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de octubre de 2018.

T. MÁXIMA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	5.4					
B. cultivado	2.6	2.8				
Residencial	2.5	2.9	0.1			
Picacho-Ajusco	11.4	6	8.8	8.9		
Periférico-Sur	8.5	3.1	5.9	6	2.9	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

En cuanto a los contrastes de las temperaturas mínimas, en promedio el Bosque de Tlalpan fue 3.2°C más fresco que la parte urbana. En el Cuadro 4.11 se observa que en este caso el matorral xerófilo fue el tipo de vegetación con mayor contraste (7.5°C con Picacho-Ajusco; 3.3°C con la zona residencial; y 2.9°C con Periférico-Sur); siguiéndole el bosque de encino (4.9°C con Picacho-Ajusco; 2.9°C con Periférico-Sur; y 0.7°C con la zona residencial); y el bosque cultivado (3.4°C con Picacho-Ajusco; 1.4°C con Periférico-Sur; y 0.8°C con la zona residencial (0.4°C).

**Cuadro 4.11.** Matriz de contrastes de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de octubre de 2018.

T. MÍNIMA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	2.6					
B. cultivado	1.5	4.1				
Residencial	0.7	3.3	0.8			
Picacho-Ajusco	4.9	7.5	3.4	4.2		
Periférico-Sur	2.9	2.9	1.4	2.2	2	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

Adicionalmente se realizó una prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) (Anexo 3), cuyo valor  $2e-16$ , menor al grado de significancia de  $\alpha=0.05$ , nos permitió rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), determinando que sí existe una diferencia significativa en las temperaturas medias en por lo menos un par de comparaciones.

Posteriormente, se realizó una prueba de Tukey, cuyos valores P para cada par de comparaciones (Anexo 3). De dichos resultados se observó que de las 15 comparaciones posibles, 12 presentan valores P menores a  $\alpha=0.05$ , por lo que sus temperaturas medias son significativamente diferentes.

Al elaborar la matriz de los valores P obtenidos de la prueba de Tukey (Cuadro 4.12), en ella podemos identificar que para el mes de octubre, el bosque de encino tiene diferencias significativas con los tres sitios de carácter urbano (Residencial, Picacho-Ajusco, y Periférico-Sur); para el caso del matorral xerófilo y el bosque cultivado, las diferencias significativas sólo se encontraron con Picacho-Ajusco y Periférico-Sur, ya que con la zona residencial sus valores P fueron mayores a  $\alpha=0.05$ .

**Cuadro 4.12.** Matriz de valores P para cada una de las comparaciones de temperaturas medias en el mes de octubre de 2018.

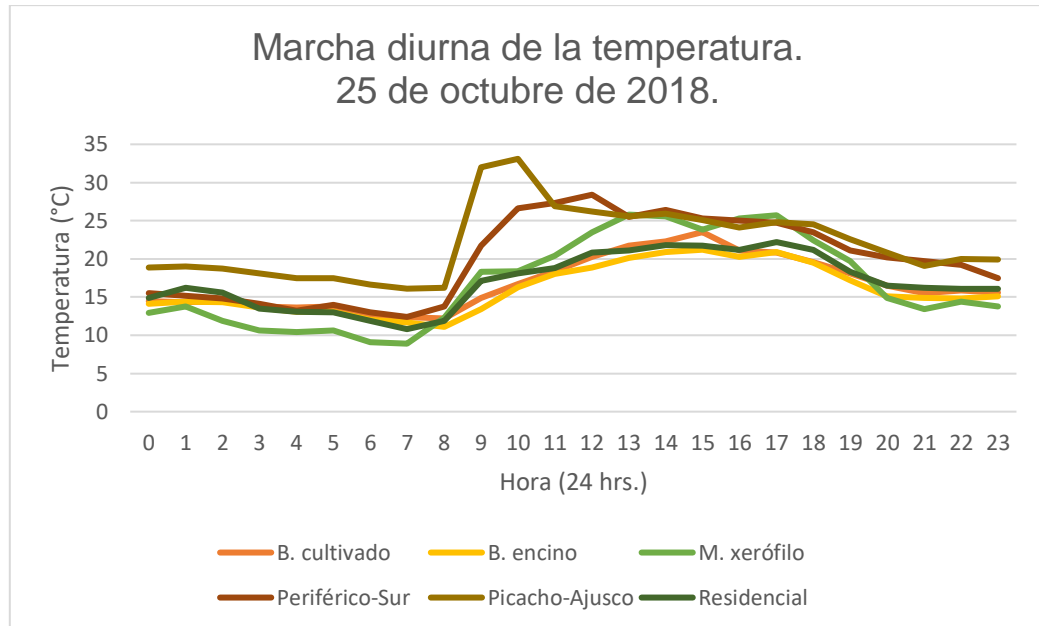
OCTUBRE	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	0.0000000					
B. cultivado	0.0814314	0.0047284				
Residencial	0.0012428	0.1846558	0.8099133			
Picacho-Ajusco	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000		
Periférico-Sur	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000003	

**Nota:** Las casillas en color verde corresponden a los pares de comparaciones entre los sitios al interior del Bosque de Tlalpan y los localizados en la parte urbana. Los valores en color rojo indican las comparaciones en las que las diferencias fueron significativas. Fuente: trabajo en campo, 2018.

Para el mes de octubre, no hubo día en que se repitieran por lo menos dos valores máximos registrados en los sensores, por lo que, en este caso, se muestra la marcha diurna de la temperatura del día 25 de octubre (Figura 4.15), ya que fue la fecha en que se registró la temperatura máxima del mes (33°C en Picacho-Ajusco).



**Figura 4.15.** Marcha diurna comparativa de las temperaturas en las diferentes coberturas del día 25 de octubre de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

En la Figura 4.15 podemos observar cómo desde la 0:00 hrs., la temperatura se mantiene relativamente constante en un rango que va desde los 8.9°C (valor mínimo del día a las 7:00 hrs. en el matorral xerófilo) hasta los 18.9°C, siendo en este horario el matorral xerófilo la cobertura más fresca, y Picacho-Ajusco la más cálida. A partir de las 8:00 hrs. la temperatura comienza a incrementarse, siendo Picacho-Ajusco y Periférico-Sur, los sitios que más temprano alcanzaron sus valores más altos: 33.1°C a las 10:00 hrs. (temperatura máxima del día); y 28.4°C a las 12:00 hrs., respectivamente, mientras que los demás sitios registraron sus valores más elevados entre las 12:00 y las 15:00 hrs., siendo el sitio más fresco en este horario el bosque de encino (hasta 18.9°C), y Periférico-Sur el más cálido (hasta 28.4°C). A partir de las 15:00 hrs. la temperatura se mantiene estable hasta las 17:00 hrs., momento en el que comienza a descender hasta estabilizarse nuevamente desde las 21:00 hrs. y hasta el comienzo del próximo día.

#### 4.4 Contraste térmico en el mes de noviembre

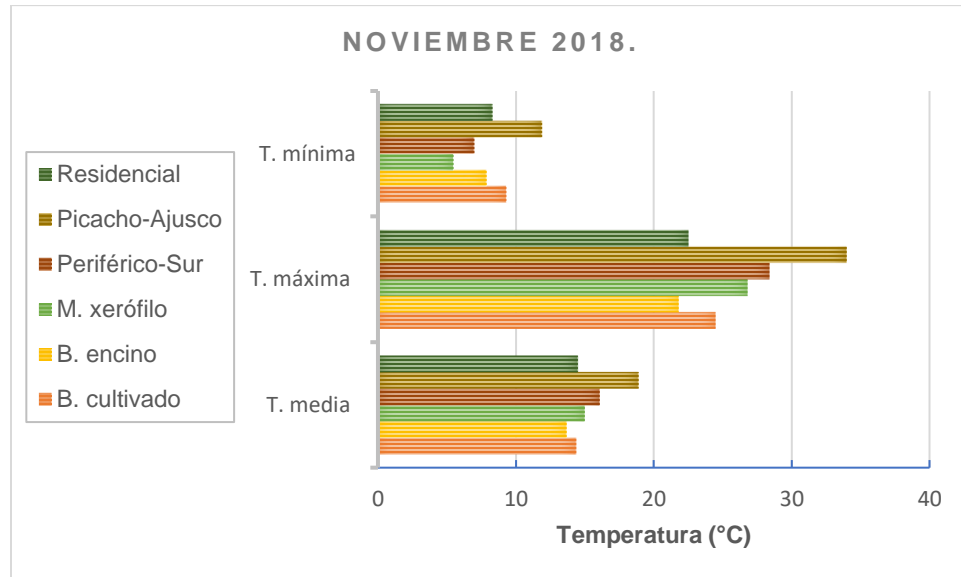
Los sensores colocados al interior y exterior del Bosque de Tlalpan registraron datos desde el día 01 de noviembre a las 00:00 h, hasta el día 13 de noviembre a las 13:00 h, cuyas temperaturas medias, máximas y mínimas se muestran en la Tabla 4.4, y su representación gráfica en la Figura 4.16. Adicionalmente como referencia, se contó con los resúmenes de datos de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal, la cual registró para este mes una temperatura media de 16.2°C, una máxima de 26°C, y una mínima de 2°C.

