



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

La influencia de los elementos del diseño arquitectónico en el confort térmico humano en los parques de la Ciudad de México

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGA

P R E S E N T A
Sara Ivonne Morales Santiago

Director de tesis
Dr. Víctor Luis Barradas Miranda

Asesor interno
M. en C. Germán Calva Vásquez

Esta tesis forma parte del proyecto: *Lineamientos climáticos y bioclimáticos para la planeación urbana en México*. UNAM-DGPA-PAPIIT, IT201514

Ciudad de México, diciembre 2017





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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

“ZARAGOZA”

DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE.**

Comunico a usted que la alumna **MORALES SANTIAGO SARA IVONNE**, con número de cuenta **307304951**, de la carrera de Biología, se le ha fijado el día **05 de diciembre de 2017** a las **13:00 hrs.**, para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

- PRESIDENTE** Dr. ARCADIO MONROY ATA
- VOCAL** Dr. VÍCTOR LUIS BARRADAS MIRANDA*
- SECRETARIO** M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ
- SUPLENTE** M. en C. ELISEO CANTELLANO DE ROSAS
- SUPLENTE** M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL

El título de la tesis que presenta es: **La influencia de los elementos del diseño arquitectónico en el confort térmico humano en los parques de la Ciudad de México.**

Opción de titulación: Tesis

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad de México, a 16 de noviembre de 2017

DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ
DIRECTOR

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA
DIRECCIÓN

RECIBÍ
OFICINA DE EXÁMENES
PROFESIONALES Y DE GRADO

VO. BO.
M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL
JEFE DE CARRERA



Dedicatorias

A mis padres, soy quien soy gracias a la belleza de su alma.

A mi hermano, solo quiero recordarte cuanto te amo, todo lo que me importas y que siempre quiero lo mejor para ti.

Agradezco infinitamente a la Gran Esencia por haberme permitido crecer dentro de esta familia que amo, honro y admiro.

Encuentro a Dios en todas las formas de vida, incluso en la materia inanimada, soy gentil con todo ser vivo, amo y honro a la Tierra.



*Llévame con tus alas de luz
águila tráenos medicina
del viento del aire, de las estrellas
del sol brillando, guía mi camino*

*Cura, cura, cúrame,
sana todo lo que yo llevo
agradezco por mi vida
Pachamama yo te amo
Vuela con el viento...*

*Llévame con tus alas de amor
Condorcito tráenos medicina
del cielo, ilumina mi interior
volando enseña mi camino.
vuela con el viento, Ayla Schafer*



Agradecimientos

Mamita Mari y papito Oscarín gracias por su entrega tan amorosa con mi hermano y conmigo. Son fuertes y genios, los honro, amo y admiro.

Hermano eres fuerte y genio, te honro y admiro mucho.

Gracias a todos mis familiares paternos y maternos por ser tan fuertes y entregados a construir, los admiro.

Gracias a todos los amigos que me han enseñado a formar lazos familiares y que me han mostrado su apoyo en muchas ocasiones, también son mi fortaleza. A Patricia, Verónica, Xochiquetzalli.

Rubén gracias por entregar tu corazón en los tratos hacia mí.

Honro, amo y agradezco a mis abuelos paternos y a toda la familia Morales, que a través del cariño que me dan aprendo lo que mis abuelos no pudieron enseñarme, ya que no alcancé a conocerlos, los admiro como admiro a mi padre. A mi tía Hortensia gracias por permitirme un acercamiento contigo y por tu confianza hacia mí.

Honro, amo y agradezco a mi abuela Oliva por creer en mí, darme su amor y confianza, además por heredarme sus virtudes y porque se que ella depositó su fe en mí desde que nací. Las pláticas contigo las llevo en mi corazón. Admiro la fortaleza de ella como la del abuelo Rufino. De sus hijos y nietos por que se que ellos están dispuestos a enseñarme y recordarme lo que como a mí les enseñaron mis abuelos. En especial agradezco la amistad y acercamiento con mi tía Mabel, se que también tuviste fe en mí.

Admiro a ambas familias porque enseñan amor a sus hijos y además siempre buscan lo mejor para ellos.

Honro, amo y agradezco a mis ancestros y a todo mi sistema familiar.

Honro, amo y agradezco infinitamente a todos los que han tenido la disposición de enseñarme de nuestra parte espiritual, a mis maestros Osvaldo, Palancares, Estela, Leticia, Verónica, Ma. Carmen.

También a mis maestros de danza Ana y Osvaldo por formar la familia Uhane i ka Aina Uhane O Pele.

A Candy, las Daisy y los gallos.

A las montañas y cuerpos de agua que me han permitido explorarlos y tomar con respeto una sagrada muestra de ellos para analizarlos en el laboratorio de Biología.

A los que han construido y siguen construyendo una sociedad y naturaleza en armonía, y también a los que aun no lo comprenden.

La gratitud lo cambia todo, genera endorfinas, dopamina y oxitocina; calma el estrés y la ansiedad.



Agradecimientos institucionales

A la Universidad Nacional Autónoma de México. Por esta gran oportunidad de estudio y experiencias memorables, gracias a todos los que precedieron y los que ahora están.

A los profesores y compañeros del CCH Oriente y de la FES Zaragoza, los llevo en mi corazón a todos.

Al director de tesis Dr. Victor Luis Barradas Miranda gracias por toda su atención y paciencia, lo aprecio mucho.

Al asesor interno Ma. en C. Germán Calva Vásquez que da todo por sus alumnos. Lo valoro mucho por su entrega de formar mejores profesionales y su alegre humor.

Al Dr. Arcadio Monroy, agradezco su pronta revisión, orientación y buen trato.

Al Ma. en C. Eliseo Cantellano por el apoyo y orientación en la revisión de la tesis.

Al Ma. en C. Armando Cervantes por sus revisiones asertivas y minuciosas.

Al proyecto *Lineamientos climáticos y bioclimáticos para la planeación urbana en México*. UNAM-DGPA-PAPIIT, IT201514, por el apoyo económico.

A los compañeros y colegas por su apoyo en campo para realizar el presente estudio Biol. Arturo, Biol. Hugo, Biol. Verónica, C. Hugo Yasser, QFB. Yael.



CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
Isla de calor urbana	3
Confort térmico	4
Índices bioclimáticos.....	8
Elementos del diseño arquitectónico	12
Microclima	13
Comportamiento de la energía en el tipo de piso	13
Comportamiento de la vegetación con la radiación solar	15
Radiación en la hoja	16
Acomodo de la vegetación y acción microclimática	18
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
IV. HIPÓTESIS	21
V. OBJETIVO	21
VI. OBJETIVOS PARTICULARES	21
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
Área de estudio	22
Descripción de la zona de estudio: Parque Gral. San Martín y Parque Luis G. Urbina	24
Micrositios	25
Trabajo en campo	26
Trabajo en gabinete	28
VIII. RESULTADOS	30
IX. DISCUSIÓN	43
X. CONCLUSIONES.....	51
XI. Lineamientos climáticos y bioclimáticos para la planeación urbana en México	53
XII. SUGERENCIAS Y PERSPECTIVAS	55
XIII. REFERENCIAS	56
XIV. ANEXOS.....	65



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Intervalos de temperatura equivalente fisiológica (<i>PET</i>) para diferentes percepciones térmicas y estrés fisiológico, para una persona con 80 W de producción de calor interno y 0.9 clo de resistencia térmica del vestido (Matzarakis y Amelung, 2008).....	9
Cuadro 2. Distribución de los votos de sensación térmica (basada en 1300 votos) para los diferentes valores del voto medio (ISO 7730, 1994) (<i>PPD</i> = <i>Porcentaje previsto de personas insatisfechas</i> , <i>PMV</i> = <i>Voto medio predicho</i>).	12
Cuadro 3. Albedo y temperatura de diferentes cubiertas superficiales expuestas a un ambiente similar (García <i>et al.</i> , 2013).	14
Cuadro 4. Propiedades de cinco tipos básico de suelo (Ochoa, 2009). *Depende del contenido de humedad,**Depende de su densidad, - No hay información.	14
Cuadro 5. Diferentes coberturas superficiales (Ahmid, 2011, García <i>et al.</i> , 2013 y Ochoa 2009).	14
Cuadro 6. Porcentaje de reflexión, transmisión y absorción de una hoja según la longitud de onda (según Oke, 1990; citado en Ochoa, 2009).....	16
Cuadro 7. Acomodo de la vegetación y su principal acción microclimática (Ochoa, 2009).	18
Cuadro 8. Características estructurales, fisiológicas y funcionales aplicable a arboles arbustos y trepadoras desde un punto de vista arquitectónico- microclimático (Ochoa, 2009).	19
Cuadro 9. Coordenadas geográficas de cada uno de los sitios de estudio en los parques General San Martín (PGSM) y Luis G. Urbina (PLGU).....	27
Cuadro 10. Factor de vista del cielo (<i>SVF</i>), área basal (<i>AB</i>) y promedio de la radiación global (<i>R_G</i>), temperatura del aire (<i>T_A</i>), presión de vapor (<i>e</i>), déficit de presión de vapor (<i>d_{pv}</i>), temperatura media radiante (<i>T_{mrt}</i>) y temperatura fisiológica equivalente (<i>PET</i>) en los seis sitios de estudio de los parques General San Martín (PGSM) y Luis G. Urbina (PLGU).....	35
Cuadro 11. Percepciones medias del PGSM y PLGU vs las categorías propuestas por Matzarakis y Amelung, 2008.....	41
Cuadro 12. Percepciones térmicas en exteriores de diferentes países (Krüger <i>et al.</i> , 2017) y las percepciones medias del PGSM y PLGU, comparadas con los intervalos propuestos por Matzarakis y Amelung en 2008.....	50



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona Metropolitana del Valle de México y su expansión de 1950 a 2000 (A). Fuente: CentroGeo (2002). Localización de los parques de estudio PGSM, PLGU y centro cálido MER en la Ciudad de México (B) (Google Earth).	25
Figura 2. Ubicación de los micrositios de estudio en los Parques General San Martín (A) y Luis G. Urbina (B).	26
Figura 3. Comportamiento de la radiación global (R_G , A, B), temperatura del aire (T_A , C y D), presión de vapor (e , E y F) y déficit de presión de vapor (dpv , G y H) en el parque General San Martín izquierda (A, C, E y G) y en el parque Luis G. Urbina (B, D, F y H).	32
Figura 4. Comportamiento diurno de la temperatura fisiológica equivalente (PET , A y B) y de la temperatura media radiante (T_{mrt} , C y D) en el parque General San Martín (A y C) y el parque Luis G. Urbina (B y D).	34
Figura 5. Fotografías hemisféricas y valores del factor de vista de cielo (SVF) de los seis micrositios de los parques General San Martín y Luis G. Urbina.	35
Figura 6. Proporciones del uso del suelo en cada sitio de estudio.	37
Figura 7. Relación entre las categorías de las percepciones térmicas calculadas y las percepciones térmicas observadas (A) y frecuencia relativa de las diferentes categorías de percepciones térmicas calculadas y observadas (B).	38
Figura 8. Frecuencia relativa de la percepción térmica calculada y observada en los micrositios PGSM ₁ (A), PLGU ₁ (B), PGSM ₂ (C), PLGU ₂ (D), PGSM ₃ (E), PLGU ₃ (F) de los parques General San Martín (izquierda) y Luis G Urbina (derecha).	40
Figura 9. Relación del SVF , IAF y AB con la percepción térmica calculada. SVF en función el IAF (A), IAF en función de AB (B), PTC en función de SVF (C) y PTC en función de IAF	42



RESUMEN

Los elementos que conforman el diseño arquitectónico de las zonas urbanas alteran el balance de energía formando diferentes microclimas influyendo en la percepción térmica de las personas. Tales percepciones se pueden determinar mediante índices de confort térmico.

La superficie de áreas verdes de la Ciudad de México no es suficiente para mitigar la isla de calor urbana ICU, además los parques urbanos han sido diseñados enfocándose en la estética y no en el balance de energía. Por ello se determinó si el centro cálido de la ICU (Estación MER) influye en el balance de energía de los parques y de acuerdo a qué proporciones los elementos arquitectónicos contribuyen a la percepción de confort térmico de los usuarios, y si estas percepciones coinciden con los intervalos de temperatura fisiológica equivalente (*PET*) propuestos por Matzarakis y Amelung en 2008.

Se seleccionaron dos parques urbanos, uno más cercano a la Isla de Calor de la Ciudad de México, Parque General San Martín (PGSM) y otro más alejado, Parque Luis G. Urbina (PLGU). En cada uno se establecieron tres micrositos diferentes desde un punto de vista arquitectónico. Durante el periodo primavera-verano se realizaron mediciones microclimáticas y simultáneamente se aplicaron encuestas de confort térmico humano a los usuarios. Con los datos de las variables micrometeorológicas, termofisiológicas de cada usuario del parque y las fotografías hemisféricas se obtuvieron los índices de confort térmico, como la temperatura media radiante, T_{mrt} y la temperatura equivalente fisiológica, *PET* a utilizando el programa RayMan. Finalmente se midieron los elementos del diseño arquitectónico. El índice de área foliar, *IAF* y el factor de vista del cielo, *SVF* a través de las fotografías hemisféricas analizadas con el programa Gap Lap Analyzer y RayMan, respectivamente. Además, se realizaron mediciones dasonómicas para obtener el área basal *AB*. Se identificó y midió el uso de suelo de cada microsito.

Para garantizar confort térmico a los habitantes de la Ciudad de México en espacios exteriores como los parques urbanos, se debe tomar en cuenta patrones similares a los siguientes *SVF* 12%, *IAF* 1.1 - 1.93 m²/m², *AB* 3.51 - 3.67 m²/0.0001 ha, cubierta vegetal 50%, hormigón y asfalto menor a 7% y 40% de cobertura de piso con propiedades evaporativas y de bajo albedo.



En general un sitio con altos porcentajes de asfalto o concreto y un *SVF* cercano a 50% invalida el efecto evapo-transpirativo que produce en conjunto la vegetación y el uso de suelo con propiedades de flujo evaporativo.

Las percepciones observadas en las encuestas están una categoría por debajo de las percepciones calculadas por el programa RayMan, entonces la categorización de la PET propuesta por Matzarakis y Amelung (2008) subestima las percepciones de los usuarios de la Ciudad de México. Los usuarios de los parques urbanos de esta ciudad perciben confort térmico a los 27.62°C de *PET*.

Palabras clave: confort térmico, modelo RayMan, índice PET, microclima, diseño arquitectónico, Ciudad de México.



I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el incremento de los gases de efecto invernadero y el cambio de uso de suelo para agricultura, ganadería y urbanización, son las principales causas del cambio climático (Díaz, 2008). El cambio de uso de suelo por la urbanización altera el clima localmente, ya que modifica el albedo superficial y entonces el balance de energía se ve influenciado (Barradas, 1987; Ballinas y Barradas, 2016). Los materiales de que están compuestos los elementos arquitectónicos de la ciudad, absorben más cantidad de radiación de onda corta que las áreas rurales o suburbanas, la disipación de la energía es muy lenta y da lugar al fenómeno de la Isla de Calor Urbana (ICU) (Díaz, 2008). El fenómeno de la ICU está relacionada con temperaturas urbanas más altas en el centro de la ciudad que en su periferia (Santamouris, 2011; Barradas y Ballinas 2016). El incremento de la temperatura de la ciudad causa insatisfacción térmica o estrés por calor lo que afecta la salud y la productividad (Barradas y Ballinas 2016).

La ICU en la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se presenta principalmente en la temporada seca, provocando un consumo extra de energía para sistemas de ventilación y de aire acondicionado; éstos a su vez aportan calor al medio ambiente (Díaz, 2008; Ballinas y Barradas, 2016). El sector residencial es el tercer consumidor de energía, a nivel mundial (26.4 %) y nacional (16.7 %) (SENER, 2011). En México, el indicador de consumo de energía para usos finales en el año 2008 fue de 2.1% para aire acondicionado y 1.2% para calefacción; otro indicador de consumo de electricidad arrojó que el 9% es para aire acondicionado (SENER, 2011). En un estudio de la isla de calor en la ZMCM realizado por Ballinas (2011), se encontró que la estación del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) se encuentra hacia los centros cálidos de la ICU de la ZMCM y sin embargo, en esta estación y en sus alrededores la temperatura es ligeramente más baja, este comportamiento se lo atribuyen a que la estación está rodeada por una gran área de vegetación, de esta manera se puede establecer que la vegetación mitiga la alta temperatura del área que comprende esa estación debido al proceso de evapotranspiración. Así las áreas verdes tienen la función de ser sumideros de calor que se genera por la urbanización, ya que modula en cierta forma el régimen climático local de las ciudades (Barradas, 1991; Jáuregui y Heres 2008).