**Tabla 4.4.** Temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de noviembre de 2018.

NOVIEMBRE	T. media (°C)	T. máxima (°C)	T. mínima (°C)
B. cultivado	14.4	24.5	9.3
B. encino	13.7	21.8	7.9
M. xerófilo	15	26.8	5.5
Periférico-Sur	16.1	28.4	7
Picacho-Ajusco	18.9	34	11.9
Residencial	14.5	22.5	8.3

Fuente: trabajo en campo, 2018.

**Figura 4.16.** Gráfica de temperaturas medias, máximas y mínimas del mes de noviembre de 2018.

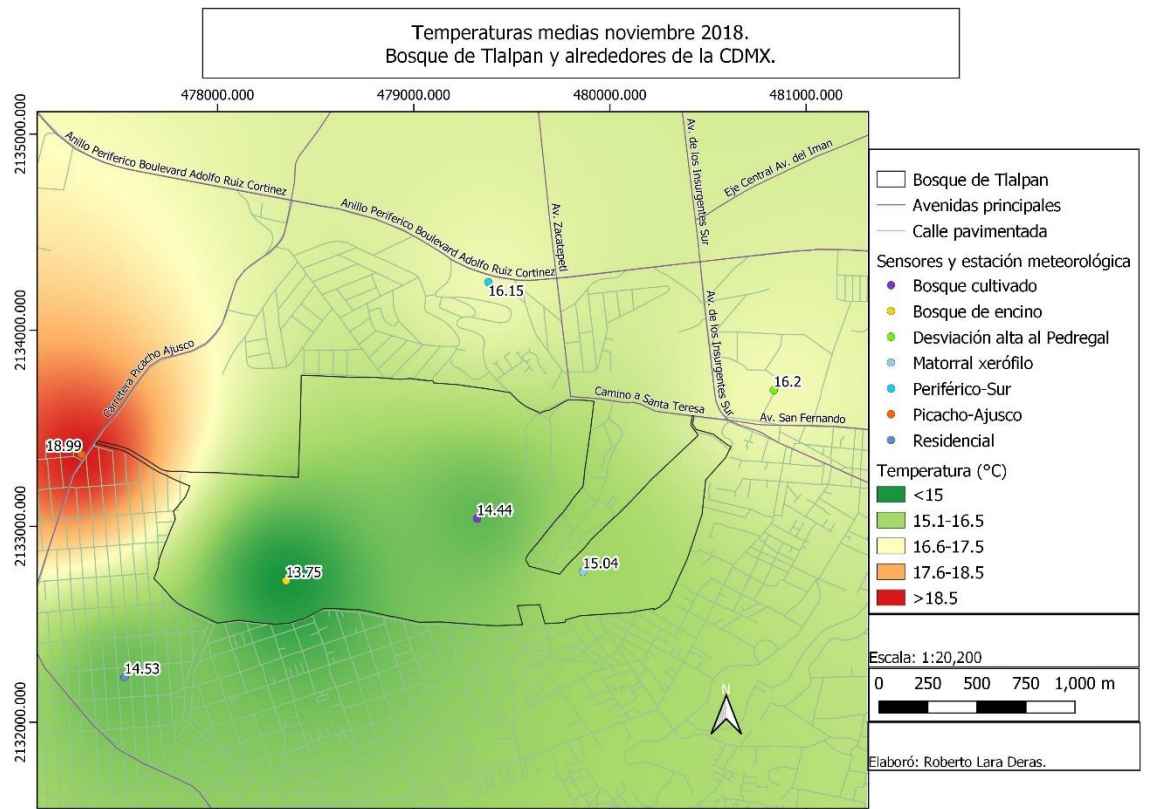


Fuente: trabajo en campo, 2018.

De la Tabla 4.4, y la Figura 4.16, podemos identificar que la mayor temperatura media se observó en Picacho-Ajusco (18.9°C), mientras que la menor en el bosque de encino (13.7°C). La temperatura máxima mayor se observó en Picacho-Ajusco (34°C), y la menor en el bosque de encino (21.8°C). Para las temperaturas mínimas, la mayor se observó en Picacho-Ajusco (11.9°C), y la menor en el matorral xerófilo (5.5°C). La cobertura que presentó mayor variabilidad térmica (22.1°C) fue Picacho-Ajusco, cuyas temperaturas van desde los 11.9°C a los 34°C.

Para analizar la distribución espacial de dichos contrastes, de la Figuras 4.17 a la 4.19, se muestran los mapas correspondientes para las temperaturas medias, máximas y mínimas, en las que se incluyeron los datos disponibles de la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal.

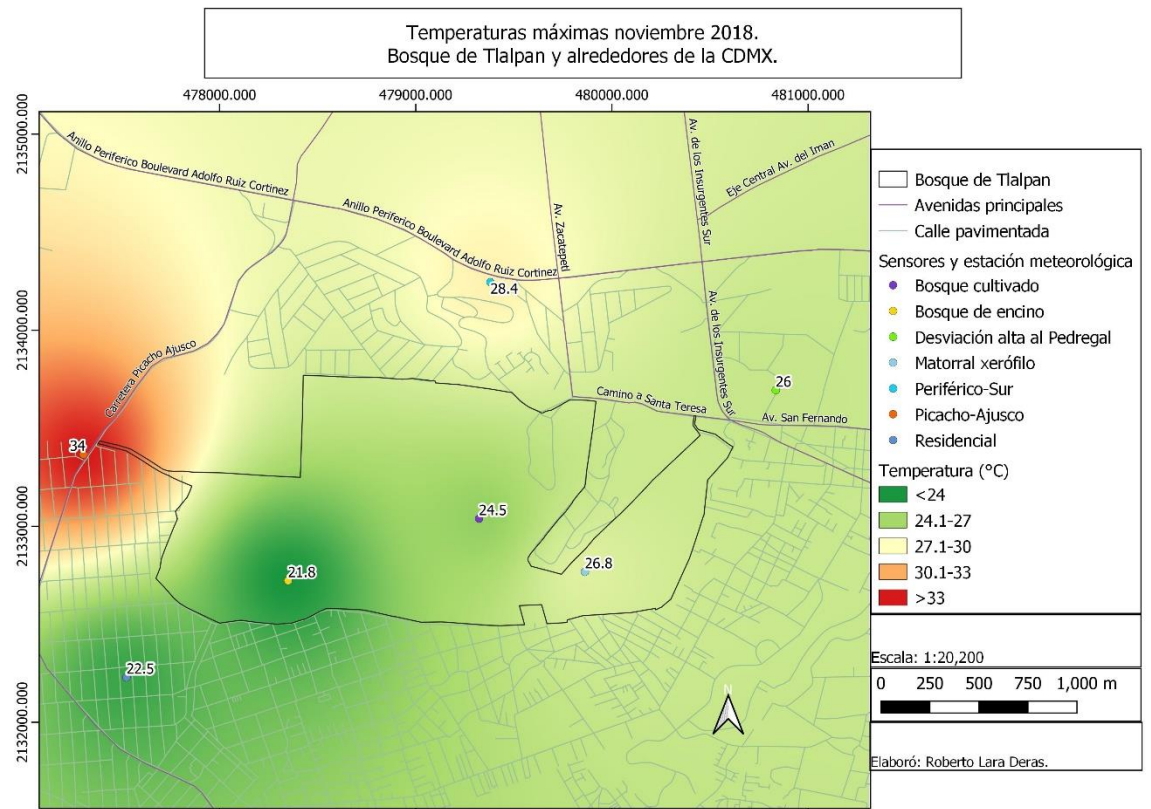
**Figura 4.17.** Mapa de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de noviembre de 2018.



Fuente: datos obtenidos en campo.

De la Figura 4.17, podemos decir que al interior del Bosque de Tlalpan se observan temperaturas más bajas respecto a las ubicadas en los alrededores de la CDMX, siendo el bosque de encino ( $13.7^{\circ}\text{C}$ ) la cobertura más fresca, seguida del bosque cultivado ( $14.8^{\circ}\text{C}$ ). El matorral xerófilo ( $15^{\circ}\text{C}$ ) es el tipo de vegetación al interior del Bosque de Tlalpan que presentó mayores temperaturas, inclusive por encima de la zona residencial ( $14.5^{\circ}\text{C}$ ). Los sitios con mayor temperatura son los ubicados en Picacho-Ajusco ( $18.9^{\circ}\text{C}$ ), Periférico-Sur ( $16.1^{\circ}\text{C}$ ), y la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal ( $16.2^{\circ}\text{C}$ ).

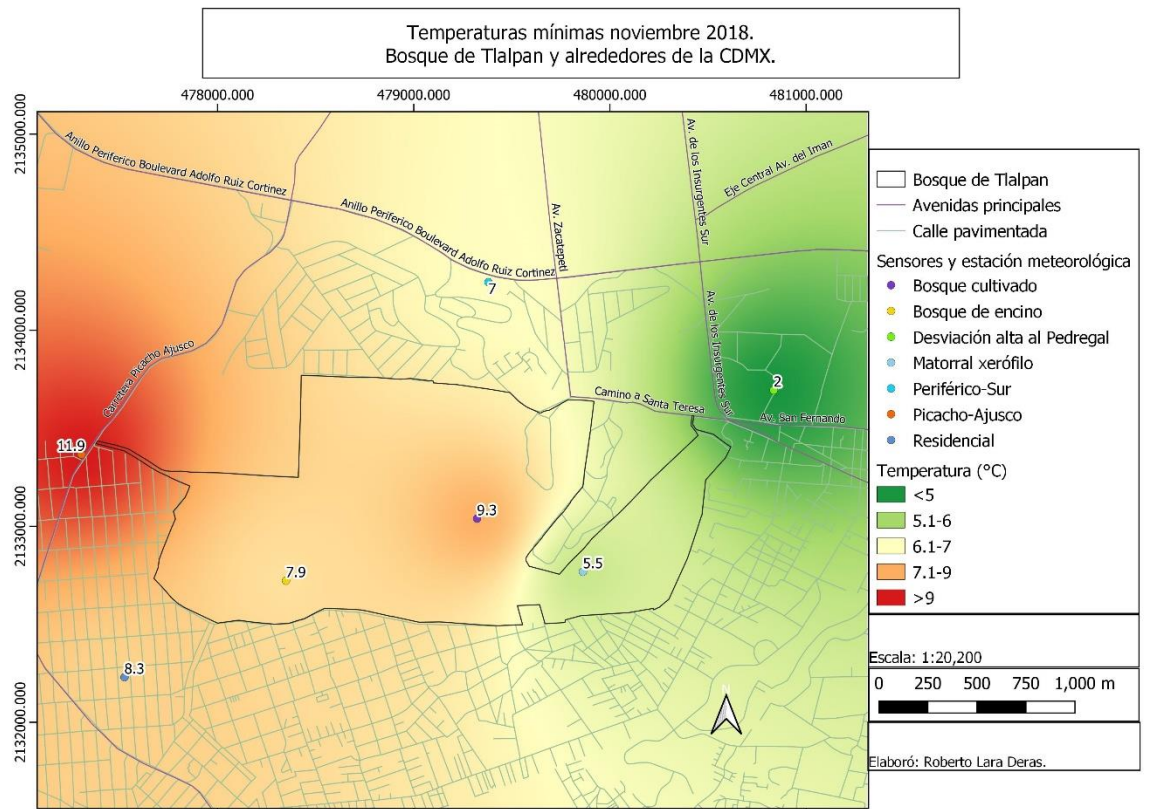
**Figura 4.18.** Mapa de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de noviembre de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

Para las temperaturas máximas, en la Figura 4.18 podemos observar que el bosque de encino ( $21.8^{\circ}\text{C}$ ) fue la única cobertura dentro del Bosque de Tlalpan que mostró menor temperatura en relación con todos los sitios de los alrededores urbanos; el bosque cultivado ( $24.5^{\circ}\text{C}$ ) fue mayor respecto a la zona residencial ( $22.5^{\circ}\text{C}$ ), pero menor con Desviación Alta al Pedregal ( $26^{\circ}\text{C}$ ), a Periférico-Sur ( $28.4^{\circ}\text{C}$ ), y a Picacho-Ajusco ( $34^{\circ}\text{C}$ ), siendo ésta última la mayor temperatura máxima del mes; el matorral xerófilo ( $26.8^{\circ}\text{C}$ ) fue mayor tanto con la zona residencial, como con Desviación Alta al Pedregal, pero menor con Periférico-Sur y con Picacho-Ajusco.

**Figura 4.19.** Mapa de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y sus alrededores en el mes de noviembre de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

Respecto a las temperaturas mínimas (Figura 4.19), los valores al interior del Bosque de Tlalpan fueron los siguientes: el menor de ellos se observó en el matorral xerófilo ( $5.5^{\circ}\text{C}$ ), seguida del bosque de encino ( $7.9^{\circ}\text{C}$ ) y el bosque cultivado ( $9.3^{\circ}\text{C}$ ), sin embargo, para este mes se registraron en algunos de los sitios de los alrededores urbanos, menores temperaturas que inclusive el matorral xerófilo, tal es el caso de la estación meteorológica de Desviación Alta al Pedregal ( $2^{\circ}\text{C}$ ), que fue la menor temperatura mínima del mes; Periférico-Sur ( $7^{\circ}\text{C}$ ) que fue menor al bosque cultivado y al bosque de encino; y la zona residencial ( $8.3^{\circ}\text{C}$ ) que fue menor al bosque cultivado. La mayor temperatura mínima se registró en Picacho-Ajusco ( $11.9^{\circ}\text{C}$ ).

En promedio, el contraste térmico de temperaturas medias indicó que el interior del Bosque Tlalpan es  $2.2^{\circ}\text{C}$  más fresco que los alrededores urbanos, sin

embargo, para poder hacer un análisis entre cada par de comparaciones, se elaboró una matriz (Cuadro 4.13), en la que el bosque de encino fue el tipo de vegetación que mayor contraste presentó (5.2°C con Picacho-Ajusco; 2.4°C con Periférico-Sur; y 0.7°C con la zona residencial) seguido del bosque cultivado (4.5°C con Picacho-Ajusco; 1.7°C con Periférico-Sur; y 0.09°C con la zona residencial) y el matorral xerófilo (3.9°C con Picacho-Ajusco; y 1.1°C con Periférico-Sur). Es importante señalar que el matorral xerófilo fue más cálido (0.5°C) que la zona residencial.

**Cuadro 4.13.** Matriz de contrastes de temperaturas medias en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de noviembre de 2018.

T. MEDIA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	1.29					
B. Cultivado	0.69	0.6				
Residencial	0.78	0.51	0.09			
Picacho-Ajusco	5.24	3.95	4.55	4.46		
Periférico-Sur	2.4	1.11	1.71	1.62	2.84	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

Para el caso de los contrastes de las temperaturas máximas, el Bosque de Tlalpan fue en promedio 4°C más fresco que la parte urbana. En la matriz del Cuadro 4.14 se observa que en la mayoría de los casos los valores se incrementaron en comparación con los contrastes de la temperatura media, sin embargo, de forma general, se mantuvo cierta tendencia: el bosque de encino presentó las mayores contrastes (12.2°C con Picacho-Ajusco; 6.6°C con Periférico-Sur; y 0.7°C con la zona residencial), el bosque cultivado fue más fresco que Picacho-Ajusco y Periférico-Sur (9.5°C, y 3.9°C respectivamente) pero fue más cálido que la zona residencial (0.1°C). De igual forma, el matorral

xerófilo fue más fresco que Picacho-Ajusco y Periférico-Sur (7.2°C, y 1.6°C respectivamente) pero fue más cálido que la zona residencial (4.3°C).

**Cuadro 4.14.** Matriz de contrastes de temperaturas máximas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de noviembre de 2018.

T. MÁXIMA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	5					
B. cultivado	2.7	2.3				
Residencial	0.7	4.3	2			
Picacho-Ajusco	12.2	7.2	9.5	11.5		
Periférico-Sur	6.6	1.6	3.9	5.9	5.6	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

En cuanto a los contrastes de las temperaturas mínimas, en promedio el Bosque de Tlalpan fue 1.5°C más fresco que la parte urbana. En el Cuadro 4.15 se observa que el matorral xerófilo fue el tipo de vegetación con mayor diferencia, además de ser la única cobertura al interior del Bosque de Tlalpan cuyos contrastes fueron menores a los tres sitios localizados en los alrededores urbanos (6.4°C con Picacho-Ajusco; 2.8°C con la zona residencial; y 1.5 con Periférico-Sur). El bosque cultivado fue más fresco que Picacho-Ajusco (en 2.6°C), pero fue más cálido que Periférico-Sur y que la zona residencial (en 2.3°C y 1°C respectivamente). Por su parte el bosque de encino fue más fresco que Picacho-Ajusco (en 4°C), y que la zona residencial (0.4°C), pero más cálido inclusive que Periférico-Sur (en 0.9°C). Es interesante señalar que éste último sitio registró una temperatura mínima baja en relación a los registros de meses anteriores.