La atmósfera, la salud y el confort humano tienen relaciones de causa-efecto que pueden ser estudiadas con una clasificación bioclimática: el complejo térmico y el complejo de la contaminación. El complejo térmico comprende los elementos ambientales-energéticos, los cuales poseen un efecto termofisiológico sobre las personas; y el complejo de la contaminación del aire que comprende sólido, líquido y gaseoso, ya sean naturales o antrópicos (Matzarakis y Amelung, 2008). Con los índices bioclimáticos basados en el balance de energía del cuerpo humano y sus alrededores se describe el complejo térmico: Balance energético de Munich para personas, MEMI (por sus siglas en inglés: *Munich energy balance model for individuals*); temperatura fisiológica equivalente, *PET* (por sus siglas en inglés: *Physiological Equivalent Temperature*); voto medio predicho o pronosticado, *PMV* (por sus siglas en inglés: *Predicted Mean Vote*) y el porcentaje previsto de personas insatisfechas, *PPD* (por sus siglas en inglés: *Predicted Percentage of Dissatisfied*). En el presente estudio empleando el modelo computacional físico-matemático RayMan, se estableció el complejo térmico y su relación con los elementos arquitectónicos urbanos de seis micrositos dentro de dos parques urbanos. Para ello se determinó el comportamiento de las variables meteorológicas (radiación solar, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento), en sincronía con las termofisiológicas (escala de percepciones térmicas, actividad física y vestimenta) en dos parques urbanos de la Ciudad de México en la estación cálida seca.



II. MARCO TEÓRICO

Isla de calor urbana

La isla de calor urbana es una entidad discreta como las islas oceánicas o las propias ciudades. Estas entidades presentan fronteras que hacen que se mantengan separadas de sus alrededores y se conocen como Gradientes Térmicos Horizontales y Superficiales (GTHS) y éstos son más estables en las áreas centrales que en sus alrededores (Barradas, 1987). La isla de calor es un fenómeno meteorológico-climático que se establece en todas las áreas urbanas del mundo sin importar su tamaño, localización ni su latitud (Ballinas, 2011). En términos de gastos energéticos la ICU en latitudes bajas y medias es un mayor problema, ya que aumenta el uso de mecanismos de enfriamiento y por consiguiente incremento del uso de energía; sin embargo, en latitudes altas llega a ser benéfica, ya que reduce el uso de energía para calentamiento del ambiente en la estación otoño-invierno (Taha, 1997). Los elementos urbanos provocan alteraciones del flujo de calor, humedad y movimiento del aire en áreas urbanas, y se genera calor antrópico, menor humedad y contaminantes atmosféricos (Taha, 1997) (mayor información sobre las causas principales que generan la ICU, consultar **anexo 1**). Es así, como el comportamiento de la ICU depende de las variaciones del balance energético urbano. La ICU se manifiesta a diferentes escalas, y ello depende de su localización, de las condiciones climáticas predominantes y principalmente del uso de suelo de la zona en donde se establece (González, 2011).

Isla de calor de la Ciudad de México

Según Jáuregui y Heres (2008) el centro cálido en el año 2000 se encontró en el área comprendida dentro del Circuito Interior. A su vez Ballinas (2011) determinó en el año 2009 que el centro cálido de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se distribuía en la mayor parte de ésta, acentuándose en la parte noroeste, en las estaciones Cerro de la Estrella y Villa de las Flores, y entre San Agustín y ENEP Acatlán, comprendiendo las áreas entre Periférico, Circuito Interior, Oceanía y Circuito Exterior Mexiquense; sin embargo, la distribución de la isla de calor depende de la temporada del año y de la hora del día.



Confort térmico

El término confort térmico humano es una adaptación del francés para referirse al intervalo o zona de bienestar térmico humano (Cervantes y Barradas, 2010) por lo que hace referencia a un estado de bienestar climático o térmico (Tornero *et al.*, 2006). El confort térmico es definido por la ISO 7730 como “la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. O de otra forma como “un estado de equilibrio resultante del balance de las cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente inmediato, debido al proceso del metabolismo y al proceso fisiológico de termorregulación en respuesta a los elementos principales externos del clima: radiación, temperatura, humedad y movimiento del aire” (Gómez *et al.*, 2007). El resultado de este balance es la fase final del proceso de termorregulación del cuerpo humano de construir la sensación mental de comodidad o incomodidad térmica por la percepción del ambiente térmico a través de la piel, para concluir con un proceso deliberativo del cerebro que configura la idea sobre si el ambiente es confortable o no (Gómez *et al.*, 2007). Los elementos urbanos/ arquitectónicos alteran la sensación de confort en sentido positivo o negativo (Tornero *et al.*, 2006). El estado de confort entonces, puede ser representado a través de los índices de confort, por satisfacción e insatisfacción por el ambiente y como el promedio de votos de sensación térmica de un gran grupo de personas de un ambiente dado.

El calor de un individuo se debe al generado por su metabolismo basal que es el gasto energético que presenta un organismo en reposo, más el calor que se produce al realizar una actividad física, ya que las tasas metabólicas se incrementan (Curtis *et al.*, 2008). El metabolismo basal depende del sexo, edad, peso, y reacciones psicofisiológicas, pero dada una persona en estado de reposo y en equilibrio con su ambiente térmico, el metabolismo basal resulta constante de aproximadamente de 44 W m^{-2} a los 25 años. Entonces al metabolismo basal se le suma el calor producido por la actividad muscular, que por ejemplo caminando en línea recta a 3 km h^{-1} , el metabolismo total es de 140 W m^{-2} , lo que varía dependiendo la eficiencia mecánica del sujeto y el consumo energético de dicha actividad. Cabe destacar que una persona sometida a una misma actividad física y temperatura, percibe confort en un día, pero en otros días ligeramente fresco o ligeramente caluroso (Mondelo, 2001).



El hipotálamo es el centro del control de la temperatura; se sirve de las vías nerviosas y de las vías hormonales (ésta última desempeña un papel secundario en el humano), y posee una región de neuronas sensibles a la temperatura, así que en este órgano es donde está la información de la temperatura corporal. En situaciones de frío el hipotálamo activa las fibras nerviosas simpáticas que van a la piel para que llegue menos sangre a ésta, por lo que se concentra el calor de la sangre en el interior del cuerpo. En contraste, cuando la temperatura corporal se eleva, las arterias cutáneas se dilatan y es cuando la sangre se acerca a la superficie de la piel para enfriarse en contacto con el aire (Curtis *et al.*, 2008; UAM, 2016). El proceso de sudoración elimina el calor corporal al evaporarlo de la superficie del cuerpo (UAM, 2016). En situación de frío las contracciones musculares consumen energía que se transforma en calor (UAM, 2016). La porrección es cuando el pelo cutáneo se levanta debido a la contracción muscular de la base del pelo, cuya función es dejar atrapada una capa de aire debajo del pelo para aislar y disminuir la pérdida de calor (UAM, 2016). Entonces del aparato circulatorio hacia la piel, se dan las ganancias y pérdidas más significativas de calor entre el cuerpo y el ambiente (Hershel y Michael, 2011).

El balance térmico entre una persona y su medio ambiente térmico es cuando el intercambio de calor es igual a cero. Este intercambio térmico se da por las vías de la transferencia de calor, las cuales son la radiación, la convección, la conducción y los cambios de fase como la evaporación del sudor (Mondelo, 2001).

Ambientes con temperaturas y humedades relativas extremas causan incomodidad en el cuerpo humano, infecciones y algún grado de inflamación del tracto respiratorio, lo que irrumpe en el proceso de evaporación y la disipación del calor. La mayoría de las funciones fisiológicas regulatorias para el confort humano y un metabolismo corporal eficiente son mejor reguladas entre temperaturas de 10 y 20 °C, y entre 30 y 75 % de humedad relativa (Gideon y Toshio, 1996), es decir con una presión de vapor de entre 0.3683 y 1.7537 kPa, y un déficit de presión de vapor de 0.3069 y 1.6367 kPa.

En el presente estudio se utilizaron índices empíricos que incluyen el calor metabólico, la vestimenta, preguntas acerca de la percepción térmica, tiempo de estadía en un lugar determinado a un grupo representativo de personas relacionados con mediciones simultáneas de parámetros meteorológicos (Mondelo *et al.*, 2001; Ochoa, 2009).



Aclimatación

La aclimatación son las adaptaciones que experimenta un organismo en el ambiente térmico, en un tiempo anual o en minutos. El metabolismo de una persona que vive en un lugar con ciertas condiciones climáticas y cambia su residencia a otro lugar con condiciones climáticas contrastantes, se tardará de uno a cinco años en aclimatarse, dependiendo su edad. Lo mismo para una persona que se transporta de un microclima a otro, tiene un tiempo de aclimatación de 20 minutos (Morillón, 2004).

Vestimenta

La vestimenta es una variable y factor de aislamiento, cuya unidad está dada por el tipo de ropa, Clo, que equivale al aislamiento debido a la selección de prendas de vestir (Mayorga, 2012). La ropa, por un lado es una pantalla protectora de calor radiante del Sol e infrarroja, y por el otro limita la velocidad y el contacto de aire frío sobre la piel, además de que entre la piel y la ropa se retiene calor proveniente del cuerpo mismo (García y López, 2011). Por lo que dependiendo del grado de arropamiento es la resistencia a la transferencia de calor entre el cuerpo y el medio ambiente, así el cuerpo podrá disipar mayor o menor energía (Fuentes, 2015). El cuerpo humano tiene a la ropa como primer filtro que lo aíslan del ambiente térmico, el segundo es la arquitectura orgánica u ortogonal (Mayorga, 2012).

Color de la piel

Este es un factor genético en el cual el color de piel oscuro o moreno, genera conductas de estancias más prolongadas en espacios abiertos, debido a que este tipo de piel soporta más el calor; y una persona de color de piel más clara o blanca prefiere estar en espacios cubiertos, sin penetración solar directa, como medida para protegerse de las quemaduras de su piel (Mayorga, 2012).

Edad

Esta variable hace referencia al nivel de metabolismo muscular, donde se contrastan las preferencias entre los ancianos y los niños, ya que los sujetos de la edad senil/avanzada tienen una actividad muscular más baja y prefieren los ambientes térmicos más cálidos,



los niños al tener una actividad muscular más alta prefieren ambientes térmicos más frescos (Mayorga, 2012).

Actividad desarrollada por la persona

El metabolismo basal hace referencia al calor que produce el cuerpo en reposo total, debido al funcionamiento de los sistemas automáticos (Mayorga, 2012). El metabolismo muscular es el calor que se produce por el movimiento muscular, y varía de acuerdo a la intensidad y prolongación (Mayorga, 2012), de esta forma las tasas metabólicas se incrementan cuando una persona está haciendo ejercicio, ya que por ejemplo, puede consumir de 15 a 20 veces más oxígeno en comparación cuando está en reposo o quieta (Curtis *et al.*, 2008).

Peso y estatura

El peso es la masa corporal del sujeto que se mide en kilogramos. La estatura determina la longitud del cuerpo humano y se mide en metros. Estas variables son básicas, ya que tiene gran influencia el constituyente adiposo del cuerpo, puesto que en general sirve como aislante térmico en una situación de ambiente térmico frío, pero en ambientes cálidos, una alta constitución adiposa o también llamado índice de masa corporal, IMC, interfiere en el proceso del cuerpo mismo de bajar la temperatura, esto se debe a que la producción de calor de un cuerpo es proporcional a su volumen ($W\ m^{-3}$). La estatura y la cantidad de superficie de piel, representa el nivel de capacidad de disipación de calor a través de la sudoración, por lo que una persona con mayor superficie de piel esta mejor capacitado para soportar temperaturas más altas, por lo tanto la disipación es proporcional a su superficie ($W\ m^{-2}$) (Mayorga, 2012; García y López, 2011).

Género

Hay una variación en la preferencia térmica entre hombres y mujeres, ya que en un estudio de una población estadounidense considerado estadísticamente significativo según Fanger (1970), las mujeres prefieren un ambiente térmico $0.82\ ^\circ C$ más cálido que los hombres (Mayorga, 2012). Cabe señalar que en mujeres la temperatura corporal sube $0.5\ ^\circ C$ en la segunda mitad de su ciclo menstrual (Hershel y Michael, 2011).



Índices bioclimáticos

Para analizar cómo actúan en conjunto los elementos atmosféricos sobre el organismo humano se utiliza el método del índice de confort, índice bioclimático, índice biometeorológico, o bien llamado índice térmico (Cervantes y Barradas 2010). A partir de 1970 se comenzaron a utilizar los índices fisiológicos que fueron derivados del balance energético humano para calcular el componente térmico que comprende los parámetros meteorológicos y termofisiológicos (Matzarakis *et al.*, 2007). El componente térmico es relevante para la salud humana, ya que tiene una íntima relación con los mecanismos termo regulatorios y el sistema circulatorio (Matzarakis y Amelung, 2008). De esta forma, el ambiente térmico humano es mejor estudiado con índices basados en el balance de energía del cuerpo humano como son el Predicted Mean Vote, *PMV*; Physiological Equivalent Temperature, *PET*; Standard Effective Temperature, *SET**; o Outdoor Standard Effective Temperature. Estos son índices térmicos bien documentados (Matzarakis y Amelung, 2008). Desde 1970 según Fanger, y posteriormente en 1993 según Miranda, se afirma que una persona siente confort total si está en equilibrio con las siguientes variables: los estados emocionales (tristeza, alegría), los sociales (moda en el vestido, en el cabello), fisiológicos (edad, sexo, estado de salud), físicos (temperatura, humedad del aire, viento) entre otros, pero suponiendo que una persona viste común, se encuentra sana en general y que su estado de confort depende solamente de las condiciones térmicas ambientales, entonces el confort para esa persona es la condición mental que expresa satisfacción con el medio ambiente térmico que la rodea (Cervantes y Barradas 2010).

Temperatura equivalente fisiológica

La temperatura fisiológica equivalente se basa en el balance energético humano y describe los efectos de las condiciones meteorológicas (radiación, temperatura del aire, humedad del aire y velocidad del viento) y termofisiológicas (vestido y actividad) (Matzarakis y Endler, 2010). La *PET* deriva del modelo MEMI (Matzarakis *et al.*, 2007). El modelo MEMI está basado en la ecuación del balance de energía para el cuerpo humano.

$$M + W + R + C + E_D + E_{RC} + E_{Sw} + S = 0$$

donde:

M = Energía metabólica producida por el organismo



- W = Trabajo mecánico desarrollado (salida de trabajo físico)
- R = La radiación neta del cuerpo
- C = Flujo o intercambio de calor por convección
- E_D = Flujo/pérdida de calor latente para evaporar agua a través de la piel (transpiración imperceptible)
- E_{Rc} = La suma de los flujos de calor para calentar y humidificar el aire
- E_{Sw} = El flujo de calor que puede evaporar el sudor
- S = El almacenaje de calor para calentar o enfriar la masa del cuerpo

M es siempre positivo; W , E_D , y E_{Sw} son siempre negativos y la unidad para todos los flujos de calor está dada en Watt. Se requiere de las variables meteorológicas para obtener cada flujo de calor: temperatura del aire para E_{Rc} y C ; humedad del aire para E_D , E_{Rc} y E_{Sw} ; intensidad (rapidez) del viento para C , E_{Sw} ; temperatura media radiante para R . y los parámetros termofisiológicos: resistencia térmica del vestido y actividad (Matzarakis y Amelung, 2008).

Cuando el resultado del balance térmico es igual a cero significa que no se gana ni se pierde calor y entonces la persona tiene una sensación objetiva de confort o satisfacción por el ambiente térmico, pero cuando el balance de energía es positivo, se considera una sensación térmica de calor y cuando es negativo se considera como sensación térmica de frío (Gómez *et al.*, 2007). Matzarakis y Amelung (2008) asignaron intervalos de *PET* de acuerdo a diferentes percepciones térmicas, como se observa en el **cuadro 1**.

Cuadro 1. Intervalos de temperatura equivalente fisiológica (*PET*) para diferentes percepciones térmicas y estrés fisiológico, para una persona con 80 W de producción de calor interno y 0.9 clo de resistencia térmica del vestido (Matzarakis y Amelung, 2008).

Categoría	PET °C	Percepción térmica	Grado de estrés fisiológico
0	<3.99	Frío extremo	Estrés extremo por frío
1	4-7.99	Muy frío	Estrés fuerte por frío
2	8-12.99	Fresco	Estrés moderado por frío
3	13-17.99	Ligeramente fresco	Estrés ligero por frío
4	18-22.9	Confortable	Ningún estrés térmico
5	23-28.99	Ligeramente caluroso	Estrés ligero por calor
6	29-34.99	Caluroso	Estrés moderado por calor
7	35-40.99	Muy caluroso	Estrés fuerte por calor
8	>41	Caluroso extremo	Estrés extremo por calor

La *PET* se puede calcular a través del modelo RayMan en cualquier temporada del año y las mediciones deben ser tomadas en diferentes sitios con una orientación diferente entre sí y con un sitio verde bajo un árbol de referencia y los sitios se analizan como un punto diferente entre sitios (Matzarakis *et al.*, 2007).