**Cuadro 4.15.** Matriz de contrastes de temperaturas mínimas en el Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos en el mes de noviembre de 2018.

T. MÍNIMA	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	2.4					
B. cultivado	1.4	3.8				
Residencial	0.4	2.8	1			
Picacho-Ajusco	4	6.4	2.6	3.6		
Periférico-Sur	0.9	1.5	2.3	1.3	4.9	

**Nota:** las casillas de color verde indican que la menor temperatura se presentó dentro del Bosque de Tlalpan, mientras que las casillas rojas indican que la menor temperatura se presentó fuera de él. Fuente: trabajo en campo, 2018.

En la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) (Anexo 4), cuyo valor  $2e-16$ , menor al grado de significancia de  $\alpha= 0.05$ , nos permitió rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), determinando que para este mes sí existe una diferencia significativa en las temperaturas medias en por lo menos un par de comparaciones.

En los valores P obtenidos al realizarla prueba de Tukey (Anexo 4), se observó que de las 15 comparaciones posibles, 10 presentan valores P menores a  $\alpha=0.05$ , por lo que sus temperaturas medias son significativamente diferentes.

Al elaborar la matriz de los valores P obtenidos de la prueba de Tukey (Cuadro 4.16), en ella podemos identificar que para el mes de noviembre, la tres coberturas dentro del Bosque de Tlalpan presentaron diferencias significativas con dos de los tres sitios en los alrededores urbanos: Picacho-Ajusco y con Periférico-Sur; sin embargo, no fue el caso con la zona residencial, con la que ninguno de los tipos de vegetación tuvo diferencias significativas.

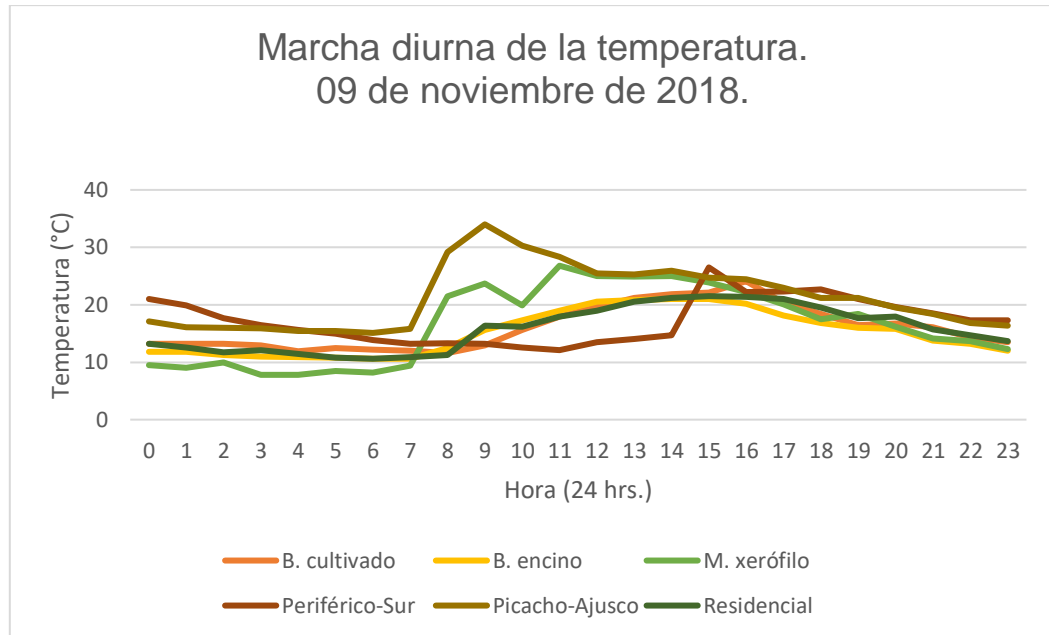
**Cuadro 4.16.** Matriz de valores P para cada una de las comparaciones de temperaturas medias en el mes de noviembre de 2018.

<b>NOVIEMBRE</b>	B. encino	M. xerófilo	B. cultivado	Residencial	Picacho-Ajusco	Periférico-Sur
B. encino						
M. xerófilo	0.0046036					
B. cultivado	0.3968957	0.5457096				
Residencial	0.2559932	0.7113812	0.9998578			
Picacho-Ajusco	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000		
Periférico-Sur	0.0000000	0.0228838	0.0000259	0.0000869	0.0000000	

**Nota:** Las casillas en color verde corresponden a los pares de comparaciones entre los sitios al interior del Bosque de Tlalpan y los localizados en la parte urbana. Los valores en color rojo indican las comparaciones en las que las diferencias fueron significativas. Fuente: trabajo en campo, 2018.

Para el mes de noviembre, no hubo día en que se repitieran por lo menos dos valores máximos registrados en los sensores, por lo que en este caso, se muestra la marcha diurna de la temperatura del día 09 de noviembre (Figura 4.20), ya que fue la fecha en que se registró la temperatura máxima del mes (34°C en Picacho-Ajusco).

**Figura 4.20.** Marcha diurna comparativa de las temperaturas en las diferentes coberturas del día 09 de noviembre de 2018.



Fuente: trabajo en campo, 2018.

En la Figura 4.20 podemos observar cómo desde las 0:00 hrs. hasta las 8:00 hrs., la temperatura se mantiene relativamente constante en un rango que va desde los 7.8°C (valor mínimo del día a las 4:00 hrs. en el matorral xerófilo) hasta los 21°C, siendo en este horario el matorral xerófilo la cobertura más fresca, y Periférico-Sur la más cálida. A partir de las 8:00 hrs. la temperatura comienza a incrementarse, siendo Picacho-Ajusco y el matorral xerófilo, los sitios que se calentaron más intensamente, llegando hasta la temperatura máxima del día: 30.3°C (a las 10:00 hrs. en Picacho-Ajusco), y 26.8°C (en el matorral xerófilo a las 11:00 hrs.); Periférico-Sur mantuvo su temperatura constante hasta las 15:00 hrs., momento en que se incrementa para llegar a los 26.5°C. El bosque de encino y el bosque cultivado fueron las coberturas que incrementaron su temperatura más gradualmente hasta alcanzar los 21°C y 22.1°C respectivamente a las 15 h, siendo a partir de este momento que la variación térmica entre coberturas disminuye, iniciando también el descenso de temperatura en general hasta el comienzo del nuevo día.

## Discusión.

A continuación, mencionaremos algunas consideraciones generales que se pudieron observar en los resultados presentados en esta investigación.

El monitoreo de temperatura en las ciudades es indispensable para identificar efectos climáticos como la ICU y el de IFV; lamentablemente en la Ciudad de México, la red de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional no cubre las Áreas Naturales Protegidas, por lo que es necesario buscar alternativas para el monitoreo de temperatura en dichas zonas.

Por medio de la colocación de sensores automáticos se logró generar una microrred de monitoreo térmico que junto con los datos disponibles de estaciones meteorológicas del SMN, permitieron dar sustento a la presente investigación.

Teniendo en consideración los promedios de las temperaturas medias, máximas y mínimas para los meses de monitoreo, se observó que en todos los casos el Bosque de Tlalpan fue por lo menos 2°C más fresco que los alrededores urbanos, y en el caso de las temperaturas máximas el contraste fue de 3.7°C. Lo anterior confirma de forma general que dicha Área Natural Protegida genera el efecto de IFV al sur de la Ciudad de México, y de la cual aprovechamos servicios ecosistémicos de regulación; sin embargo, también es necesario señalar que de forma particular, cada uno de los tipos de vegetación presentan variaciones de contraste con los sitios en los alrededores urbanos.

La cobertura donde se observó mayor variabilidad térmica fue el matorral xerófilo, en la que en los momentos del día cuando se presentan las menores temperaturas, obtuvo los valores más bajos, mientras que en los momentos con mayores temperaturas del día, a pesar de no ser la cobertura con los valores más altos, éstos se aproximaban más a aquellos observados en la parte urbana, que a los de los otros dos tipos de vegetación al interior del Bosque de Tlalpan. Dicha variabilidad podría en parte explicar la gran diversidad biológica existente en el matorral xerófilo, ya que los organismos ahí presentes se deben adaptar a un mayor rango de temperaturas en comparación, por ejemplo, el registrado en el bosque de encino.

Teniendo en consideración los mapas de temperatura mostrados en esta investigación, podemos decir que de los sitios localizados en la parte urbana, Periférico-Sur y Picacho-Ajusco mostraron mayores temperaturas que la zona residencial, la cual en general presentó temperaturas similares a las del interior del Bosque de Tlalpan, por lo que realmente este sitio no fue representativo de un ambiente urbano. Con ello se demuestra, por un lado, que entre mayor grado de urbanización, mayores temperaturas; y por otro lado, la zona residencial podría considerarse como un posible escenario de mitigación de la ICU en la Ciudad de México, lo que contribuiría al desarrollo de planes de ordenamiento ecológico y territorial.

A excepción del mes de noviembre, el bosque de encino fue la única cobertura al interior del Bosque de Tlalpan que presentó diferencias significativas con la zona residencial en los demás meses de monitoreo (agosto, septiembre y octubre). Esto pudiera indicar que los bosques nativos funcionales tienen mayor efecto en el amortiguamiento de la temperatura, en comparación a los bosques o bosquetes de origen antrópico. Lo anterior evidencia la importancia de conservar y restaurar los ecosistemas relicto de la Ciudad de México.

Debido a la presencia del arbolado en donde se localiza la estación meteorológica Desviación Alta al Pedregal, ésta muestra temperaturas similares a los registrados al interior del del Bosque de Tlalpan, por lo que sus datos pudieran no ser representativos de las temperaturas urbanas de la Ciudad de México y, por el contrario, pudiera considerarse como una estación representativa de un microclima de un Área Verde Urbana de pequeña extensión.

Teniendo como referencia el climograma de datos de la estación Desviación Alta Pedregal (1981-2010), el mes con mayores temperaturas medias es agosto, sin embargo, en esta investigación, el mes más cálido para todos los sitios de monitoreo fue septiembre. En este sentido, es importante señalar que es necesario ampliar el periodo de monitoreo, con la finalidad de poder contar con registros de datos para las estaciones del año faltantes (primavera e invierno), y poder identificar la marcha anual de la temperatura, para poder realizar mayores inferencias al respecto.

En comparación con otros métodos para monitorear la temperatura en las ciudades, como el de transectos y la Percepción Remota, los sensores fijos demostraron tener ciertas ventajas, por ejemplo, el contar con datos en intervalos de tiempo definidos por uno mismo; ubicarlos en zonas puntuales dependiendo nuestras necesidades; contar con datos en horarios en los que las ANP se encuentran cerradas al público; y en términos generales es un método que implica menos recursos (humanos y económicos) en el trabajo en campo.

La metodología utilizada en la presente investigación puede ser utilizada para identificar, tanto el efecto de la Isla de Calor Urbana, como el efecto de la Isla Verde de Frescor en las ciudades; así como para la cuantificación de los Servicios Ecosistémicos Urbanos.

Para la comparación de los datos obtenidos en diversos sitios, los análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey, conformaron valiosas pruebas estadísticas que ayudaron en la comprobación de la hipótesis de esta investigación.

Para mejorar ciertos aspectos del método utilizado, se sugieren las siguientes recomendaciones: realizar revisión general de los sensores cada semana, o máximo cada 15 días; al remplazar las baterías, utilizar la marca recomendada por el fabricante, y revisar que la goma de protección esté colocada correctamente al cerrar la ranura de la batería, ya que puede ocasionar intermitencias en la toma de datos.

Por otro lado, también se recomienda la instalación de más sensores automáticos, con la finalidad de mejorar los mapas de temperatura presentados, resultado de los procesos de interpolación en los Sistemas de Información Geográfica.

## Conclusiones.

Se necesitan nuevas tipologías de Áreas Verdes Urbanas que incluyan las variables presentadas en este trabajo, con la finalidad de diferenciar la cantidad y la calidad de los diversos SEU que de ellas aprovechamos.

Es fundamental continuar con monitoreos de temperatura en las Áreas Verdes Urbanas, tanto para identificar la intensidad de fenómenos como la Isla de Calor Urbana y la Isla de Frescor Verde, como para la cuantificación de los Servicios Ecosistémicos Urbanos.

Es necesario destacar la importancia de las Áreas Naturales Protegidas dentro de las ciudades, como un tipo de Área Verde Urbana en las que se pueden encontrar relictos de los ecosistemas originarios de la Cuenca de México y que, además de contar con alguna categoría de protección bajo la legislación mexicana, funcionan como laboratorios *in situ* en diversas temáticas geográficas y ambientales.

La relación que existe entre la ICU y la salud humana hace que el monitoreo de temperatura en las Áreas Verdes Urbanas sea indispensable para la prevención de diversas enfermedades relacionadas directamente al calor, y del incremento de casos de zoonosis y distribución de vectores transmisores de virus.

La disponibilidad de nuevos instrumentos de medición automática, permitió la generación una microrred de sensores de temperatura, con la finalidad de monitorear las condiciones dentro del del Bosque de Tlalpan y en los alrededores urbanos.

La elaboración cartográfica permitió distinguir la distribución especial de las temperaturas monitoreadas al interior del Bosque de Tlalpan y los alrededores urbanos.

De los tres tipos de vegetación que se monitorearon al interior del Bosque de Tlalpan, el bosque de encino presentó los mayores contrastes con los alrededores urbanos, seguido del bosque cultivado, y el matorral xerófilo.

Los contrastes térmicos observados entre los diferentes tipos de vegetación al interior del Bosque de Tlalpan y sus alrededores de carácter urbano, así como los resultados de los análisis de varianza (ANOVA y Tukey), confirman que de

manera general dicha Área Natural Protegida genera el efecto de Isla de Frescor Verde al sur de la CDMX, comprobándose así la hipótesis planteada en esta investigación.



## Referencias.

- Abreu, J. *et al.* (2014). *Salud ambiental, evolución histórica conceptual y principales áreas básicas*. Revista Cubana de Salud Pública 40 (4).
- Aguilar, A. y Escamilla, I. (coord.). (2013). *La sustentabilidad en la Ciudad de México*. Serie Estudios Urbanos. Instituto de Geografía. UNAM. México.
- Akbari, H. y Dionysia, K. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings* 133. 834-842. Elsevier.
- Albaladejo, J. (Editor). (2012). Alteraciones termorregulación II: Hipertermia, en: *Volviendo a lo básico*. Versión electrónica. Fundación para la Formación e Investigación Sanitarias de la Región de Murcia. Universidad Católica San Antonio de Murcia. Cartagena. España. Recuperado de: [http://www.ffis.es/volviendoalobasico/5alteraciones\\_termoregulacin\\_ii\\_hipertermia.html](http://www.ffis.es/volviendoalobasico/5alteraciones_termoregulacin_ii_hipertermia.html). 05 enero 2022.
- ANP Bosque de Tlalpan. (2019). Capas de información geográfica proporcionadas por el personal del Área Natural Protegida.
- Aram, F. *et al.* (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon* 5. e01339.
- Ballinas, M. (2011). *MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA: ESTUDIO DE CASO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO*. Tesis de Maestría. UNAM. México.
- Ballinas, M. (2016). *MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA: UN MODELO GENERAL. URBAN HEAT ISLAND MITIGATION: A GENERAL MODEL*. Tesis de Doctorado. UNAM. México.
- Barradas, V. y Seres, R. (1988). Los pulmones urbanos. *Ciencia y Desarrollo*. No. 78. Año XIII.
- Barradas, V. (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city Parks of Mexico City. *International Journal of Biometeorology*. 35: 24-28.
- Barradas, V. *et al.* (1999). Energy balance measurements in a suburban vegetated área in Mexico City. *Atmospheric Environment*. 33. 4109-4113. Elsevier.

Barradas, V. (2013). La isla de calor urbana y la vegetación arbórea. *Oikos*. No. 7. Instituto de Ecología. UNAM. México.

Bastien, B. (2018). History of Climatology

Bertolin, C. y Camuffo, D. (2020). Urban Climate and Health: Two Strictly Connected Topics in the History of Meteorology. *Sustainability in Energy and Buildings. Smart Innovation, Systems and Technologies*. Vol. 163. pp. 565-579.

Blazejczyk, K. *et al.* (2013). An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica* 86, 1. 5-10.

Bowler, D. *et al.* (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape an Urban Planning* 97. 147-155. Elsevier.

Burgstall, A. *et al.* (2019). Heat Warnings in Switzerland: Reassessing the Choice of the Current Heat Stress Index. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16. 2684.

Camacho, V. y Ruiz, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*. Vol. 1. Núm. 4.

CDC. (s/a). Enfermedades relacionadas con el calor. Recuperado de: [https://www.cdc.gov/es/disasters/extremeheat/pdf/Heat\\_Related\\_Illness\\_es.pdf](https://www.cdc.gov/es/disasters/extremeheat/pdf/Heat_Related_Illness_es.pdf): 05 de noviembre de 2020.