Modelo RayMan



Este modelo se basa en la norma alemana VDI 3789, (1994) Parte II y en la VDI-3787(2008) Parte I (Matzarakis, 2009). Con el modelo RayMan se puede calcular la temperatura media radiante, los índices bioclimáticos y el clima urbano en todos los ambientes, este modelo tiene aplicación en climatología, climatología urbana y bioclimatología humana (*ibidem*). Este modelo transforma los flujos de radiación a temperatura media radiante (T_{mrt}) estimando los índices *PET*, *SET** y el *PMV*, así como los flujos de energía y los parámetros del cuerpo MEMI, son parte del modelo RayMan y requieren de la determinación de la temperatura media radiante (T_{mrt}) (Matzarakis *et al.*, 2007). Las diferentes formas de entrada de los flujos de radiación pueden ser modificados por obstáculos ya sean naturales o artificiales, por ello las propiedades morfológicas ambientales son importantes, para lo que también se requiere del cálculo de la temperatura media radiante (Matzarakis *et al.*, 2009). El índice factor de vista al cielo *SVF* (por sus siglas en inglés Sky View Factor), es una forma de calcular la radiación a través de una fotografía hemisférica. Así entonces para cualquier tipo de estructura urbana a través del modelo RayMan se puede calcular el promedio de cada hora, de cada día y cada mes, de la duración de la sombra, de las ondas largas y cortas del flujo de radiación con o sin los datos de topografía y obstáculos en estructuras urbanas (Matzarakis *et al.*, 2009). Además se han hecho estudios que comprueban la eficiencia del modelo RayMan 2.0 en ambientes calientes y húmedos (Ahmed, 2011) así como en ambientes simples y complejos (Matzarakis *et al.*, 2007).

La temperatura media radiante

La temperatura media radiante T_{mrt} es el parámetro que tiene la mayor influencia sobre los índices bioclimáticos, ya que es el que representa el flujo de radiación y es el factor térmico que influye más en los humanos, ya que tiene la mayor variación en las áreas urbanas respecto a las demás variables meteorológicas por la diversidad de microclimas. T_{mrt} está determinada por el balance de radiación térmica sobre las superficies urbanas y su morfología, por lo que está directamente relacionada con los niveles de estrés térmico humano (Matzarakis *et al.*, 2007). Es una forma indirecta para determinar los intercambios por radiación entre el cuerpo humano y el ambiente térmico (Mondelo, 2001). A través del modelo RayMan se determina el balance energético en el cuerpo humano y su ambiente inmediato, donde los flujos de radiación son transformados por el



modelo como la temperatura media radiante (T_{mrt}) y para determinarla a través de este modelo se requiere de los datos de la intensidad del viento, de la temperatura y de la humedad del aire (Matzarakis *et al.*, 2007).

Voto medio predicho o pronosticado

El voto medio predicho o pronosticado es un indicador de confort térmico desarrollado por Fanger en 1970 (Van der Linden, 2008; Jin-Ho Kim, 2013), este índice se utiliza para ambientes interiores como exteriores que pronostica el valor medio de los votos hechos sobre la escala de sensación térmica (ASHRAE, 1997) de personas expuesta a un ambiente dado. La escala térmica tiene siete valores, que van de -3 a +3 (Lai, 2014) 3 significa muy caluroso, 2 caluroso, 1 ligeramente caluroso, 0 neutral, -1 ligeramente frío, -2 frío, -3 muy frío (Standard ISO 7730, 1994; Humphreys y Fergus, 2002). Para su cálculo el PMV incluye la humedad relativa (HR, %), temperatura del aire (T, °C), intensidad del viento (v, m/s), temperatura media radiante (T_{mrt} , °C), actividad (W, $W m^{-2}$) y ropa (I_{clo} , Clo), (donde Clo se refiere a cloth en inglés: vestido) (Honjo, 2009).

La fórmula del índice PMV configurada por Fanger es:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.025)Lo$$

donde: PMV = voto medio predicho
Lo = acumulación de calor en el cuerpo
M = tasa metabólica

La cual deriva de una ecuación general de balance térmico, llamada ecuación de confort térmico de Fanger

$$Lo = H - Ed - Esw - Ere - L - R - C$$

donde:

Lo = Acumulación de calor en el cuerpo
H = Producción interna de calor
Ed = Pérdidas de calor por la difusión de vapor de agua por la piel
Ere = Pérdidas de calor latente debidas a la respiración

Esw = Pérdidas de calor debidas a la sudoración
L = Pérdidas de calor por respiración seca
R = Pérdidas de calor por radiación de la superficie del cuerpo vestido
C = Pérdidas de calor por convección de la superficie del cuerpo vestido

Con la ecuación de Fanger, se convierte la carga térmica acumulada en el cuerpo a los valores de la escala de sensación térmica establecida por Bedford en 1936, donde consideró que las personas que votaron por las tres categorías centrales -1, 0 y +1, manifiestan satisfacción con el ambiente térmico o confort térmico, modelando así el



índice Voto Medio Previsto PMV, de esta manera realizaron los modelos de predicción, para pronosticar cómo se sienten las personas en algún ambiente térmico, amortiguando posibles desajustes entre la realidad objetiva y la opinión subjetiva (Gómez *et al.*, 2007).

Porcentaje previsto de personas insatisfechas

El porcentaje previsto de personas insatisfechas PPD, indica el porcentaje de un gran grupo de personas que no manifiestan confort térmico o la posible insatisfacción térmica como las personas que votaron por -3, muy frío; -2, frío; +2, caluroso; +3, muy caluroso. Donde el PMV y el PPD están relacionados, cuando el PMV se aleja de valor de 0 o neutro, el PPD se incrementa. Entonces el PPD está en función del PMV. El PPD se puede determinar con una tabla para 1300 votos de la ISO 7730 (Standard ISO 7730, 1994) como se muestra en el **cuadro 2**, o por la formula configurada también por Fanger:

$$PPD = 100 - 95 e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)}$$

Cuadro 2. Distribución de los votos de sensación térmica (basada en 1300 votos) para los diferentes valores del voto medio (ISO 7730, 1994) (*PPD = Porcentaje previsto de personas insatisfechas, PMV = Voto medio predicho*).

PMV	PPD	Porcentaje de los votos pronosticados		
		0	-1, 0 o +1	-2, -1, 0, +1 o +2
+2	75	5	25	70
+1	25	27	75	95
0	5	55	95	100
-1	25	27	75	95
-2	75	5	25	70

Cabe señalar que con el modelo RayMan es posible determinar tanto el PMV, como el PPD y la PET.

Elementos del diseño arquitectónico

El diseño arquitectónico está compuesto por las curvas que mantiene la naturaleza en sus organismos, diseño orgánico; más la construcción del hombre, ortogonal (Sánchez, 2016). Las áreas de exteriores están compuestas por espacios arquitectónicos orgánicos y ortogonales de diferentes formas estructurales, funcionales o decorativas, estos



componentes son los elementos del diseño arquitectónico. Los diferentes elementos son consecuencia de un requisito estructural, funcional o formal (Cuito, 2002).

Microclima

El microclima (Geiger 1995, citado en Ochoa, 2009) tiene una variación horizontal de 10^{-3} a 10^2 m y una variación vertical de -10 a 10 m y una variación temporal de <10 segundos. La interacción de los elementos en un espacio urbano con el clima local es lo que forma los microclimas y su balance energético depende de los emisores y receptores de energía, por lo que considera todas las direcciones y magnitudes de los flujos de energía. El balance del microclima está dado por:

Energía radiante suministrada - evaporación \pm radiación de onda larga emitida \pm conducción \pm convección = 0

Cabe señalar que normalmente se invierten los papeles de los emisores y receptores de energía en la noche (Ochoa, 2009).

Las diversas formas (inclinaciones y orientaciones) y dimensiones de estructuras y superficies de la ciudad, así como el trabajo que se aplica sobre ellas, interfieren en el balance energético y es por eso que se crean microclimas, como por ejemplo el tamaño de las calles, el tamaño de las edificaciones, la repartición y tipo de áreas verdes, el tipo de cuerpos de agua (Granados y Mendoza, 1992; Ochoa, 2009).

Si el arreglo de la vegetación en un espacio abierto o cerrado es consciente, como por ejemplo colocados al oeste o al sur, se puede proveer sombra suficiente y reducir la temperatura en espacios interiores (Granados y Mendoza, 1992).

Comportamiento de la energía en el tipo de piso

Los factores arquitectónicos o elementos urbanos son la configuración espacial del sitio, por lo que el clima de exteriores tiene variabilidad (Ochoa, 2009).

García y colaboradores (2013) reportan diferentes tipos de pavimentos y cubiertas superficiales, expuestos a un ambiente similar, cuyo comportamiento puede observarse en el **cuadro 3**.



Cuadro 3. Albedo y temperatura de diferentes cubiertas superficiales expuestas a un ambiente similar (García *et al.*, 2013).

Cubierta superficial	Albedo	Temperatura superficial °C
Asfalto	0.19	42.2
Arcilla	0.25	39.9
Césped	0.26	34.7
Concreto	0.27	39.7

Cuadro 4. Propiedades de cinco tipos básico de suelo (Ochoa, 2009). *Depende del contenido de humedad, **Depende de su densidad, - No hay información.

Terrenos	Albedo	Absortancia	Humedad	Inercia térmica
Silíceos	medio a bajo	Alta	baja	alta
Calcáreo	alto	Baja	baja	alta
Arcilloso	medio a bajo	Baja	alta*	alta*
Areniscas	alto	-	baja	media
Volcánicos	bajo	-	baja	alta**

Cuadro 5. Diferentes coberturas superficiales (Ahmid, 2011, García *et al.*, 2013 y Ochoa 2009).

Tipo de piso	Descripción	Comportamiento de la energía	Aplicación
Pavimento	Recubierta de la superficie del suelo, hecha de hormigón (concreto) y asfalto (Ochoa, 2009)	Está determinada por la radiación solar incidente y por su absortividad.	El aire atmosférico absorbe calor al contacto con el pavimento
Suelos: silíceo, calcáreo, arcilloso, arenisca y volcánico	Ochoa (2009) reporta cinco tipos básico de terreno con propiedades diferentes entre sí y que estos también se pueden encontrar combinados	Tienen la propiedad de conductividad y capacidad térmica que afecta la inercia térmica del sistema	Afectan el albedo, la humedad ambiental e indirectamente la vegetación
Cuerpos de agua	Cuerpos de agua de cualquier dimensión, las características del fondo aportan su influencia térmica al agua	Se da la humidificación y el enfriamiento evaporativo (Ahmid, 2011). La presencia de agua provoca movimientos convectivos de aire debidos a la gran inercia térmica, de esta forma la temperatura se mantiene cambiante	La humedad debida a la evaporación superficial modifica la humedad y la temperatura del aire, por lo que mejora la sensación de confort
Pastos y cama de flores	Es el estrato herbáceo	El pasto y la cama de flores influyen en el comportamiento de la energía a un flujo evapotranspirativo (García <i>et al.</i> , 2013)	Reducen la temperatura del suelo y previenen el brillo, además proveen frescura y fragancia (Ahmid, 2011)
Mantillo	Es la paja, hojas secas, grava, restos o astillas de madera, pasto y hierbas, cubierta de plástico (plastic sheeting). Protege el suelo y las raíces de la vegetación.	El mantillo reduce la temperatura de la superficie del suelo y del aire, ya que gracias a este el suelo absorbe poca cantidad de calor (Ahmid, 2011).	Ayuda a la retención de agua del suelo.



Los elementos urbanos hechos de pavimento o concreto almacenan calor, disipando parte de éste a la atmósfera por el proceso radiativo y convectivo (Ahmed, 2011). El uso de materiales que no retengan mucho calor puede mejorar el confort térmico, durante las temporadas cálidas. El uso de elementos urbanos hechos de materiales con valores altos de albedo como se describen en el **cuadro 5**, disminuye la absorción de radiación solar y por lo tanto retienen menos calor, reduciendo la intensidad de las ondas largas de radiación (Taha, 1997), además en el **cuadro 4** se pueden observar las características microclimáticas de cinco tipos básicos de suelos.

Comportamiento de la vegetación con la radiación solar

En un árbol los porcentajes de reflexión, transmisión y absorción de la radiación solar varían dependiendo de la densidad de especies; las diferencias morfológicas y fisiológicas entre especies; distribución y densidad del follaje; la forma de la hoja y los patrones de ramificación; de la naturaleza del tronco; además de las características de foliación de cada especie; lo que da como resultado las formas y patrones de sombra (Ochoa, 2009; Granados y Mendoza, 1992).

En un día con viento en calma la temperatura decrece y la humedad aumenta del dosel hacia el suelo de un árbol o de un grupo de árboles, además los extractos de vegetación son un obstáculo para que la radiación directa llegue al suelo (Ochoa, 2009; Granados y Mendoza, 1992). En la noche los árboles pierden calor gradualmente, mediante el intercambio de radiación infrarroja entre el suelo bajo el follaje y el follaje mismo, la energía que emite el suelo es reflejada por el follaje y a su vez reabsorbida por el suelo, esto da como consecuencia que bajo un dosel las temperaturas pueden ser más altas que en superficies inanimadas, fenómeno similar al efecto invernadero, ya que la mayoría de éstas pierden calor más rápido, salvo los metales y los materiales de alta densidad (Granados y Mendoza, 1992).

Una forma de encauzar la radiación térmica en zonas urbanas de climas templados, como en la Ciudad de México es seleccionar especies arbóreas de grados bajos de transmisión en verano y altos en invierno, como los árboles de hoja caduca (Ochoa, 2009).

La variable meteorológica más evidentemente afectada por la vegetación y distintas superficies urbanas es la incidencia de radiación solar, ya que dependiendo del paso de



los rayos del sol a que están expuestas las superficies urbanas, se crean diversos gradientes de temperatura (Ochoa, 2009).

Radiación en la hoja

Para Bansal (1994, citado en Ochoa, 2009), del 100% de la energía solar incidente, una hoja absorbe para la fotosíntesis de 5 a 20%, refleja 5 a 20%, disipa por evapotranspiración 20 a 40%, emite 10 a 15% y transmite 5 a 30%. Estos valores son aproximados, varían según la longitud de onda del espectro y la especie de la planta; el espacio geográfico y el tiempo anual podrían ser también factores en este balance. En el **cuadro 6** se muestran los porcentajes de reflexión, transmisión y absorción en una hoja de acuerdo a la longitud de onda.

Cuadro 6. Porcentaje de reflexión, transmisión y absorción de una hoja según la longitud de onda (según Oke, 1990; citado en Ochoa, 2009).

Longitud de onda μm		Reflexión (%)	Transmisión (%)	Absorción (%)
Fotosíntesis	0.38-0.71	9	6	85
Cercano infrarrojo	0.71-4.0	51	34	15
Onda corta	0.35-3	30	20	50
Onda larga	3.00-100.0	5	0	95

Tanto el estrato arbóreo, como el arbustivo y herbáceo influyen en el microclima, disminuyendo la temperatura del sitio, a través de los procesos de transmisión, reflexión, absorción y emisión de la radiación solar que se llevan a cabo por la hoja (Granados y Mendoza, 1992).

Cada parte de la hoja recibe radiación de diferentes formas, como lo son luz solar directa, luz dispersa del cielo, radiación difusa de un ambiente nublado así como la radiación reflejada del suelo (Larcher, 2003).

La forma de ramificación, arreglo y disposición de las hojas determinan la entrada de la luz (Larcher, 2003). Dependiendo de la longitud de onda, la radiación solar que llega a la hoja es reflejada, otra parte es absorbida y el resto transmitida (Larcher, 2003).

Reflexión

La reflexión de la radiación depende de la naturaleza de la hoja. Una parte es reflejada y otra parte se dispersa dentro de la hoja. En promedio las hojas reflejan del 6 al 10% de



luz del espectro visible (380 y 720 nm). La luz verde (500-550 nm) es reflejada fuertemente con un porcentaje entre 10 y 20%, no obstante, la luz anaranjada y roja (650-750 nm) se refleja en menor grado entre el 3 y 10%. En cuanto a la radiación ultravioleta (100-400 nm), la hoja refleja el 3%. Y en el infrarrojo (>750 nm), para una radiación perpendicular incidente, la hoja refleja el 70% (Larcher, 2003).

Absorción

La radiación que llega a la hoja es ampliamente absorbida, aunque va disminuyendo exponencialmente en su paso por las capas celulares de la hoja, y al penetrar la copa (Larcher, 2003).

La luz se va dispersando y concentrando en la epidermis en sciofitas y en la hipodermis en heliofitas. Las hojas absorben entre el 70 y 80% de la radiación fotosintéticamente activa útil, lo que depende de la estructura de la hoja y del contenido de cloroplastos en las células el mesófilo principalmente, así como de los carotenoides. Esto significa que aproximadamente el 70% de esta radiación es absorbida por la clorofila. Cabe señalar que la luz en los espacios intercelulares es totalmente reflejada (Larcher, 2003).

La radiación UV es retenida en la cutícula y las capas superficiales de la epidermis, por lo que a lo mucho pasa el 2 al 5% y más frecuentemente solo el 1% de UV a las capas inferiores de la hoja. Tanto la epidermis como los tricomas actúan como filtros UV (Larcher, 2003).

La radiación infrarroja arriba de 2000 nm de longitud de onda, es poco absorbida por las hojas, no obstante la radiación térmica de onda larga >7000 nm, la absorben casi por completo. Según las plantas se comportan como un cuerpo negro respecto a la radiación (Larcher, 2003).

Transmisión

El paso de las radiaciones depende del grosor y la estructura de la hoja. Las plantas de hojas mesomórficas transmiten de 10 a 20% de la radiación solar, las de las hojas delgadas transmiten hasta 40% y las de hojas gruesas y fuertes transmiten menos del 3% (Larcher, 2003).



La transmisión es alta en longitudes de onda donde la reflexión también lo es. El follaje filtra radiaciones que contienen más longitudes de onda cercana a 500 nm y un poco más de los 800 nm. Bajo un dosel predominan las sombras rojo-verdosas, en cambio en un bosque oscuro predominan las sombras del lejano rojo y la radiación infrarroja (Larcher, 2003).