Chandler, T. J. (1962). *The Climate of London*. Hutchinson of London.

Cheng, L. *et al.* (2019). Urban cooling island effect of main river on a landscape scale in Chongqing, China. *Sustainable Cities and Society*. 47. Elsevier.

Cigna. (s/a). Enfermedades relacionadas con el calor. Recuperado de: <https://www.cigna.com/individuals-families/health-wellness/hw-en-espanol/temas-de-salud/enfermedades-relacionadas-con-el-calor-htske>: 05 de noviembre de 2020.

CONABIO y SEDEMA. (2016). *La Biodiversidad en la Ciudad de México*. México

CONAFOR. (s/a). Servicios Ambientales y Cambio Climático. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/2290Servicios%20Ambientales%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico.pdf>; 14 de septiembre de 2022.

Costanza, R. *et al.* (1997). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*. Vol. 387. pp. 253-260.

Daily, G. *et al.* (1997). *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*. Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press.

Declet-Barreto, J. *et al.* (2012). Creating the park cool island in an inner-city neighborhood: heat mitigation strategy for Phoenix, Az. *Urban Ecosyst* 16, 617-635.

De Groot, R. *et al.* (2002). A typology for the Classification Description and Valuation of Ecosystem Functions, Goods and Services. *Ecological Economics*. Volume 41. Issue 3. pp. 393-408.

Dobbs, C. *et al.* (2019). Urban ecosystem Services in Latin America: mismatch between global concepts and regional realities? *Urban Ecosystems* 22. pp. 173-187.

Enciso, S. (1979). *Las lavas de El Pedregal*. Ciencia y Desarrollo 25:89-93.

Fallas A. y Molina S. (2017). Propuesta metodológica para cuantificar y compensar los servicios agroecosistémicos generados por buenas prácticas agropecuarias. *Ecosistemas* 26 (3). pp. 89-102.

Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort*. Danish Technical Press. Copenhagen.

Firehock, K. (2010). *A short History of the Term Green Infraestructure and Selected Literature*. Green Infraestructure Center.

Flores, R. y González, M. (2010). Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Vol. 1. Núm. 1. p. 17-24. México.

Freitas, C. R. y Grigorieva, E. A. (2015). A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. *International Journal of Biometeorology* 59. 109-120.

García, E. (1964). *MODIFICACIONES AL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN (PARA ADAPTARLO A LAS CONDICIONES DE LA REPÚBLICA MEXICANA)*. Instituto de Geografía. UNAM. México.

GDF. (1976). Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. DOF. México

GDF. (2010). Acuerdo por el que se aprueba y expide el Plan Rector de las Áreas Naturales Protegidas del Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. Décima Séptima Época. No. 857. México.

GDF. (2011a). Acuerdo por el que se expide el Programa de Manejo del Área natural Protegida "Bosque de Tlalpan". *Gaceta Oficial del Distrito federal*. Décima Séptima Época. No. 1120. México.

GDF. (2011b). Decreto por el que se declara como Área Natural Protegida del Distrito Federal al “Bosque de Tlalpan”, bajo la categoría de zona ecológica y cultural. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. Décima Séptima Época. No. 1119. México.

GDF. (2017). Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito federal*.

GDF. (2000). Ley Ambiental del Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito federal*.

GDF. (2022). Colonias CDMX. Portal de datos abiertos. Recuperado de: <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/coloniascdmx/resource/f1408eeb-4e97-4548-bc69-61ff83838b1d>: 13 de agosto de 2022.

Geiger, R. (1950). *The climate above the ground*. Harvard University. EE. UU.

Geneletti, D. et al. (2020). “Towards equity in the Distribution of Ecosystem Services in Cities”. En Geneletti et al. *Planning for Ecosystem Services in Cities*. Springer, pp. 57-66.

Gómez-Baggethun, E. y Barton, D. (2012). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*.

Goncalvez, A. et al. (2018). Urban Cold and Heat Island in the city of Braganca (Portugal). *Climate* 6. no. 3: 70.

Google Earth. (s/a). Imágen satelital Landsat/Copernicus.

Greenpeace. (2021). Greenpeace reclama ciudades verdes para lograr un planeta sano. Recuperado de: <https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/ciudades-verdes-planeta-sano/#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20Organizaci%C3%B3n%20Mundial%20de,recomendado%20sea%209%20m2.>: 07 de septiembre de 2022.

Grimmond, C. (2006). *Progress in measuring and observing the urban atmosphere*. Theoretical and Applied Climatology 84. 3-22.

Haldane J. S. (1905). The influence of high air temperatures No.1. *Journal of Hygiene* 5 (4). 494-513.

Howard, L. (1833). The climate of London. en: Mills, G. *The climate of London by Luke Howard (1833)*. International Association for Urban Climate. Inglaterra.

INEGI. (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM 3.0). Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>: 15 de septiembre de 2022.

INEGI. (2020). Encuesta Nacional de Población y Vivienda 2020. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Datos_abiertos): 12 de septiembre de 2022.

Inostroza, L. et al. (2020). *Servicios Ecosistémicos Urbanos en Latinoamérica, oportunidades para el desarrollo urbano sostenible, la acción climática y la gestión de la biodiversidad urbana*. Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe.

Jankovic, Vladimir. (2013). A historical review of urban climatology and the atmospheres of the industrialized world. *WIREs Climate Change*.

Jáuregui, E. (1971). *Mesomicroclima de la Ciudad de México*. Dirección General de Publicaciones. UNAM. México.

Jáuregui, E. (1973). The urban climate of Mexico City. *Erdkunde* 28 (4), 298-307.

Jáuregui, E. (1975). Microclima del Bosque de Chapultepec. *Investigaciones geográficas* (6), 63-72. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Jáuregui, E. (1993). La isla de calor urbano de la Ciudad de México a finales del siglo XIX. *Investigaciones Geográficas Boletín*, núm. 26. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Jáuregui, E. (1995). Algunas alteraciones de largo periodo del clima de la Ciudad de México debidas a la urbanización. *Investigaciones Geográficas Boletín*, núm. 31. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Jáuregui, E. (2000). *El clima de la Ciudad de México*. Instituto de Geografía, UNAM. Plaza y Valdés Editores. México.

Jáuregui, E. (2009). The heat spells of Mexico City. *Investigaciones Geográficas*. 70. 71-76. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM.

Jennings, V. et al. (2017). "Emerging issues in Urban Ecology: Implications for Research. Social Justice. Human Health. and Well-Being". *Population and Environment*. 39(1). pp. 69-86.

Jones, K. (2018). The Lungs of the City: Green Space, Public Health and Bodily Metaphor in the Landscape of Urban Park History. *Environment and History* 24. pp. 39-58.

Kestrelmeters. (s/a). Kestrel Drop D1 and D2. Recuperado de: <https://kestrelmeters.com/products/kestrel-drop>.: 24 de enero de 2019.

- Landsberg, H. (1964). Roots of modern climatology. *Journal of the Washington Academy of Sciences*. 54(4).
- Landsberg, H. y Oliver, J. (2005). Climatology. En: *Encyclopedia of World Climatology. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer Dordrecht.
- LAPTRDF. (2017). *Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal*. Reforma publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México, en septiembre de 2017.
- Lara, R. (2016). *Difusión cultural del Pedregal de San Ángel en Ciudad Universitaria a través de la Xerojardinería con base en la vegetación nativa*. Tesis de Licenciatura. UNAM. México.
- Lee, S. et al. (2009). Effect of an urban park on air temperature differences in a central business district area. *Landscape and Ecological Engineering*. 5:183-191.
- Lemus, S. (2016). *Isla de calor en la Ciudad de Puebla*. Tesis de Licenciatura. UNAM. México.
- Lewis, J. et al. (1971). Some effects of urban morphology on temperatures at Washington DC.
- MacPherson, R. K. (1962). THE ASSESSMENT OF THE THERMAL ENVIRONMENT A REVIEW. *BRITISH JOURNAL OF INDUSTRIAL MEDICINE*. 19, 151.
- Maldonado, G. et al. (2019). CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DE ÁREAS VERDES URBANAS EN DOS ALCALDÍAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO ENTRE 1990-2015. *POLIBOTÁNICA*. Núm. 48. pp. 205-230.
- Martínez-Austria, P. F. et al. (2015). *Temperature and heat wave trends in northwest Mexico. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*.
- Martínez, C. (2002). *Evaluación Económica e Inversión sobre un Condominio Horizontal en la Delegación Álvaro Obregón*. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Mayer, H. (1993). Urban bioclimatology. *Experientia* 49, 957-963. Springer.
- MEA. (2005). *Millenium Ecosystem Assessment*.
- Melo, C. (2002). *Áreas Naturales Protegidas de México en el siglo XX*. Temas Selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía. UNAM. México.