Acomodo de la vegetación y acción microclimática

En línea y grupo son las formas de acomodo del estrato arbóreo y arbustivo, éste último y el estrato herbáceo puede acomodarse como cobertura superficial y pérgola, en cada uno la energía se manifiesta diferente, esto se puede observar en la el **cuadro 7** (Ochoa, 2009).

Cuadro 7. Acomodo de la vegetación y su principal acción microclimática (Ochoa, 2009).

Acomodo de la vegetación	Descripción	Acción microclimática	Manifestación de la energía
Arbolado en línea	Acomodo en línea de árboles y arbustos, que consiste en una o más hileras.	Filtra y re direcciona el viento; controla la radiación solar.	Si la dirección del viento es perpendicular a la línea de los árboles, la vegetación da un curso vertical al viento, creando una sombra de viento del otro lado de la barrera vegetal. Si el viento choca con la barrera vegetal de forma oblicua, se desvía en forma horizontal
Grupo de árboles	Árboles que se encuentran en grupo.	Influencia mayor en el paso de la radiación solar. Depende de la densidad de árboles respecto a la superficie de suelo; de las características, acomodo y ubicación de la vegetación respecto al sistema en donde se encuentra.	A mayor densidad de vegetación, disminuyen los porcentajes de radiación solar hacia el suelo y la velocidad del viento, en suelos de alto coeficiente higroscópico se pueden crear temperaturas bajas dentro del grupo
Cobertura superficial	Es cualquier superficie ya sea horizontal o vertical cubierta de vegetación que no sobrepasa los 50 centímetros.	Este es un elemento que altera el albedo, la emitancia, la capacidad de almacenamiento térmico, la rugosidad y, en muros cambia la conductancia térmica del sustrato	En coberturas horizontales se da un alto índice de absorción y una disminución de la reflexión de la radiación solar. En coberturas verticales se reducen los efectos del viento, ya que se dificulta el enfriamiento radiativo, aunque reduce el calentamiento proveniente de aportes directos de la radiación solar
Pérgola	Es una estructura de madera, metal, hormigón o cualquier otro material de construcción, el cual sostiene a la vegetación tipo trepadora	Provee sombra	Se le pueden dar diversas inclinaciones; si es horizontal se le da la función de obstruir los rayos solares; si es vertical se le atribuye la función de obstruir el viento



En línea y grupo son las formas de acomodo del estrato arbóreo y arbustivo, éste último y el estrato herbáceo puede acomodarse como cobertura superficial y pérgola, en cada uno la energía se manifiesta diferente, esto se puede observar en la el **cuadro 7** (Ochoa, 2009).

Las características estructurales, fisiológicas y funcionales de la vegetación (ver **cuadro 8**) pueden ser un instrumento de control y modificación microclimática.

Cuadro 8. Características estructurales, fisiológicas y funcionales aplicable a árboles arbustos y trepadoras desde un punto de vista arquitectónico-microclimático (Ochoa, 2009).

Estructurales	Geometría del follaje	Disposición del follaje		Tamaño de las hojas	Densidad del follaje	
Características fisiológicas	Permanencia del follaje			Adaptación ambiental		
Características funcionales	Control de la radiación	Control del viento	Control de la temperatura	Control de la humeada	Control lumínico	Control acústico



III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ICU afecta el confort térmico de los ciudadanos, provocando un aumento en el consumo de energía eléctrica para atenuar el calentamiento habitacional con sistemas de acondicionamiento de aire que resultan deficientes, ya que estos al hacer circular el calor de interiores al exterior contribuyen probablemente al aumento de la temperatura urbana. Las áreas verdes de la ZMCM no son suficientes para proporcionar un ambiente saludable a sus habitantes y solamente presentan un efecto de mitigación en la ICU muy local. Principalmente, aumentar las áreas con vegetación y específicamente de árboles, ya que son elementos arquitectónicos que pueden hacer manifestar un efecto de enfriamiento significativo dentro de parques y sus alrededores, agregando que atenúan otros tipos de contaminación atmosférica. Además, se ha reportado que los parques urbanos han sido diseñados enfocándose en la estética y no al balance de la energía. Es entonces conveniente determinar cómo deben ser diseñados los espacios exteriores para crear ambientes confortables y obtener un índice para medir las percepciones térmicas y el balance de energía. Es así como resulta necesario investigar si la cercanía al centro cálido de la ICU influye en los microclimas de los parques y de acuerdo a qué proporciones de vegetación, uso de suelo y otros elementos arquitectónicos contribuyen a la percepción de confort térmico humano, al mismo tiempo si éstas percepciones térmicas coinciden con los intervalos de temperatura fisiológica equivalente (índice *PET*) propuestos por Matzarakis y Amelung en 2008. Generando así lineamientos de confort térmico en exteriores para los habitantes de la Ciudad de México, especialmente para la gestión de áreas verdes.



IV. HIPÓTESIS

La percepción de confort térmico establecida en categorías de PET, es influenciada por el microclima debido a las propiedades, porcentajes y acomodo de los elementos del diseño arquitectónico de cada micrositio de los parques.

V. OBJETIVO

Determinar y analizar si el diseño arquitectónico de dos parques urbanos, uno cerca y otro alejado del centro más cálido de la ICU contribuye a la percepción térmica confortable de usuarios, al mismo tiempo si esas percepciones coinciden con la categorización de la temperatura fisiológica equivalente (*PET*) propuesta por Matzarakis y Amelung en 2008, para generar lineamientos de confort térmico de exteriores para los habitantes de la Ciudad de México.

VI. OBJETIVOS PARTICULARES

- Medir el microclima, el confort térmico y el diseño arquitectónico en los micrositios al interior de los parques urbanos.
- Establecer la relación del microclima, el confort térmico humano y los elementos arquitectónicos de los micrositios.
- Analizar si la categorización de la *PET* propuesta por Matzarakis y Amelung en 2008 aplica para los habitantes de la Ciudad de México.
- Comparar la manifestación de la energía térmica a través del análisis del microclima y de los índices de confort térmico de los parques, respecto a la cercanía del centro cálido de la ICU de la Ciudad de México.
- Emitir recomendaciones para diseñar parques más eficientes desde el punto de vista climático y bioclimático.



VII. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Ciudad de México

La Ciudad de México es la capital de los Estados Unidos Mexicanos (19°25'N, 99°10'W). Se localiza en la parte sur del Valle de México, es el núcleo de la Zona Metropolitana del Valle de México. Está constituida por 16 delegaciones que suman un territorio de 1495 km² representando el 1 % de la superficie del país, tiene una población de 8918653 habitantes, representando el 7.5 % de la población nacional con una densidad de 5967.3 hab km⁻² (INEGI, 2015). Se encuentra a 2250 msnm y en general, es una superficie plana, interrumpida por algunos cerros, volcanes y sistemas montañosos de alrededor de 3000 m de altitud (Sánchez, 2012; FAO, 2015; Canedo, 2015; INEGI, 2015).

En el área predomina el clima templado subhúmedo con lluvias en verano, 87 % de la zona y templado húmedo 6 %, en la porción centro y sur de la superficie de la ciudad, respectivamente, lo que explica que del centro hacia el sur la temperatura general es alrededor de 1 o 2 °C más baja. La porción norte y noroeste que comprende el 7 % restante es seco de tipo estepa y semiseco, según la clasificación climática de Köpen, (Jáuregui, 2000; INEGI, 2015). Las temperaturas más altas se presentan de marzo a mayo (>25 °C) y las más bajas en enero, (≈ 5 °C), la temperatura media anual es de 16 °C. En la parte templada húmeda se presentan precipitaciones anuales de 1200 mm y de 600 mm en la región seca (INEGI, 2015). El suelo de conservación de la ciudad ocupa aproximadamente el 57.4 % del territorio y toma en cuenta las áreas de rescate ecológico, de preservación ecológica, de producción rural y agroindustrial, de transición, de conservación patrimonial, y las determinadas por el Programa General de Ordenamiento Ecológico del D.F. El suelo urbano (42.6 %) está constituido por áreas con potencial de desarrollo, con potencial de mejoramiento, con potencial de reciclamiento, de conservación patrimonial y de integración metropolitana (SEDUVI, 2010; PAOT, 2010).

El régimen de lluvias en el ciclo húmedo del año se ha conservado apenas estable, en el noroeste la humedad ha disminuido, y al poniente se han acentuado las lluvias intensas en la temporada húmeda (Jáuregui, 2000). El Clima de la Ciudad de México se mantiene constante debido a las considerables corrientes atmosféricas que han prevalecido desde hace siglos arribando hacia el centro de la cuenca, como son los vientos alisos húmedos (mayo-octubre) y los vientos del oeste procedentes de Norteamérica secos y frescos



(noviembre-marzo) (Jáuregui, 2000), y esto es lo que distingue los dos regímenes climatológicos bien definidos (Martínez, 2008).

El mayor crecimiento poblacional de la Ciudad de México fue entre 1900 y 1970, de 0.7 a 6.9 millones de habitantes respectivamente, y a partir de 1990 ha alcanzado más de 8 millones (INEGI, 2000; INEGI, 2015). Sin embargo, la ciudad de México de 1990 a 2000 ha mantenido su tasa de crecimiento anual en 0.44 %, lo que significa que la población oscila entre 8 y 9 millones de habitantes incluyendo el censo 2015 (INEGI, 2000; INEGI, 2015).

El área metropolitana tuvo su mayor crecimiento poblacional entre 1970 y 1980 con casi 56 % como promedio anual), sin embargo entre 1980 y 1990 fue de 8 % (0.8 % promedio anual), llegando a un total de 15.5 millones de habitantes (Sánchez, 2012), aun así la ciudad ha continuado expandiéndose demandando cada vez más servicios e infraestructura urbana en territorios cercanos y alejados a la periferia de la ciudad misma y de su zona metropolitana, acelerándose cada vez más el crecimiento de la mancha urbana (Sánchez, 2012), la **figura 1** muestra la expansión urbana del año 1950 al 2000. México está entre los once países más poblados del mundo (INEGI, 2016).

La Ciudad de México posee áreas verdes públicas y privadas que representan el 20.4 % de la superficie de la ciudad, del cual el 55.9 % está arbolado, y el 44.1 % está cubierta por pastos y arbustos (PAOT, 2012). Cuenta con diversos tipos de áreas verdes, que se clasifican según su tamaño, topografía, forma y tipo de vegetación. Por lo que se dividen en bosques urbanos, que son áreas de mayor dimensión (>10 ha, Bosque de Chapultepec, Bosque de Tlalpan); parques y jardines, son superficies pequeñas (<10 ha) y presentan una gran variedad de diseño y elementos urbanos (Parque Cuemanco, Parque Tezozómoc, Parque de los Venados, Parque México, Parque Hundido, entre otros); barrancas, que no tienen una definición universal, para el GDF son “las pendientes de las laderas determinan hasta donde es barranca” y para los geomorfólogos “es una depresión elongada, son laderas por donde hay escurrimientos y es sinónimo de valle” (Atzoyapan 27.96 ha, Tlalpizahuaya o Río Becerra 115.29 ha, entre otros); glorietas y camellones que están distribuidos por toda la ciudad y son espacios reducidos y de baja densidad de vegetación; espacios abiertos, son áreas con mucha escasez de arbolado y suelo descubierto (cementeros, lotes baldíos) (PAOT, 2010; Cohen y Rodríguez, 2003).



Las delegaciones Cuauhtémoc y Benito Juárez son zonas de alta densidad urbana, tienen superficies de vegetación pequeñas, pero están casi totalmente arboladas. Sin embargo, Tlahuac posee baja densidad urbana, y solo el 4.4 % de sus áreas verdes son arboladas (PAOT, 2012).

En enero y mayo del 2010, en la estación La Merced se registraron las temperaturas más altas a las 6 y a las 14 horas (Ballinas, 2011). Por lo que esta estación se puede identificar como el punto de referencia del centro cálido.

Descripción de la zona de estudio: Parque Gral. San Martín y Parque Luis G. Urbina

Según el artículo 11 de la Ley de salvaguarda del patrimonio urbanístico arquitectónico del Distrito Federal (LSPUADF) en su sección XI un parque urbano es un “espacio abierto ajardinado, de carácter público, en donde se realizan actividades recreativas y culturales cuyo objetivo general es elevar la vida de los habitantes del asentamiento humano en que se ubica”. Las encuestas y las mediciones se realizaron en el Parque México ó Parque General San Martín (PGSM), ambos son nombres oficiales, cuenta con 8.8 ha y pertenece a la delegación Cuauhtémoc. Esta área verde representa un parque cercano al centro cálido de la isla de calor (estación La Merced), cuya distancia es de 4.55 km. El Parque Hundido es el nombre oficial así como Parque Luis G. Urbina (PLGU) con 10 ha de extensión, ubicado en la delegación Benito Juárez, y se encuentra alejado por 7.6 km del centro cálido (DOF, 2015). La distancia entre el PGSM y el PLGU es de 3.55 km (**Fig. 1**).

Estos parques son muy homogéneos en su interior, pero se ubicaron tomando en cuenta que la infraestructura estuviera hecha de diferentes materiales y con diferentes proporciones, por lo que cada sitio es diferente entre sí, representando cada uno a un elemento arquitectónico. Por otro lado, también se tomó en cuenta de que hubiera afluencia de personas para realizar las encuestas. Así que se clasificaron tres sitios dentro de cada parque de acuerdo a sus componentes arquitectónicos, orgánicos y ortogonales o bióticos y abióticos, y se les asignó un nombre.

El Parque General San Martín es la zona de estudio menos homogénea, en cuanto al piso de los senderos posee cinco diferentes tipos: adoquín, suelo desnudo, tezontle, pavimento de hormigón y mosaico. En cambio el PLGU es muy homogéneo ya que solo posee dos tipos de piso: pavimento de hormigón y de asfalto. Ambos cuentan con áreas verdes. Por otro lado, el contexto urbano de los alrededores de cada parque es diferente, mientras

que el PGSM está rodeado de edificios de mediana altura (≈ 14 m) y camellones/bulevares con vegetación significativa alejados a 102 m, y distribuidos en toda la vecindad del parque, agregando que la avenida principal (Av. Insurgentes Sur) está más alejada del parque (186 m) (Mapa digital de México, 2016); el PLGU está rodeado por edificios de gran altura (≈ 28 m), no hay vegetación significativa en sus alrededores.

Micrositios

Las mediciones se realizaron en tres sitios de cada parque. Estos sitios se denotan con el subíndice 1, 2 y 3. El sitio PGSM₁ está caracterizado por una gran porción de área verde, cubierta superficial de adoquín y ausencia de pavimento. El PGSM₂ es diferenciado por la presencia de un cuerpo de agua, ausencia total de pavimento y presencia de área verde. EL PGSM₃ posee más de la mitad de cobertura de cemento y una menor proporción de mosaico, aunque cuenta casi con la tercera parte de área verde. El PLGU₁ es un sitio muy arbolado, con una porción considerable de piso de cemento; el sitio PLGU₃ es más abierto, sin embargo, contiene una buena proporción de cobertura vegetal en la superficie del suelo; el PLGU₂ presenta área verde significativa, aunque se concentra de un solo lado y muy dispersa (**Fig. 2**). En el **cuadro 9** se muestran las coordenadas geográficas de cada uno de los sitios de estudio.

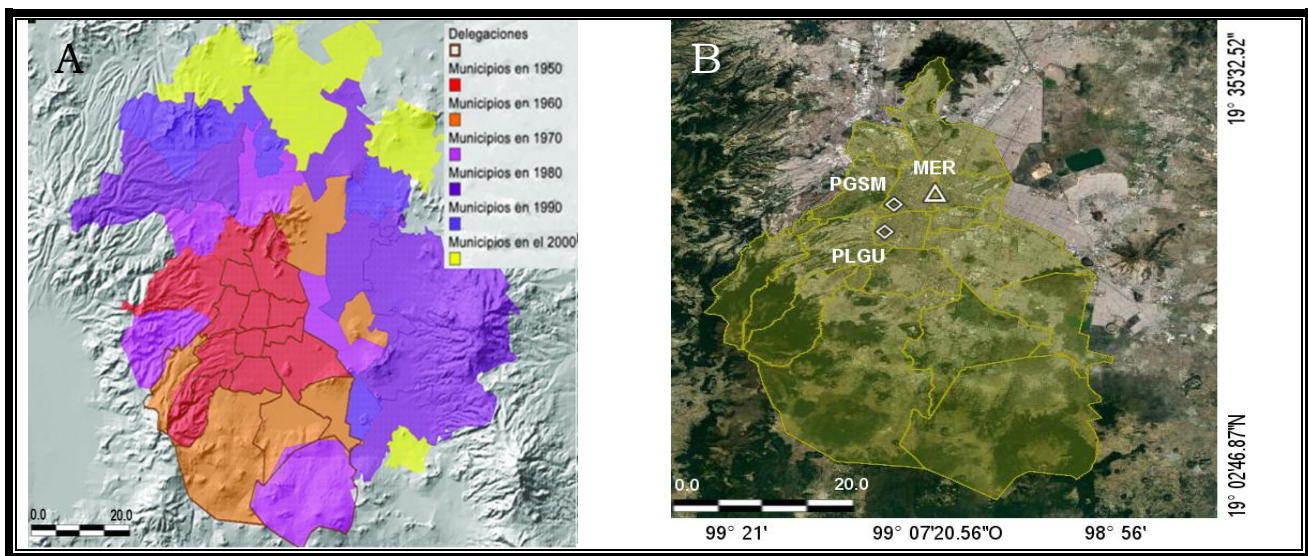


Figura 1. Zona Metropolitana del Valle de México y su expansión de 1950 a 2000 (A). Fuente: CentroGeo (2002). Localización de los parques de estudio PGSM, PLGU y centro cálido MER en la Ciudad de México (B) (Google Earth).

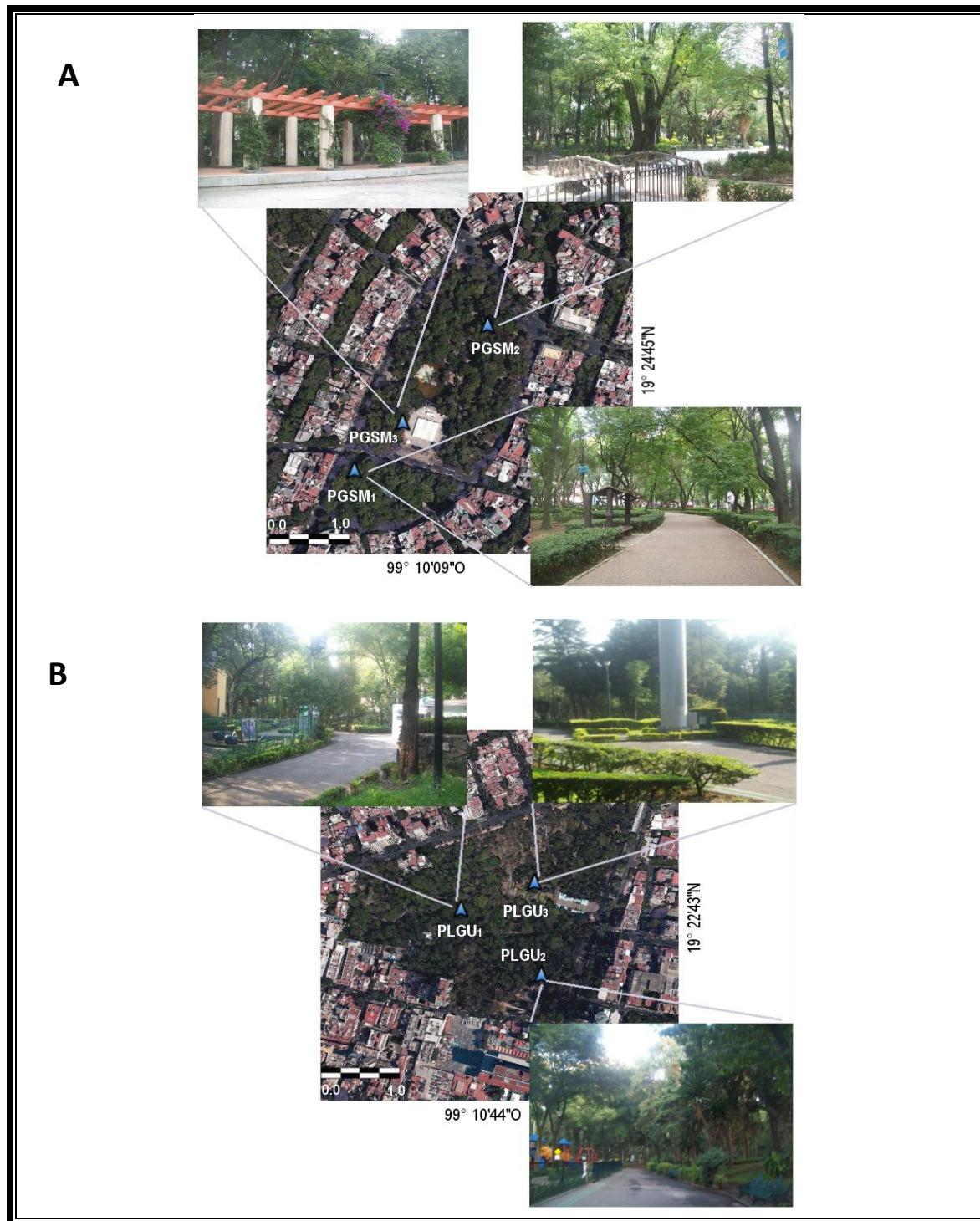


Figura 2. Ubicación de los micrositios de estudio en los Parques General San Martín (A) y Luis G. Urbina (B).

Trabajo en campo

Las mediciones microclimáticas y las encuestas de confort térmico humano dirigidas a los usuarios se realizaron en el periodo primavera-verano, 19, 26 y 16 de abril; 23 y 30



de mayo; 2 de agosto en el Parque Luis G Urbina y 17, 24, 31 de mayo; 1 de agosto del 2015 en el Parque General San Martín de la Ciudad de México, de las 8:30 a las 18:00 horas, sumando seis visitas con 374 encuestas en el PLGU y cuatro visitas con 274 encuestas en el PGSM, obteniéndose en total 648 encuestas.

Cuadro 9. Coordenadas geográficas de cada uno de los sitios de estudio en los parques General San Martín (PGSM) y Luis G. Urbina (PLGU).

Parque General San Martín	Latitud (°N)	Longitud (°O)	Altitud (msnm)
PGSM ₁	19°24'39.67"	99°10'13.59"	2256
PGSM ₂	19°24'47.19"	99°10'07.13"	2256
PGSM ₃	19°24'42.15"	99°10'11.25"	2254
Parque Luis G. Urbina			
PLGU ₁	19°22'40.82"	99°10'46.34"	2252
PLGU ₂	19°22'37.56"	99°10'42.42"	2256
PLGU ₃	19°22'42.17"	99°10'42.74"	2254

Al mismo tiempo en que se llevaron a cabo las encuestas, se realizaron mediciones de humedad relativa (HR, %) y temperatura del aire (T_A , °C) con un sistema de adquisición de datos (SAD) (HOBO, H08-037-08, Onset Computer Corp., EUA) que fueron programados para almacenar los datos cada segundo y generar promedios por 1 minuto y se instalaron a 1.5 m de altura en cada sitio. La intensidad del viento (v , m/s) se estimó basándose en la escala de Beaufort (Ochoa, 2009).

El ambiente radiativo se determinó a través de fotografías hemisféricas realizadas con una cámara con una lente hemisférica (ojo de pez) (Nikon CoolPix, modelo 4500 de 4.0 Mpíxeles) en cada sitio. Colocando la cámara a un metro de altura instalada en un trípode, con el lente viendo hacia el cielo y totalmente horizontal como lo recomienda Matzarakis y Matuschek en 2011.

La altura y la circunferencia del tronco (DAP) se determinaron con un dendroflexómetro y una cinta métrica (Forestry Suppliers, EUA). El índice de área foliar (*IAF*) se determinó a través de las fotografías hemisféricas utilizando el programa *Gap Lap Analyzer*. También se determinaron las proporciones de cobertura arbórea, arbustiva y herbácea, porcentaje de área desnuda. La geoforma y el microrelieve se estimaron de acuerdo a Espinoza y Raya (2006) (**Anexo 3**). Asimismo, se determinó la superficie de cada tipo de piso (cemento, concreto, asfalto, adoquín, mosaico, área verde con pasto, área verde con árboles y arbustos) y estructuras 3D como las paredes.



Las variables termofisiológicas en cada sitio de cada parque se realizó mediante la aplicación de la encuesta de confort térmico (**Anexo 2**). Esta encuesta se realizó tomando como referencia a Auliciems y Szokolay (2007) y Lai, *et al.* (2014) y la norma ISO 7730 (2006). La encuesta se dividió en cuatro partes: la primera de dos preguntas filtro para saber el tiempo del usuario dentro del parque y si su ubicación geográfica/residencia en los últimos cinco años había sido en la Ciudad de México, para así determinar si procedía la encuesta, esto se realizó así debido a posibles complicaciones por falta de aclimatación de los usuarios. La segunda para seleccionar el sitio donde se realizó la encuesta, fecha y hora; la tercera de datos personales como género, peso (kg), estatura (m), edad, tono de piel (utilizando el fototipo Escala de Fitzpatrick) y grado de estudios. La cuarta para indicar el nivel de actividad física (W , $W\ m^{-2}$), tipo de vestuario o resistencia térmica del vestido (I_{clo} , clo), y en la última parte se ubicó la escala verbal y gráfica de percepción térmica tomada de la ASHRAE (1997), así como su percepción con las características atmosféricas en el momento justo de la realización de la encuesta.

Trabajo en gabinete

Las fotografías hemisféricas se importaron al programa RayMan versión 1.2 (Matzarakis, 2009) junto con las variables termofisiológicas y los primeros registros del microclima, con lo que se obtuvieron los índices de confort térmico, T_{mrt} (°C) y PET (°C), así como variables microclimáticas: R_G , ($W\ m^{-2}$), dpv (kPa) y el SVF . Estas mismas fotografías se descargaron en la computadora y se manipularon con Gap Light Analyzer (Frazer *et al.*, 1999) para determinar el Índice de Área Foliar. El área total de hojas respecto a la superficie del suelo se denomina índice de área foliar (IAF) y está dada por la ecuación siguiente:

$$IAF = \frac{\text{Suma de la superficie foliar total}}{\text{Superficie del suelo}}$$

Ambas se expresan en m^2 , IAF es la medida adimensional de la cantidad de cobertura de la hoja.

Para obtener el diámetro normal o diámetro a la altura del pecho (DAP) y el diámetro basal (DB) se realizó la conversión de la circunferencia obtenida en campo de cada árbol a diámetro y se utilizó la fórmula de Ugalde (1981) para obtener el área basal.



$$\text{Área basal} = \frac{\pi DAP^2}{4} = 0.7854 DAP^2$$

Análisis estadístico

Microclima

El análisis de las variables microclimáticas se realizó con un programa computacional (Statgraphics, Statpoint Technologies, Inc., EUA), aplicando una ANOVA multifactorial y utilizando la prueba F de Fisher (Fisher, 1935).

Confort térmico

Se establecieron categorías en concordancia a los intervalos de la temperatura fisiológica equivalente propuesta por Matzarakis y Mayer (1996), ubicando las *PET* calculadas por el programa RayMan (percepción térmica calculada) y las percepciones térmicas observadas obtenidas de las encuestas. Donde la percepción de “frío” (4-7.99°C), se le asignó la categoría número 1; “fresco” (8-12.99 °C), categoría número 2; “ligeramente fresco” (13-17.99 °C), categoría número 3; “confortable” (18-22.99 °C), categoría número 4; “ligeramente cálido” (23-28.9 °C), categoría número 5; “caluroso” (29-34.9 °C), categoría número 6; “muy caluroso” (35-40.9 °C), categoría número 7; “caluroso extremo” (>50 °C), categoría número 8; y se realizaron ajustes por mínimos cuadrados de regresión lineal y logarítmica para determinar cómo se relaciona la percepción térmica calculada (eje ordenadas) y la percepción térmica observada (eje abcisas), previamente ubicadas de acuerdo a la categoría correspondiente.

También se realizó una tabla de frecuencias relativas por categoría de la percepción térmica calculada y la percepción térmica observada.

Para ajustar la escala *PET* propuesta por Matzarakis y Mayer (1996), se hizo el promedio de las *PET* registradas de cada sensación o *PET* observada.

Componente arquitectónico

La superficie de cada componente se reportó en una tabla junto con el porcentaje y se realizó el grafico de frecuencia relativa circular a color para tener una mejor visión de las proporciones que tiene cada micrositio.



VIII. RESULTADOS

Microclima

Radiación global y temperatura del aire

La **figura 3** muestra el comportamiento de la radiación global (R_G) y de la temperatura del aire (T_A) durante el periodo de mediciones. La R_G fue baja temprano por la mañana para incrementarse hacia el mediodía y alcanzar sus valores más altos, y descender hacia el atardecer. La máxima radiación global en el PLGU fue de 971 W m^{-2} (PLGU₃) mientras que en el PGSM fue de 752 W m^{-2} (PGSM₃), hacia las 12:00 horas del día que es cuando se alcanza el mayor valor de R_G en los 6 sitios. Hubo diferencias significativas de R_G entre los micrositos, para el PGSM ($F = 3.41$, $P = 0.0367$) y el PLGU ($F = 11.84$, $P = 0.0000$). Donde se registraron dos grupos homogéneos siendo PGSM₁ y PGSM₂ (233.9 y 246.5 W m^{-2} , respectivamente) mientras que en PGSM₃ el promedio fue de 341.9 W m^{-2} . En el PLGU todos los micrositos de estudio fueron diferentes, por lo que hubo tres grupos homogéneos: PLGU₂ (277.0 W m^{-2}), seguida por el PLGU₁ (385.7 W m^{-2}) y finalmente el más soleado fue el PLGU₃ (528.3 W m^{-2}).

En concordancia, la T_A registrada mostró un comportamiento similar a la de R_G , baja en la mañana, incrementando hacia valores más altos a partir de las 12:00 horas, y descendiendo al atardecer. El parque que mostró valores más altos de T_A fue también el PLGU, con una máxima de 28.5 °C en el micrositio PLGU₃, mientras que la máxima en el PGSM₃ fue de 26 °C . La temperatura del aire fue diferente entre los micrositos, para el PGSM ($F = 63.41$, $P = 0.0000$) y para el PLGU ($F = 10.91$, $P = 0.0000$). El PGSM presenta dos micrositos homogéneos PGSM₁ y PGSM₂ con una T_A promedio de 19.2 y 19.4 °C , y el PGSM₃ con 23.7 °C , siendo éste el micrositio más cálido. En el PLGU también hubo dos grupos homogéneos: PLGU₂ y PLGU₃ con una T_A de 23.9 y 24.5 °C , en cambio el PLGU₁ fue el micrositio menos cálido con una T_A de 22.5 °C .

Presión de vapor y déficit de presión de vapor

La **figura 3** muestra el comportamiento de la presión de vapor (e) y del déficit de presión de vapor (dpv). En contraste con la R_G y la T_A , los valores de e muestran un comportamiento decreciente conforme transcurre el día, cuyos mínimos se alcanzaron hacia las 14:00 horas, en el PLGU₁ y el PGSM₁ se registraron los valores más bajos



(0.934 kPa y 1.099 kPa, respectivamente), es decir, presentaron una baja humedad del aire. Mientras que los valores más altos de e se presentaron en PLGU₂ (1.078 kPa) y PGSM₂ (1.227 kPa). La presión de vapor fue diferente entre los microsítios del PGSM ($F = 18.61$, $P = 0.0000$). Sin embargo, en los micro-sítios, el análisis del PLGU no presentó diferencias significativas ($F = 2.83$, $P = 0.0626$). En el PGSM la e fue diferente entre los tres microsítios. El valor más bajo de e se registró en el PGSM₃ con un promedio de 1.12 kPa, seguido por el PGSM₁ (1.22 kPa) y PGSM₂ (1.30 kPa). Mientras que los valores promedio del PLGU₁, PLGU₂ y PLGU₃ fueron de 0.96, 1.02 y 1.03 kPa, respectivamente. El comportamiento del dpv en ambos parques mantiene concordancia al de la T_A . En el PLGU se registraron los déficit de vapor más altos hacia las 14:00 horas, donde el PLGU₃ presentó el dpv más alto con 2.94 kPa. En el PGSM a esa misma hora se registró el dpv más alto en el microsítio PGSM₃ con 1.93 kPa, aunque el valor máximo se registró a las 12:00 horas (2.38 kPa), en los microsítios PGSM₁ y PGSM₂ se registró un dpv igualmente bajo (0.127 y 0.128 kPa, respectivamente). Hubo diferencias entre los microsítios del PGSM ($F = 55.87$, $P = 0.0000$) y entre los microsítios del PLGU ($F = 3.97$, $P = 0.0212$). Los microsítios PGSM₂ con 0.99 y PGSM₁ con 1.04 kPa formaron un grupo homogéneo, mientras que el microsítio PGSM₃ fue el que registró el valor más alto (1.89 kPa), por lo que fue el más seco de todos, lo que concuerda con T_A que también fue más alta y con e que fue la más baja. En el PLGU los microsítios PLGU₁ y PLGU₃ fueron semejantes con un dpv promedio de 1.63 y 1.77 kPa, siendo el PLGU₂ el microsítio más seco (1.91 kPa).