- Meral, P. (2005). *Les services environnemetaux en économie: reveu de la litterature*. Document de travail n° 2010-05. Programme SERENA. Institut de recherche pour le développement Montpellier.
- Mooser, F. (1975). Historia geológica de la cuenca de México. En *Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*, tomo 1 (pp. 7-38) y un mapa geológico a escala 1: 200 000. México.
- Mora R. *et al.* (2012). Servicios ambientales y ecosistémicos: conceptos y aplicaciones en Costa Rica. *Puentes entre el Comercio y el Desarrollo Sostenible*. Vol. 13. No. 2. pp. 20-23.
- Moreno, M. (1990). Bibliografía sobre Climatología urbana: la "isla de calor", I. *Revista de geografía*. Volumen 24. Número 1.
- Mills, G. (2006). *The climate of London by Luke Howard (1833)*. International Association for Urban Climate. Inglaterra.
- Mills, G. (2014). *Urban climatology: History, status and prospects*. In press Elsevier
- Núñez, J. (2021). Análisis especial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México. *Economía, Sociedad y Territorio*. Vol. XXI. Núm. 67. pp. 803-833.
- Ochoa, J. (1999). *La vegetación como instrumento para el control climático*. Tesis de Doctorado. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Ojeda, L. (2021). Equidad en el acceso a las áreas verdes urbanas en México: revisión de literatura. *Revista Sociedad y Ambiente*. Núm. 24. p. 1-28. Colegio de la Frontera Sur. México.
- Oke, T. R. (1973). CITY SIZE AND THE URBAN HEAT ISLAND. *Atmospheric Environment Pergamon Press*. Vol. 7. Pp. 769-779.
- Oke, T.R. (1984). Methods in urban climatology. *Applied Climatology* 14.
- Oke, T.R. (1988). The urban energy balance. *Progress in Physical Geography* 12. SAGE Publications.
- Oke, T. R. *et al.* (1989). The Micrometeorology of the Urban Forest (and Discussion). *Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences* 324. pp. 335-349.
- Oliveira, J. *et al.* (2020). Urban climate and environmental perception about climate change in Belém, Pará, Brazil. *Urban Climate Journal*. Volume 31.

OMM. (2019). Nuevos récords de temperatura durante la ola de calor europea. Recuperado de: <https://public.wmo.int/es/media/noticias/nuevos-r%C3%A9cords-de-temperatura-durante-la-ola-de-calor-europea>.

OMS. (s/a). Cambio climático y salud humana. Recuperado de: <https://www.who.int/globalchange/publications/heat-and-health/es/>.

ONU. (1987). *Our common future*.

ONU-Habitat. (s/a). ONU-Habitat - El Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Recuperado de: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/nosotros> : 05 de noviembre de 2020.

ONU. (s/aa). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Información general. Recuperado de: <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>.

ONU. (s/ab). Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en países en Desarrollo. Recuperado de: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>.

ONU. (s/ac). Ciudades y comunidades sostenibles. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>.

Owen, M. (1971). *Conservación de Recursos Naturales*. Editorial Pax México. México.

PAOT. (2018). *Sistema de Información del Patrimonio Ambiental y Urbano de la Ciudad de México. SIG PAOT*.

Parsaee *et al.* (2019). Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental Technology & Innovation*. No. 14.

Perdomo-Velázquez, H. (2016). Resumen ejecutivo. Servicios Ecosistémicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*. Vol. III. CONABIO/SEDEMA. pp. 19-21.

Pötz, H. (s/a). Historical importance and development of parks and public green grids. Recuperado de: <https://www.urbangreenbluegrids.com/about/historical-importance-and-development-of-parks-and-public-green-grids/> , el 13 junio de 2022.

Reyes, J. y Gabriel, C. (2018). *DISTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS VERDES, ÍNDICE DE MARGINACIÓN Y JUSTICIA AMBIENTAL EN LEÓN, GUANAJUATO*. Universidad



Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A. C. coeditores. México.

Riojas, H. *et al.* (2006). *ESTUDIO DIAGNÓSTICO SOBRE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SALUD HUMANA DE LA POBLACIÓN EN MÉXICO*. Informe final. INE. INSP. México.

Rizwan, A. *et al.* (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat island. *Journal of Environmental Sciences* 20.

Roghanchi, P. *et al.* (2015). *Understanding the Human Thermal Balance and Heat Stress Indices as They Apply to Deep and Hot US Mines*. 15<sup>th</sup> Northern American Ventilation Symposium. Virginia Tech Department of Mining and Minerals Engineering.

Rzedowski, J. (1954). Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *An. Esc. Nac. Cien. Biol.* 8(1-2): 59-129. México.

Schmitter, E. (1953). Investigación petrológica en las lavas del pedregal de San Ángel. En *Congreso Científico Mexicano, Memorias* 3 (pp. 218-237). México.

SEDEMA. (2016). Las Áreas Verdes Urbanas y tú. Dirección de Educación Ambiental. México.

SEDEMA. (2017a). Inventario de Áreas Verdes Urbanas. Recuperado de: <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/inventario-de-areas-verdes>: 05 de agosto de 2022.

SEDEMA. (2017b). Suelo de Conservación. Gobierno de la Ciudad de México. México.

SEDEMA. (2018). Invita SEDEMA a conocer el Bosque de Tlalpan. Recuperado de: [https://www.sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/invita-sedema-conocer-el-bosque-de-tlalpan#:~:text=Este%20ecosistema%20tambi%C3%A9n%20alberga%20aproximadamente,pico%20ancho%20\(Cynanthus%20latirostris\)%3B](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/invita-sedema-conocer-el-bosque-de-tlalpan#:~:text=Este%20ecosistema%20tambi%C3%A9n%20alberga%20aproximadamente,pico%20ancho%20(Cynanthus%20latirostris)%3B): 22 junio 2019.

SEDEMA. (2020a). Inventario de Áreas verdes, en la Ciudad de México. Recuperado de: <http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/inventario-de-areas-verdes-mapa>: 05 de agosto de 2022.

SEDEMA. (2020b). Áreas Naturales Protegidas. Recuperado de: <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/areas-naturales-protegidas>: 14 de noviembre de 2020.

- Segura, S. (2005). *Los jardines en la Antigüedad*. Universidad de Deusto. Bilbao. España.
- SEMARNAT. (s/a). Superficie de Áreas Verdes Urbanas per cápita. Recuperado del sitio: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores\\_ilac18/indicadores/04\\_sociales/4.1.3.1.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_ilac18/indicadores/04_sociales/4.1.3.1.html); 09 de agosto de 2022.
- SEREPSA. (2008). *Manual de procedimientos. Programa de Adopción de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel*. Secretaría Ejecutiva REPSA. Coordinación de la Investigación Científica. UNAM. México.
- Siebe, C. (2009). La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 +/-35 AP y sus implicaciones, en Lot A. y Cano-Santana. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM.
- SMN. (s/a). Normales climatológicas de la estación “Desviación Alta al Pedregal”. Periodo: 1981-2010. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=df>, fecha: 19 noviembre de 2020.
- SMA. (s/a). Áreas Naturales Protegidas del Distrito Federal 2009. Recuperado de: [http://www.sma.df.gob.mx/corena/index.php?option=com\\_content&view=article&id=70&Itemid=87](http://www.sma.df.gob.mx/corena/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=87); 16 de marzo 2016.
- Sorensen, M. *et al.* (1998). *Manejo de las áreas verdes urbanas*. Documento de buenas prácticas. División de Medio Ambiente del Departamento de Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo.
- Sproken-Smith, R. A. y Oke, T. R. (1998). The thermal regime of urban Parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*. 19:11, 2085-2104.
- Statista. (s/a). Ranking de las 10 ciudades con más espacios verdes de la OCDE en 2018. Recuperado de: <https://es.statista.com/estadisticas/863242/ranking-de-ciudades-con-mas-espacios-verdes-en-la-ocde/>; 14 de agosto de 2022.
- Stewart, I. (2011). *Redefining the urban heat island*. Doctor of philosophy thesis. The University of British Columbia. Vancouver, Canada.
- Stewart, I. (2019). Why should urban heat island researchers study history? *Urban Climate Journal*. Volume 30.
- Tallis, H. *et al.* (2012). A Global System for Monitoring Ecosystem Service Change. *BioScience*. Volume 62. Issue 11. pp. 977-986.

TEEB. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. Pushpam Kumar Editores.

Tirado, M. (2010). Cambio climático y salud. Informe SESPAS 2010. *Gaceta Sanitaria*. Volúmen 24. Suplemento 1. 78-84.

Valdés, P. y Foulkes, M. (2016). La infraestructura verde y su papel en el desarrollo regional. Aplicación a los ejes recreativos y culturales de resistencia y su área metropolitana. *Cuaderno Urbano. Espacio, Cultura, Sociedad*. Vol. 20. No. 20. pp. 45-70.