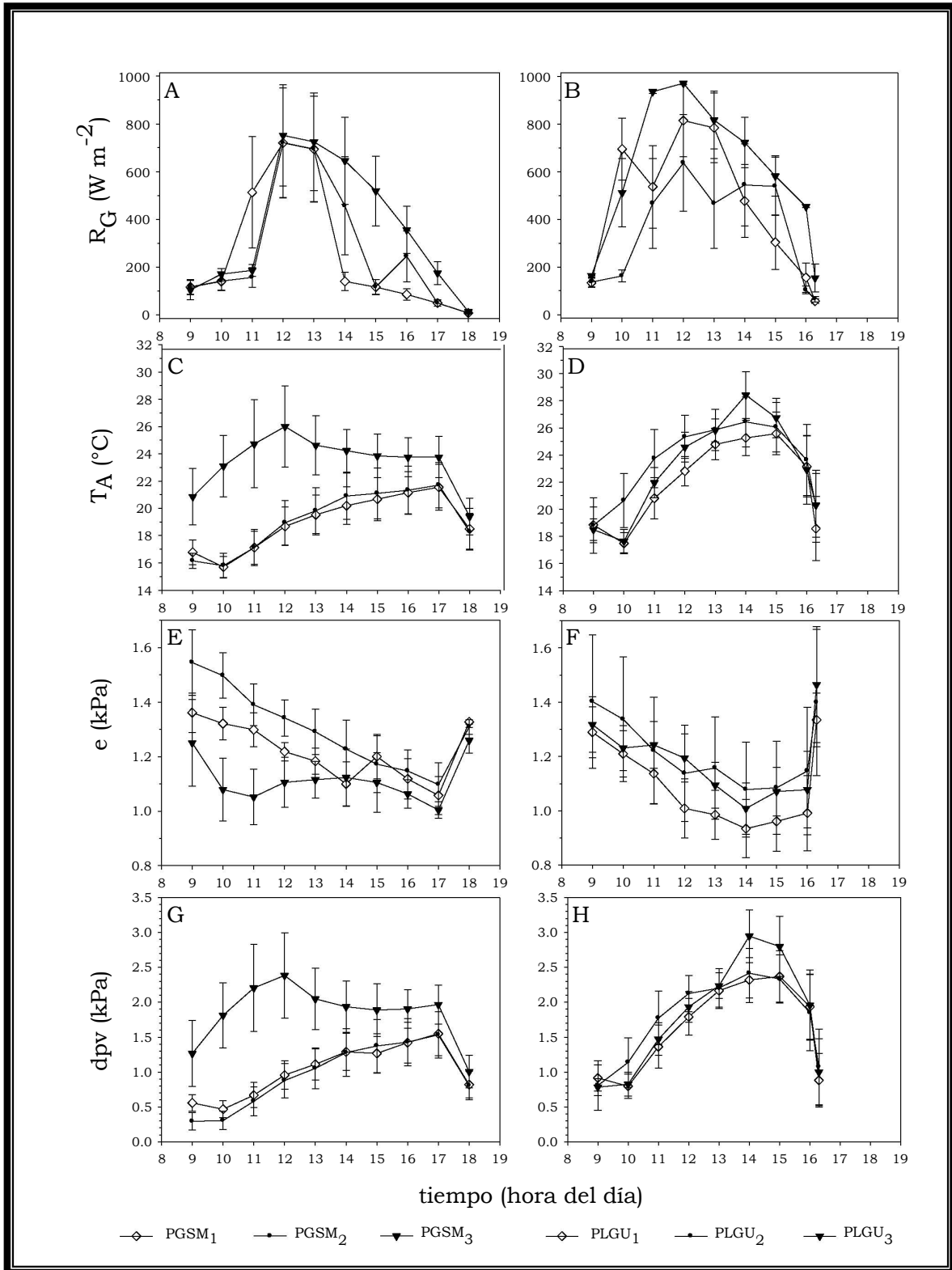


Figura 3. Comportamiento de la radiación global (R_G , A, B), temperatura del aire (T_A , C y D), presión de vapor (e , E y F) y déficit de presión de vapor (dpv , G y H) en el parque General San Martín izquierda (A, C, E y G) y en el parque Luis G. Urbina (B, D, F y H).



Temperatura media radiante y temperatura equivalente fisiológica

Como se muestra en la **figura 4** la *PET* tuvo un comportamiento similar al de la R_G , la T_A y el *dpv*, incrementando con forme se acercan las 12 horas del día y descendiendo al atardecer, así mismo los micrositios que tuvieron la *PET* más alta a esa hora fueron PGSM₃ (34.0 °C) y PLGU₃ (34.2 °C), aunque éste último registró el valor más alto a las 14 horas (39.6 °C). Hay diferencias significativas entre los micrositios del PGSM ($F = 76.16$, $P = 0.0000$) y entre los micrositios del PLGU ($F = 15.41$, $P = 0.0000$). Los micrositios PGSM₁ (20.6 °C) y PGSM₂ (21.2 °C) son un grupo homogéneo, por lo que el micrositio PGSM₃ (27.9 °C) es diferente, el primer grupo se encuentra dentro del rango donde se percibe un confort térmico, en cambio la percepción para el segundo grupo es ligeramente caliente, por lo que los usuarios pueden tener un ligero estrés fisiológico por calor, según los rangos de temperatura equivalente fisiológica (*PET*) propuesta por Matzarakis y Mayer (1996), que se muestra en el **cuadro 1** (Matzarakis y Amelung, 2008). En el PLGU hay tres grupos homogéneos: PLGU₁ (26.5 °C), PLGU₂ (28.4 °C), éstos dos grupos son ligeramente calientes, por lo que los usuarios pueden presentar un ligero estrés fisiológico por calor, en cambio el micrositio PLGU₃ (30.2 °C) es caliente y los usuarios pueden tener un fuerte estrés fisiológico por calor.

A las 14 horas es cuando se registró la T_{mrt} más alta en los micrositios PGSM₃ (49.8 °C) y PLGU₃ (56 °C), lo que coincide en que son los micrositios con los registros más altos en R_G , T_A , *dpv* y *PET*. Los micrositios del PGSM presentan diferencias significativas ($F = 41.63$, $P = 0.0000$), así como también los del PLGU ($F = 15.73$, $P = 0.0000$). Al igual que en la *PET*, los micrositios PGSM₁ (32.6 °C) y PGSM₂ (33.4 °C) son un grupo homogéneo, y PGSM₃ (40.3 °C) es otro grupo homogéneo. El PLGU tiene dos grupos homogéneos también, el primero conformado por PLGU₁ (39.6 °C) y PLGU₂ (40.0 °C), el segundo es PLGU₃ (44.7 °C).

Factor de vista del cielo, índice de área foliar y área basal

Como se muestra en el **cuadro 10** y en la **figura 5** el *SVF* es más alto en el micrositio PGSM₃ (0.412 = 41.2 %) seguido por el PLGU₃ (0.379 = 37.9 %), PLGU₂ (0.270 = 27 %), PLGU₁ (0.200 = 20 %), PGSM₁ (0.121 = 12.1 %), PGSM₂ (0.110 = 11 %). De acuerdo a este orden el PGSM₃ es más abierto y el PGSM₂ es el más cerrado.

En cuanto al siguiente orden $PGSM_2$ (1.95), $PGSM_1$ (1.58), $PLGU_1$ (1.11), $PLGU_2$ (0.72), $PLGU_3$ (0.61), $PGSM_3$ (0.15), el IAF en el micrositio $PGSM_2$ presenta un IAF más alto que el $PGSM_3$. El orden coincide inversamente con el del SVF .

El micrositio $PLGU_1$ posee mayor área basal ($3.792 \text{ m}^2/\text{m}^2$), seguido por $PGSM_1$ ($3.67571 \text{ m}^2/\text{m}^2$), $PGSM_2$ ($3.51771 \text{ m}^2/\text{m}^2$), $PLGU_3$ ($2.87071 \text{ m}^2/\text{m}^2$), $PLGU_2$ ($2.32971 \text{ m}^2/\text{m}^2$) y $PGSM_3$ ($1.64771 \text{ m}^2/\text{m}^2$). Así mismo el $PGSM_3$ presenta la menor área basal, es el sitio más abierto y con menor IAF . Los micrositios $PLGU_1$, $PGSM_1$ y $PGSM_2$ poseen la mayor AB , de acuerdo al SVF son los más cerrados, y tienen el IAF más alto, lo que indicara que pueden tener un comportamiento de energía más fresca.

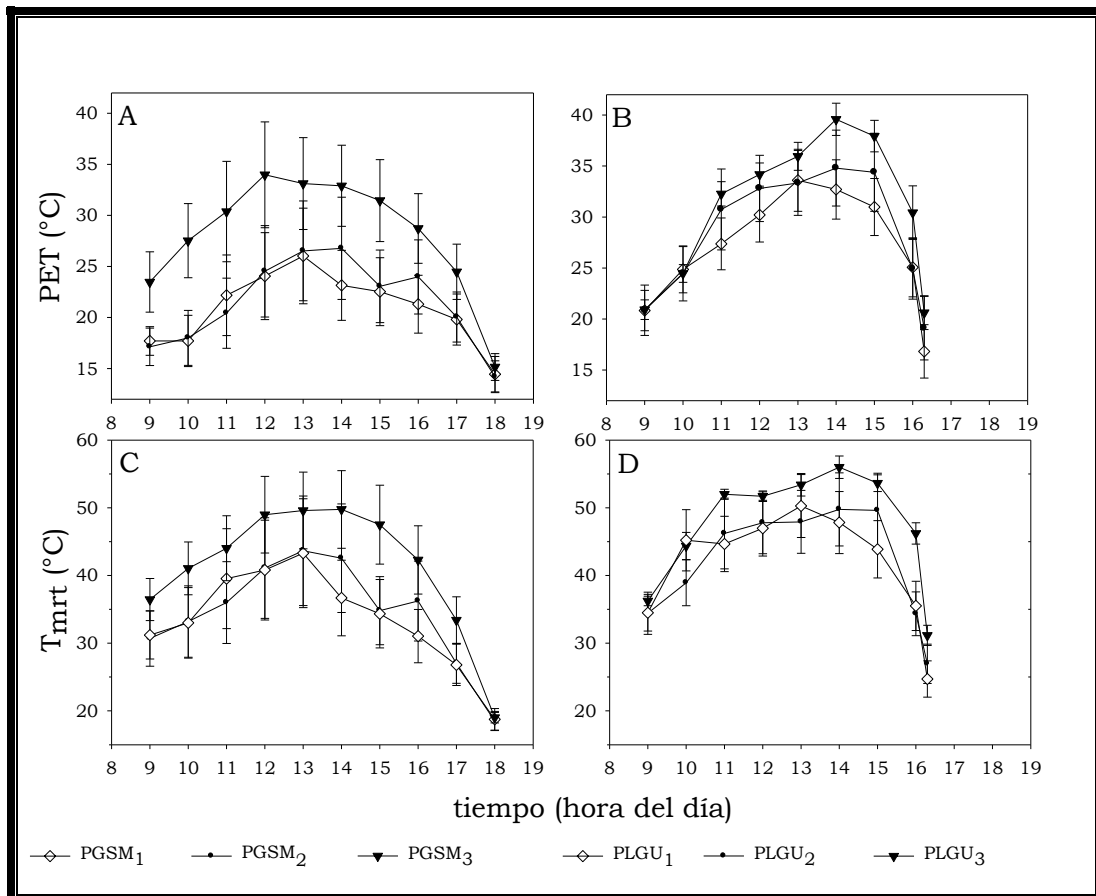


Figura 4. Comportamiento diurno de la temperatura fisiológica equivalente (PET , A y B) y de la temperatura media radiante (T_{mrt} , C y D) en el parque General San Martín (A y C) y el parque Luis G. Urbina (B y D).

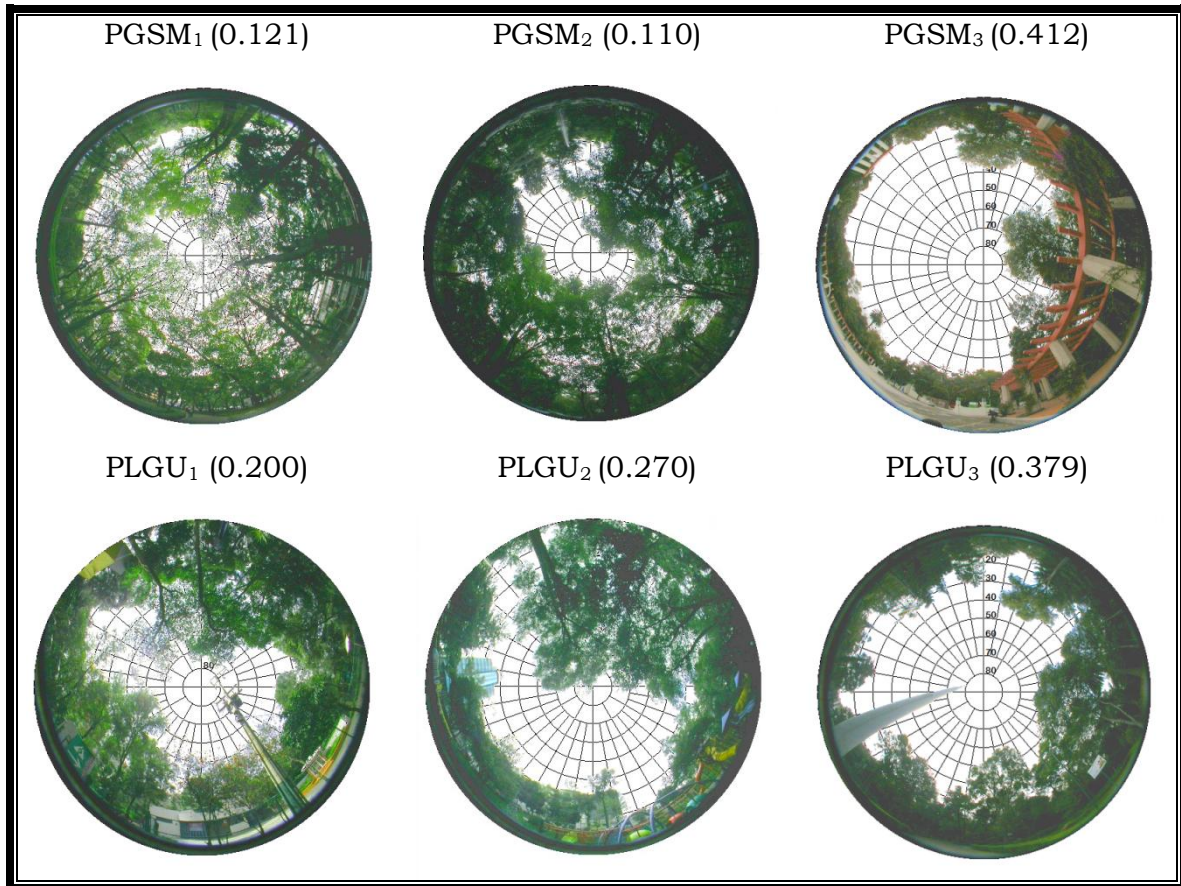


Figura 5. Fotografías hemisféricas y valores del factor de vista de cielo (*SVF*) de los seis micrositos de los parques General San Martín y Luis G. Urbina.

Cuadro 10. Factor de vista del cielo (*SVF*), área basal (*AB*) y promedio de la radiación global (*R_G*), temperatura del aire (*T_A*), presión de vapor (*e*), déficit de presión de vapor (*dpv*), temperatura media radiante (*T_{mrt}*) y temperatura equivalente fisiológica (*PET*) en los seis sitios de estudio de los parques General San Martín (PGSM) y Luis G. Urbina (PLGU).

Micrositio \ Variable	<i>SVF</i> (%)	<i>IAF 4 Ring</i> (m ² /m ²)	<i>AB</i> (m/o.00 01 ha)	<i>R_G</i> (W m ⁻²)	<i>T_A</i> (°C)	<i>e</i> (kPa)	<i>Dpv</i> (kPa)	<i>T_{mrt}</i> (°C)	<i>PET</i> (°C)
PGSM ₁	12	1.93	3.68	233.9	19.2	1.22	1.04	32.6	20.6
PGSM ₂	11	1.71	3.52	246.5	19.4	1.30	0.99	33.4	21.2
PGSM ₃	41	0.15	1.65	341.9	23.7	1.12	1.89	40.3	27.9
PLGU ₁	20	1.10	3.79	385.7	22.5	0.96	1.63	39.6	26.5
PLGU ₂	27	0.75	2.33	277.0	23.9	1.02	1.91	40.0	28.4
PLGU ₃	38	0.54	2.87	528.3	24.5	1.03	1.77	44.7	30.2



Descripción del uso de suelo

En la **figura 6** se muestran los porcentajes de los componentes arquitectónicos que cubren la superficie (uso de suelo) de cada micrositio.

PGSM₁

La superficie es de 834.7 m² y tiene tres componentes en el piso, área verde (704.11 m², 84.35 %), adoquín (123.88 m², 14.84 %) y hormigón (6.71 m², 0.80 %).

PGSM₂

Tiene una superficie de 804 m² el piso está constituido por un cuerpo de agua (179 m²; 22.26 %), área verde (436.09 m²; 54.24 %), suelo desnudo (122.06 m²; 15.18 %), tezontle (13.84 m²; 1.72 %), hormigón (53.01 m²; 6.59 %).

PGSM₃

Cuenta con una superficie de 754.770 m² y presenta 3 componentes estructurales bien diferenciados en el piso, área verde (159.27 m², 21.10 %) mosaico (207.92 m², 27.54 %) y hormigón (387.58 m², 51.35 %).

PLGU₁

Este micrositio posee una superficie total de 907.9 m². Los componentes del piso son área verde (360.57 m²; 39.71 %), adoquín (69.805 m²; 7.68 %), roca (85.405 m²; 9.40 %), asfalto (216.44 m²; 23.83 %), hormigón (46.05 m²; 5.07 %), construcción (129.63 m²; 14.27 %).

PLGU₂

Tiene una superficie total de 706.89, éste micrositio solamente posee dos componentes en el piso, constituido por área verde (260.03 m²; 36.78 %) y asfalto (446.86 m²; 63.21 %).