Vieira, P. *et al.* (2015). Characterization of human thermal comfort in urban areas of Brazilian semiarid. *Revista Brasileira de Meteorologia*. V.30, n.4, 371-380.

Wang, J. y Banzhaf, E. (2018). Towards a better understanding of Green Infrastructure: A critical review. *Ecological Indicators* 85. 758-772. Elsevier.

WMO. (s/a). Climate. Recuperado de: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate>: 24 de marzo de 2020.

WMP. (s/a). Enfermedades transmitidas por mosquitos. Recuperado de: <https://www.worldmosquitoprogram.org/es/enfermedades-transmitidas-por-mosquitos#:~:text=Las%20enfermedades%20transmitidas%20por%20mosquito,chikungunya%2C%20fiebre%20amarilla%20y%20Zika>: 24 de marzo de 2020.

Xolocotzi, R. (2017). Una reflexión teórica sobre estándares de áreas verdes empleadas en la planeación urbana. *Economía, Sociedad y Territorio*. Vol. XVII. Núm. 54. pp. 491-522.

Xueru, Z., *et al.* (2018). *Ecological Land Cold Island Effect Evaluation Based on Land Surface Temperature Retrieval*. 7<sup>th</sup> International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics), Hangzhou, pp. 1-4.

Yang, L. *et al.* (2016). *Research on urban Heat-island Effect*. Fourth International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island. Elsevier.

Yilmaz, S. *et al.* (2007). Human thermal comfort over three different land surfaces during summer in the city of Erzurum, Turkey. *Atmósfera*. 20 (3). 289-297.

Yoshino, M. (1975). Climate in a small Area. *University of Tokyo Press*. 1-549.

Yoshino, M. (1990). Development of Urban Climatology and Problems Today. *Energy and Buildings*, 15-16, 1-10.

## Anexos.

### Anexo 1. Resultado de las pruebas estadísticas ANOVA y de Tukey para el mes de agosto de 2018.

```

| Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = temp ~ t_veg)

St_veg
      diff      lwr      upr    p adj
b_encino-b_cultivado -4.449275e-01 -1.5435433 0.6536883 0.8575409
casa-b_cultivado      8.082126e-01 -0.2904032 1.9068284 0.2879970
m_xerofito-b_cultivado 1.250725e+00 0.1521088 2.3493404 0.0150389
periferico-b_cultivado 3.056522e+00 1.9579059 4.1551375 0.0000000
picacho-b_cultivado    3.056522e+00 1.9579059 4.1551375 0.0000000
casa-b_encino         1.253140e+00 0.1545243 2.3517559 0.0147330
m_xerofito-b_encino   1.695652e+00 0.5970364 2.7942680 0.0001666
periferico-b_encino   3.501449e+00 2.4028335 4.6000651 0.0000000
picacho-b_encino      3.501449e+00 2.4028335 4.6000651 0.0000000
m_xerofito-casa       4.425121e-01 -0.6561037 1.5411279 0.8603480
periferico-casa       2.248309e+00 1.1496934 3.3469250 0.0000001
picacho-casa          2.248309e+00 1.1496934 3.3469250 0.0000001
periferico-m_xerofito 1.805797e+00 0.7071813 2.9044129 0.0000443
picacho-m_xerofito    1.805797e+00 0.7071813 2.9044129 0.0000443
picacho-periferico    -1.776357e-14 -1.0986158 1.0986158 1.0000000

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
t_veg      5      2308      461.6      30.1 <2e-16 ***
Residuals 1236 18953      15.3
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

ANOVA (agosto, 2018).

Tukey (agosto, 2018).

### Anexo 2. Resultado de las pruebas estadísticas ANOVA y de Tukey para el mes de septiembre de 2018.

```

Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = temp ~ t_veg)

St_veg
      diff      lwr      upr    p adj
b_encino-b_cultivado -0.65765766 -1.305484011 -0.009831304 0.0442176
casa-b_cultivado      0.54774775 -0.100078606 1.195574101 0.1526373
m_xerofito-b_cultivado 0.64630631 -0.001520047 1.294132660 0.0509487
periferico-b_cultivado 2.60288288 1.955056529 3.250709236 0.0000000
picacho-b_cultivado    3.45531532 2.807488962 4.103141669 0.0000000
casa-b_encino         1.20540541 0.557579052 1.853231759 0.0000018
m_xerofito-b_encino   1.30396396 0.656137610 1.951790318 0.0000002
periferico-b_encino   3.26054054 2.612714187 3.908366894 0.0000000
picacho-b_encino      4.11297297 3.465146619 4.760799327 0.0000000
m_xerofito-casa       0.09855856 -0.549267795 0.746384912 0.9980593
periferico-casa       2.05513514 1.407308782 2.702961489 0.0000000
picacho-casa          2.90756757 2.259741214 3.555393921 0.0000000
periferico-m_xerofito 1.95657658 1.308750223 2.604402930 0.0000000
picacho-m_xerofito    2.80900901 2.161182655 3.456635363 0.0000000
picacho-periferico    0.85243243 0.204606079 1.500258786 0.0024591

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
t_veg      5      7002      1400.4      97.77 <2e-16 ***
Residuals 3324 47614      14.3
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

ANOVA (septiembre, 2018).

Tukey (septiembre, 2018).

**Anexo 3.** Resultado de las pruebas estadísticas ANOVA y de Tukey para el mes de octubre de 2018.

```

| Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = temp ~ t_veg)

$t_veg
      diff      lwr      upr    p adj
b_encino-b_cultivado -0.5787671 -1.1966714 0.03913712 0.0814314
casa-b_cultivado      0.2717466 -0.3461577 0.88965082 0.8099133
m_xerofito-b_cultivado 0.7753425 0.1574382 1.39324671 0.0047284
periferico-b_cultivado 2.9611301 2.3432259 3.57903438 0.0000000
picacho-b_cultivado    4.1816781 3.5637738 4.79958233 0.0000000
casa-b_encino          0.8505137 0.2326095 1.46841794 0.0012428
m_xerofito-b_encino    1.3541096 0.7362053 1.97201383 0.0000000
periferico-b_encino    3.5398973 2.9219930 4.15780151 0.0000000
picacho-b_encino       4.7604452 4.1425410 5.37834945 0.0000000
m_xerofito-casa        0.5035959 -0.1143084 1.12150014 0.1846558
periferico-casa        2.6893836 2.0714793 3.30728781 0.0000000
picacho-casa           3.9099315 3.2920273 4.52783575 0.0000000
periferico-m_xerofito  2.1857877 1.5678834 2.80369192 0.0000000
picacho-m_xerofito     3.4063356 2.7884314 4.02423986 0.0000000
picacho-periferico     1.2205479 0.6026437 1.83845219 0.0000000

      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
t_veg      5 10284 2056.8    150 <2e-16 ***
Residuals 3498 47969   13.7

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

ANOVA (octubre, 2018).

Tukey (octubre, 2018).

**Anexo 4.** Resultado de las pruebas estadísticas ANOVA y de Tukey para el mes de noviembre de 2018.

```

Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = temp ~ t_veg)

$t_veg
      diff      lwr      upr    p adj
b_encino-b_cultivado -0.68278146 -1.70316903 0.3376061 0.3968957
casa-b_cultivado      0.09072848 -0.92965910 1.1111161 0.9998578
m_xerofito-b_cultivado 0.60066225 -0.41972532 1.6210498 0.5457096
periferico-b_cultivado 1.71523179 0.69484421 2.7356194 0.0000259
picacho-b_cultivado    4.55629139 3.53590382 5.5766790 0.0000000
casa-b_encino          0.77350993 -0.24687764 1.7938975 0.2559932
m_xerofito-b_encino    1.28344371 0.26305613 2.3038313 0.0046036
periferico-b_encino    2.39801325 1.37762567 3.4184008 0.0000000
picacho-b_encino       5.23907285 4.21868527 6.2594604 0.0000000
m_xerofito-casa        0.50993377 -0.51045380 1.5303213 0.7113812
periferico-casa        1.62450331 0.60411574 2.6448909 0.0000869
picacho-casa           4.46556291 3.44517534 5.4859505 0.0000000
periferico-m_xerofito  1.11456954 0.09418196 2.1349571 0.0228838
picacho-m_xerofito     3.95562914 2.93524156 4.9760167 0.0000000
picacho-periferico     2.84105960 1.82067203 3.8614472 0.0000000

      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
t_veg      5 5425 1085.0    56.16 <2e-16 ***
Residuals 1806 34889   19.3

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

ANOVA (noviembre, 2018).

Tukey (noviembre, 2018).