PLGU₃

Tiene una superficie de 706.86 m², consta de tres componentes en el piso bien marcados, área verde (483.25 m², 68.36 %), asfalto (155.72 m², 22.02 %) y piso de cantera de resaque (67 m², 9.60 %).

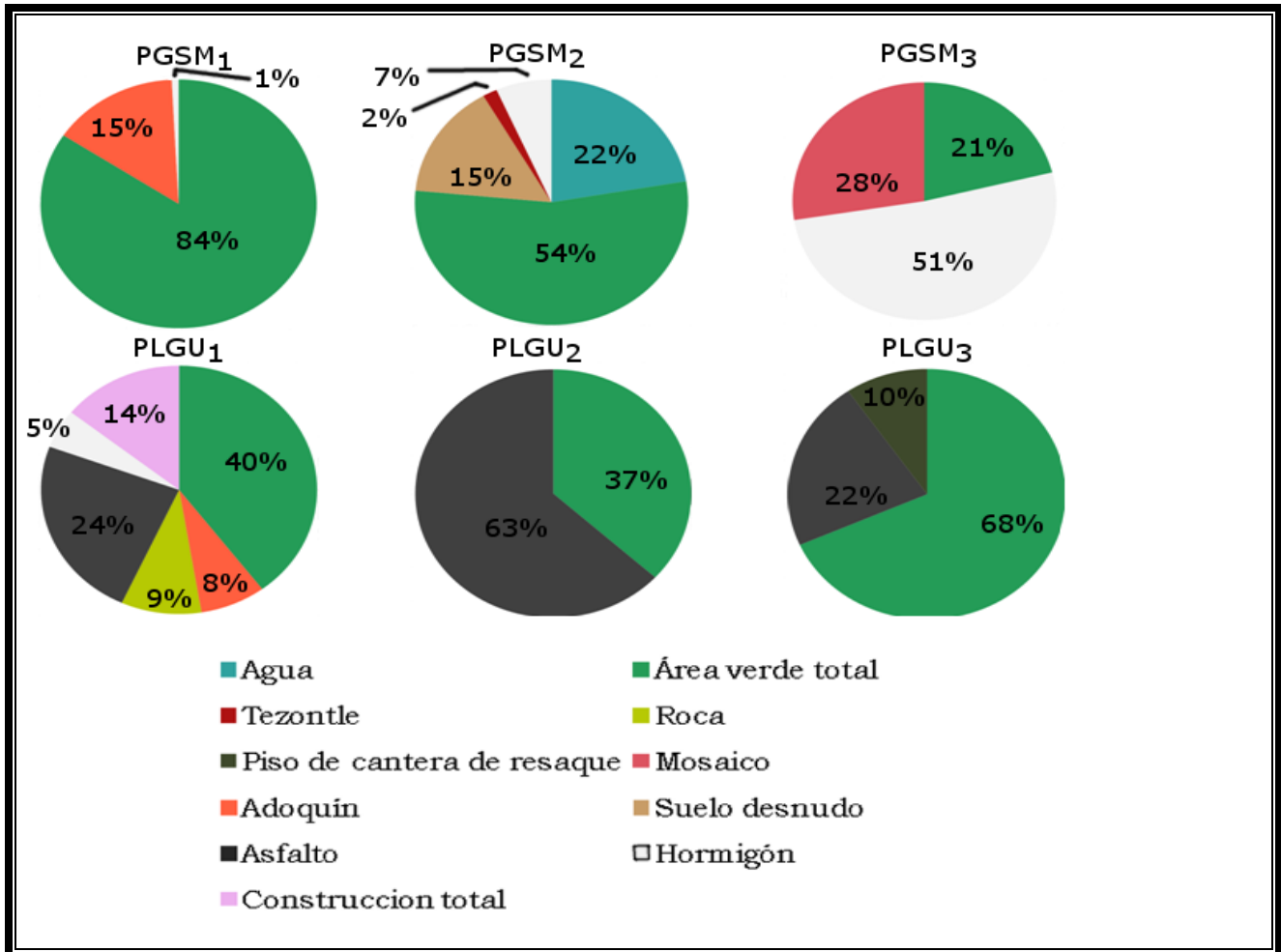


Figura 6. Proporciones del uso del suelo en cada sitio de estudio

Confort térmico

En la **figura 7-a** se muestra la relación que existe entre las categorías de las percepciones térmicas calculadas (*PTC*) y las percepciones térmicas observadas (*PTO*) generando tanto una relación lineal y una logarítmica como sigue:

$$PTC = 1.3543 PTO - 0.1134$$

Ambas regresiones indican que la percepción térmica calculada está dentro de una categoría por encima de la percepción térmica observada, ya que el valor calculado es más alto que el observado. Según este análisis y como se muestra en la frecuencia relativa de las diferentes categorías de las percepciones térmicas (**figura 7-b**) se puede inferir que los rangos de temperatura equivalente fisiológica (*PET*) propuesta por Matzarakis y Mayer (1996) (Matzarakis y Amelung, 2008) **cuadro 1**, están por encima de las percepciones térmicas de la muestra de habitantes de la Ciudad de México que se observó en el presente estudio. Además no hubo valores dentro de la categoría cero (frio extremo) ni ocho (caluroso extremo) en la percepción observada, en cambio la percepción calculada si arrojó valores dentro de la categoría 8. El mayor porcentaje entre las categorías observadas se ubicó en confortable (40.48 %) y entre las categorías calculadas en ligeramente caluroso (26.45 %) y caluroso (22.41 %). Esto se podría explicar ya que los usuarios de los parques tienen una moda de resistencia térmica del vestido de 0.49 *clo* y una media de 0.56 *clo*, además tienen una moda de 140 W m⁻² y un promedio de 122.78 W m⁻² de actividad física, y los rangos de *PET* citados son para personas que en promedio tienen 0.9 *clo* y 80 W m⁻².

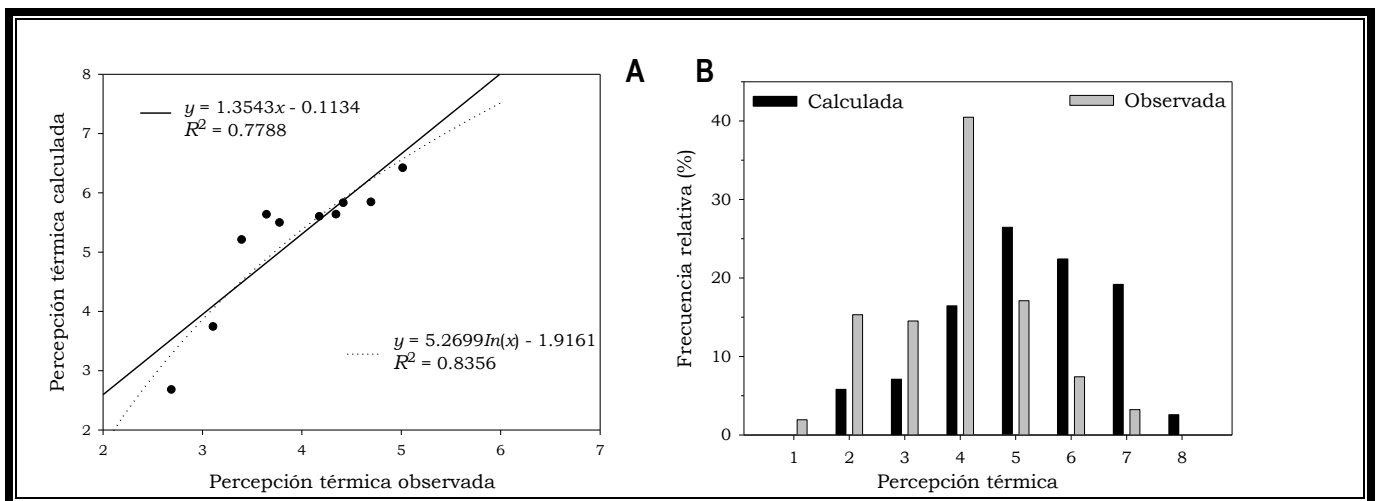


Figura 7. Relación entre las categorías de las percepciones térmicas calculadas y las percepciones térmicas observadas (A) y frecuencia relativa de las diferentes categorías de percepciones térmicas calculadas y observadas (B).

Como muestra la **figura 8** la percepción térmica observada en el PGSM₁ se concentró en confortable, categoría 4 (37 %) y fresco, 2 (29 %); en el PGSM₂ en confortable, 4 (41.6 %), ligeramente fresco, 3 (20.77) y fresco, 2 (19.5 %). En el PGSM₃ en confortable, 4 (44,32 %) y ligeramente cálido (19.58 %). En cambio en la percepción calculada en el PGSM₁ la



mayoría se concentró en ligeramente caluroso categoría 5, (48 %) y fresco, 2 (20 %); en el PGSM₂ entre ligeramente caluroso, 5 (28.57 %) y confortable, 4 (24.67 %); el PGSM₃ entre caluroso, 6 (30.92 %) y muy caluroso, 7 (23.71 %).

En la categoría observada la mayoría en ambos sitios se concentró en confortable y ligeramente caluroso PLGU₁ (40.59 % y 22.22 %); PLGU₂ (38.65 % y 20,79 %); PLGU₃ (41.26 % y 21 %). En cambio en la percepción calculada en el PLGU₁ la mayoría se concentró en ligeramente caluroso categoría 5 (31.74 %) y caluroso, 6 (30.95 %); en el PLGU₂ entre caluroso, 6 (27.72 %) y muy caluroso, 7 (27.72 %); el PLGU₃ en muy caluroso (37.81 %).

Tomando en cuenta ambas percepciones en el PGSM₁ y PGSM₂ se concentran hacia las categorías de confort y de frío y en los otros cuatro micrositios en las categorías de confort a calor, lo que demuestra que el PGSM₁ y el PGSM₂ son los sitios más frescos.

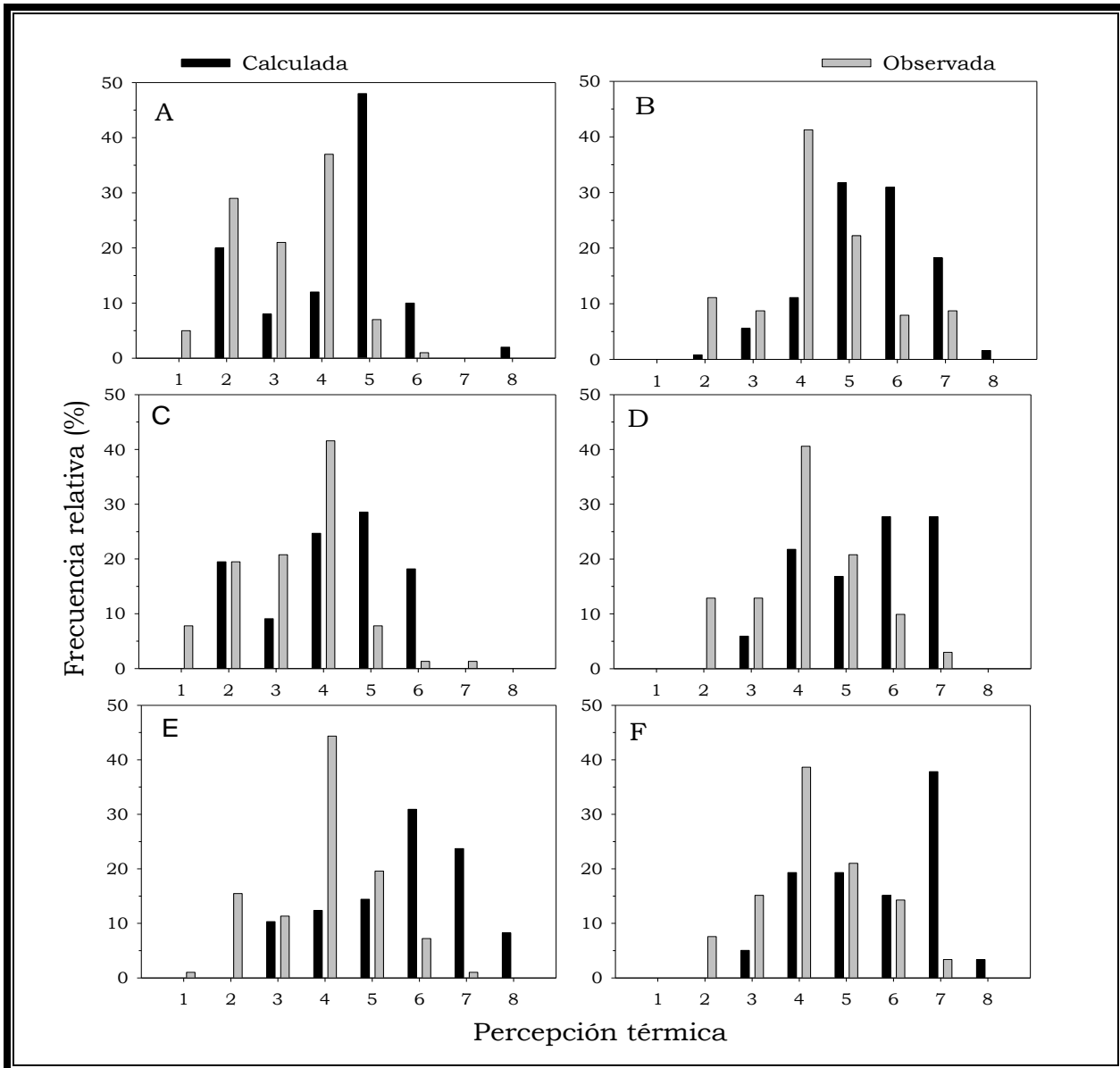


Figura 8. Frecuencia relativa de la percepción térmica calculada y observada en los micrositos PGSM₁ (A), PLGU₁ (B), PGSM₂ (C), PLGU₂ (D), PGSM₃ (E), PLGU₃ (F) de los parques General San Martín (izquierda) y Luis G Urbina (derecha).

Promedio de las percepciones del PGSM y PLGU

Las *PTC* (*PET* °C) de acuerdo con la percepción térmica que los usuarios ubicaron en la categoría 1 el promedio de la *PET* es de 18,8 °C; en la categoría 2, 21 °C; en la categoría 3, 25.57 °C, en la categoría 4, 27.62 °C; categoría 5, 31.33 °C; 6, 32.56; 7, 33.64 °C. Según esto la *PET* subestima las percepciones de los usuarios de la categoría 1 a 5; la categoría 6 si esta dentro del intervalo; la 7 está por debajo; las categorías 0 y 8 no

aplicaron en la percepción de los usuarios de acuerdo a los intervalos propuestos por Matzarakis y Amelung en 2008.

Cuadro 11. Percepciones medias del PGSM y PLGU vs las categorías propuestas por Matzarakis y Amelung, 2008.

Categoría	PET °C	Promedios de PET °C PGSM y PLGU	PET °C PGSM y PLGU (redondeada)	Percepción térmica	Grado de estrés fisiológico
0	<3.99			Frío extremo	Estrés extremo por frío
1	4-7.99	18,8	19	Muy frío	Estrés fuerte por frío
2	8-12.99	21	21	Fresco	Estrés moderado por frío
3	13-17.99	25,57	25,5	Ligeramente fresco	Estrés ligero por frío
4	18-22.9	27,62	28	Confortable	Ningún estrés térmico
5	23-28.99	31,33	31	Ligeramente caluroso	Estrés ligero por calor
6	29-34.99	32,56	32,5	Caluroso	Estrés moderado por calor
7	35-40.99	33,64	34	Muy caluroso	Estrés fuerte por calor
8	>41			Caluroso extremo	Estrés extremo por calor

Relación del SVF, IAF y AB con la percepción térmica calculada

Existe una relación lineal entre el SVF y el IAF con la percepción térmica calculada, como se describe a continuación y como se muestra en la **figura 9**.

Mientras más alto el valor de IAF es más alto el AB

El IAF está relacionado con el SVF, las copas de los árboles crean una vista de cielo más cerrada, es decir un SVF más bajo

La PET tiende a ser más baja a mayor índice de área foliar

Mientras el cielo está más obstruido, la PET disminuye

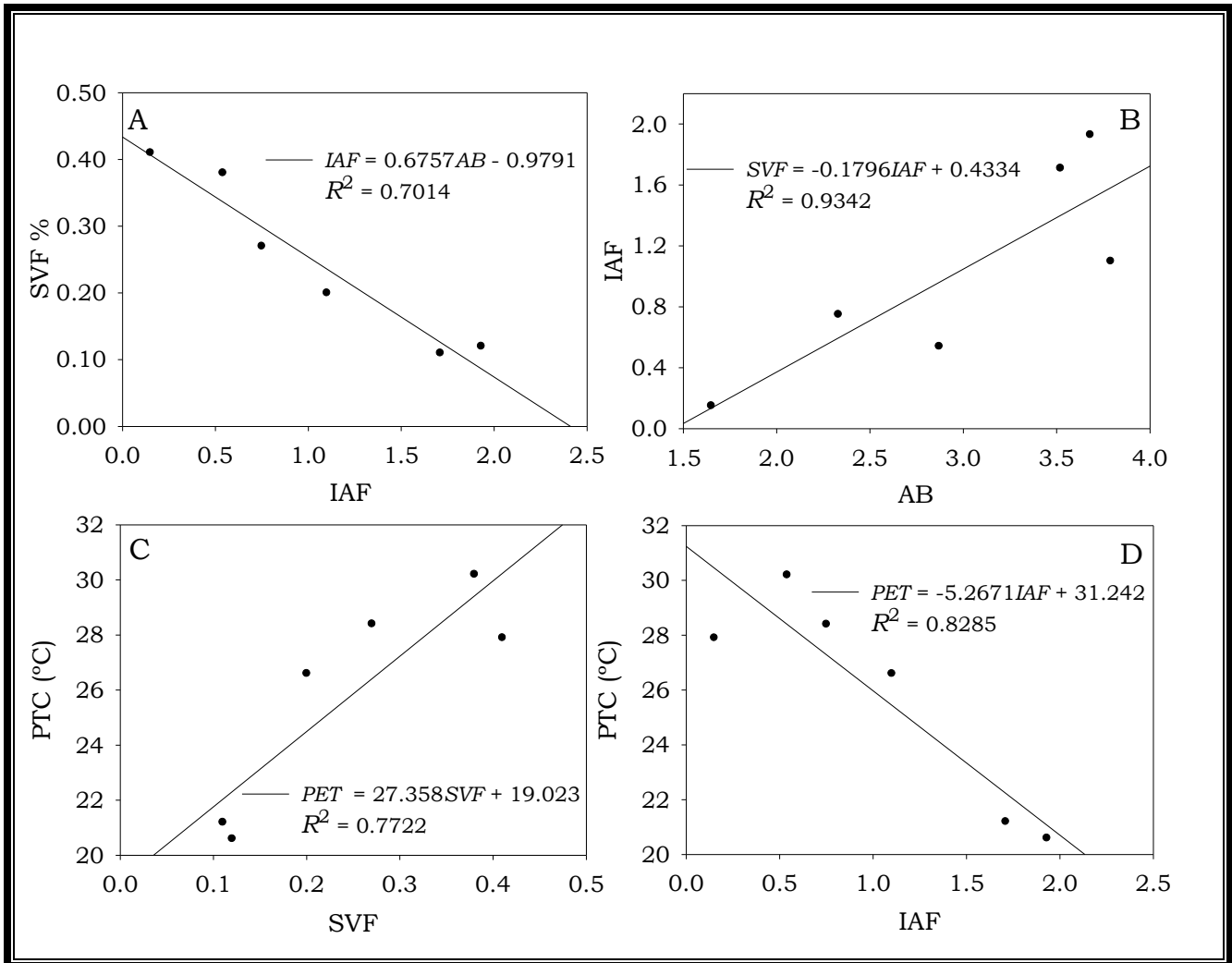


Figura 9. Relación del SVF, IAF y AB con la percepción térmica calculada. SVF en función el IAF (A), IAF en función de AB (B), PTC en función de SVF (C) y PTC en función de IAF.



IX.DISCUSIÓN

A continuación se hace un estudio desde diferentes puntos de vista de los resultados obtenidos del comportamiento térmico de cada parque respecto a su cercanía a la ICU, al diseño arquitectónico y las características de la traza urbana que circundan a cada parque.

El PGSM representó el área verde cercana al centro cálido de la isla de calor (estación Merced), con una distancia de 4.55 km y en comparación con el PLGU que se encuentra alejado por 7.6 km del centro cálido, mantuvo un microclima más fresco, lo que significa que la ICU no influye sobre el parque y que además posee elementos arquitectónicos que lo convierten en un sumidero de calor.

A continuación se hace una comparación respecto a los micrositios mismos de los valores obtenidos de las variables microclimáticas, índices *PET* y de los elementos arquitectónicos, consultar **cuadro 10** y **cuadro 1**.

La percepción térmica fue confortable en los micrositios PGSM₁ y PGSM₂, ya que los índices de confort térmico calculados T_{mrt} (32.6 °C y 33.4 °C) y *PET* (20.6 °C y 21.2 °C) muestran que los intercambios de radiación entre el cuerpo humano y el ambiente térmico de estos dos micrositios se alcanzan a una temperatura equivalente fisiológica más baja respecto a los otros micrositios, por lo que se ubican dentro del intervalo de confort (18 a los 22.9 °C), propuestos en el año 2008 por Matzarakis y Amelung, así que no se percibe estrés térmico en las personas. Ya que la R_G fue baja (233.9 W m⁻², 246.5 W m⁻²), T_A baja (19.2 °C, 19.4 °C), e alta (1.22 kPa, 1.30 kPa) y dpv baja (1.04 kPa, 0.99 kPa) en comparación con los micrositios PGSM₃, PLGU₂, PLGU₃ que tuvieron valores más altos de estas variables y bajos de e , dado que el micrositio PLGU₁ mantuvo valores medios. Este orden del confort que se establece especialmente en los micrositios PGSM₁ y PGSM₂, se deben al microclima resultado del acomodo de los elementos arquitectónicos. La fracción de cielo visible del hemisferio centrado sobre éstos micrositios es más bajo (0.11 y 0.12), que indica una vista al cielo más cerrada, lo contrario a un sitio sin obstrucciones en el horizonte el *SVF* es igual a 1 (100 %) (Hämmerle *et al.*, 2014 y Ochoa, 2009). En éstos sitios el *SVF* es generado por el *IAF* (1.93, 1.71 m²/m²) que indica un sitio de copas de baja saturación, (*IAF* de 1 a 5 m²/m² de acuerdo a Larcher, 2003), éstos



dos micrositios también poseen un AB más alto (3.67, 3.51 m²/o.0001 ha), en comparación con los otros micrositios.

Estos resultados coinciden con un estudio realizado en un parque urbano de Egipto por Ahmed (2011) donde el sitio más abierto (SVF 78 %), T_{mrt} 55.9 °C y PET 30 °C, tuvo un comportamiento diferente comparado con el sitio menos abierto (SVF 69 %), T_{mrt} 57.6 °C y PET 27.6 °C; y con un sitio con presencia de agua (cascada ornamental) como en el PGSM₂ (canal ornamental), aun que con un SVF mayor (87 %), presentó un valor de T_{mrt} 53.2 °C y PET 30.1°C; además de otro sitio con un cuerpo de agua de mayor volumen (lago) SVF 77 % T_{mrt} 57.6 °C y PET 27.4 °C. Lo que confirma que los sitios con menos obstrucción a la bóveda celeste tienden a ser más cálidos que los que tienen más obstrucción y que los cuerpos de agua amortiguan la temperatura del aire, ya que absorben la radiación solar y la disipan debido al enfriamiento evaporativo y la humidificación (Ahmid, 2011). Gracias a la humedad debida a la evaporación superficial del agua, se modifica la humedad y la temperatura del aire, por lo que mejora la percepción de confort. Además, la presencia de agua provoca movimientos convectivos de aire debidos a la gran inercia térmica, de esta forma la temperatura se mantiene cambiante. Esto aplica desde grandes cuerpos de agua hasta estanques, en este último se debe considerar que las características del fondo aportan su influencia térmica al agua (Ochoa, 2009).

En un estudio realizado en zonas urbanas de Santiago Chile, a las 14 horas en un sitio con SVF de 31% la PET fue de 31°C y en otro SVF de 38 % fue de 37 °C, lo que indica una percepción térmica calurosa y muy calurosa (Chicas, 2012) y que el SVF influye positivamente la percepción térmica. También se observa que el cielo fue más cerrado que los sitios en Egipto pero la PET fue mayor debido a la alta tasa de transferencia de calor de los componentes arquitectónicos de la traza urbana.

Un estudio realizado en un espacio interior de Sevilla con T_A que variaron de 17 a 22 °C, tuvo una PTO de 28 % confortable, 32 % ligeramente fría y 20 % ligeramente cálido (Aparicio *et al.*, 2011). La T_A del PGSM y PLGU está entre 19.2 y 24.5 °C, en éste estudio la PTO es 40.48 % confortable, 26.45 % ligeramente cálida y 22.41 % cálida. Lo que significa que los habitantes de la Ciudad de México perciben confort térmico con la temperatura del aire entre 19.2 y 24.5 °C en espacios abiertos. Ambos estudios señalan



que en cualquier intervalo de T_A el mayor porcentaje de usuarios que perciban confort va a ser menor del 40 %, el resto se va ubicar en percepciones diferentes. Determinar la T_A como estudio previo a los índices bioclimáticos o en caso que no se cuente con equipo para determinarlos.

En cuanto al uso de suelo los micrositios PGSM₁ y PGSM₂ tienen una gran porción de AV (84.35 %, 54.34 %), baja porción de hormigón (0.8 %, 6.59 %), en el PGSM₂ presencia de agua (22.26 %), en el PGSM₁ adoquín (14.84 %) y en el PGSM₂ suelo desnudo (15.18 %) (**Ver figura 6**). Aunque estos micrositios se encuentran relativamente cerca del centro cálido (MER), son más frescos debido a la evaporación y albedo bajo de los pisos, la transpiración de la vegetación moderando el microclima de la superficie urbana, particularmente en climas calientes y secos en latitudes medias y bajas, la evapotranspiración puede crear microclimas de 2 a 8 °C más fríos que en sus alrededores (Taha, 1997).

Esto sostiene y comprueba la hipótesis y cumple con los objetivos. Si se tiene la elección adecuada de elementos arquitectónicos en un sitio de la Ciudad de México, estos pueden mitigar los efectos de la ICU a escala microclimática. Así que el centro cálido de la ICU no influye significativamente sobre el parque más cercano (PGSM), ya que se comportó más confortable que el parque más alejado (PLGU), debido a que posee proporciones más altas de elementos arquitectónicos con propiedades evotranspirativas.

Aunque el micrositio PLGU₃ posee un piso con una proporción de cubierta vegetal mayor, en comparación con los otros micrositios, es el más cálido. Esto probablemente se debe a que hay muy poco follaje de árboles y arbustos, por consiguiente el factor de vista al cielo es relativamente alto, es decir la obstrucción a la bóveda celeste es 0.380. De esta forma los valores del SVF y el IAF están inversamente relacionados. Lo que sostiene la gran influencia de una cobertura vegetal aérea sobre espacios que se requiera proveer un microambiente fresco.

En el micrositio PLGU₁ el SVF es bajo y el IAF alto, la presencia de hormigón es casi igual a los micrositios más frescos, según el análisis escrito anteriormente en éste estudio debería ser confortable pero tiene un poco más de la quinta parte de asfalto y construcción (3D) que éstos no tienen, por lo que ejercen una influencia radiativa y



convectiva suficiente para tornar el sitio ligeramente caluroso (PET 26.5 °C). Esto sugiere que una quinta parte de hormigón y una sexta parte de construcción es suficiente para contrarrestar los efectos refrescantes de la vegetación y del SVF bajo por las estructuras 3D.

El $PLGU_2$ se encuentra apenas en el extremo alto de ligeramente cálido (PET 28.4 °C), con un SVF e IAF medio, AB más alta respecto a los micrositios más frescos y los más cálidos, en porcentaje más de la mitad de la superficie de suelo es asfalto, esta es otra prueba de que el asfalto interviene negativamente en los efectos refrescantes de la vegetación y de las estructuras que proporcionan sombra.

El $PGSM_3$ es el más abierto de todos, sin embargo con una PET de 27.9 °C se comporta más fresco que el $PLGU_3$ y casi similar al $PLGU_2$, la controversia además es que estos tienen un AB mucho más alta que el $PGSM_3$ ($AB = 1.647$ m/0.0001 ha). Con esto se puede comprobar y concluir que los micrositios del $PGSM$ se ven influenciados por microclima del parque mismo y que es de por sí más fresco, gracias a que los senderos están cubiertos de adoquín, tezontle o tiene suelo desnudo y una menor proporción de asfalto u hormigón, en comparación con el $PLGU$ cuyos senderos están cubiertos completamente de éstos últimos. Además el balance de energía del $PGSM$ podría estar afectado por la humidificación y el enfriamiento evaporativo provocado por los dos cuerpos de agua presentes.

Por lo que se concluye que con la ubicación, selección y proporciones adecuadas de elementos arquitectónicos es posible mitigar a escala microclimática el efecto de la ICU, puesto que el $PGSM$ fue el parque más cercano al centro cálido y sin embargo, dos micrositios se ubicaron en el intervalo de confortable según el índice térmico PET .

Según el índice PET el micrositio $PGSM_1$ (20.6 °C) y $PGSM_2$ (21.2 °C) son confortables; $PLGU_1$ (26.5 °C), $PGSM_3$ (27.9 °C) y $PLGU_2$ (28.4 °C) son ligeramente calurosos; y $PLGU_3$ (30.2 °C) es caluroso.

Y de acuerdo a la T_{mrt} el orden en el que alcanzan el balance de energía esta dado como sigue: $PGSM_1$ (32.6 °C), $PGSM_2$ (33.4 °C), $PLGU_1$ (39.6 °C), $PLGU_2$ (40.0 °C), $PGSM_3$ (40.2 °C) y $PLGU_3$ (44.7 °C). A diferencia de la PET el $PLGU_2$ alcanza el balance con un valor menor que el de $PGSM_3$.



Dado lo anterior, se concluye que el PLGU fue más homogéneo y más cálido, debido a que los senderos son de asfalto influenciando el microclima por la gran capacidad de absorbanza y emitancia de este material y del hormigón, además como se mencionó en el método éste parque en comparación con el PGSM no está rodeado por camellones de vegetación. Lo que podría explicar que a pesar de ser el PGSM₃ más abierto de los seis micrositios el comportamiento de la *PET* fue ligeramente cálido como el PLGU₁ y PLGU₂ los cuales tienen un *IAF* más alto. Los micrositios del PGSM están influenciados por la cubierta de adoquín, tezontle y suelo desnudo, esto sumado a la presencia de dos cuerpos de agua, un circular “lago de los patos” (33 m de diámetro) y otro canal de (25 m de largo). Las áreas verdes del PLGU poseen un mejor estado de conservación (ver **anexo 4**) en comparación con las del PGSM, también los valores de *AB* del PLGU son más altos, concentran entre 2.3299 a 3.7922 m²/0.0001 ha, en comparación con los del PGSM (1.647-3.6757 m²/0.0001 ha). De donde el hormigón y el asfalto suprimen los efectos refrescantes de la composición natural del parque. La percepción térmica depende de las tasas de transferencia de calor por conducción, convección o radiación dadas por las estructuras arquitectónicas, como el cemento, el asfalto, los metales que son buenos conductores considerados objetos oscuros que absorben mucha energía radiante y también emiten mucha energía radiante y en menor grado el pasto, la paja, las astillas, el adoquín y el tezontle (Hewitt, 2007).

El sitio que podría representar los patrones en arquitectura urbana y por ende del comportamiento de energía de la Ciudad de México es el PLGU₃ que arrojó una percepción térmica calculada y observada mayor (*PET* 30.165 °C, caluroso).

El 40 % de los usuarios percibió confort en el intervalo *PET* de los 18 a los 22.9 °C. Es así como también en un estudio que se realizó en junio de 2013 sobre la calle de Paris en Coyoacán, Ciudad de México, caracterizada por calles de asfalto, viviendas de 2 a 3 pisos, se genera una *PET* que alcanza los 40 °C y una *T_{mrt}* mayor a 40 °C en un horario de 9 a 16 horas del día. En cambio, en la zona norte de Coyoacán donde hay presencia de árboles altos y viejos la *T_{mrt}* no rebasa los 38 °C y la *PET* está debajo los 33 °C todo el tiempo. Así como en el PGSM y PLGU, la sombra de la copa de los árboles disminuye la radiación solar directa, reduciendo el almacenamiento de calor en la superficie urbana (Rodríguez *et al.*, 2014)



Para construir microclimas confortables, es necesario evitar la cubierta de asfalto u hormigón y tomar en cuenta la posibilidad de recubrir con adoquín o tezontle, o buscar otras alternativas de biotecnología sustentable.

Es importante considerar el contexto urbano de los alrededores donde se va a construir un parque urbano o cualquier otro espacio en el que se desea crear un microclima exterior confortable, así como la retrospectiva de las variables meteorológicas del sitio.

En ambos parques urbanos la radiación global máxima se alcanza a las 12 horas, la temperatura máxima a las 14, la presión de vapor más alta a las 9 y la más baja a las 17 horas.

El PGSM posee valores más bajos en R_{gl} , T y dp_v y más altos en e .

Es importante reportar éstas variables meteorológicas para que los habitantes o encargados de construcciones de la Ciudad de México las tomen en cuenta para planear sus actividades y tomar decisiones.

La velocidad del viento es una variable importante que para éste estudio fue de 1 m/s. La velocidad del viento se genera debido a la diferencia de presiones en la entrada y salida de un espacio arquitectónico (Mayorga, 2012). Y es específica para disipar las corrientes de convección que van hacia todas las direcciones dentro de la ICU, para ciudades de 50 000 habitantes se necesitan vientos de 3 a 5 m/s, en ciudades de 100 000 habitantes de 4 a 7 m/s, en ciudades de 400 000 habitantes 8 m/s y en ciudades de 8 000 000 12 m/s. Sin embargo la intensidad de viento de la Ciudad de México es de 0.6 a 3.0 m/s en la temporada invernal, y de 0.7 a 2.9 m/s en verano, la intensidad máxima de viento del Valle de México está entre 20 y 25 m/s, pero es la provocada por una masa de aire polar en el invierno, por lo que no es común y además tiene una corta duración. Por lo que se puede deducir que la velocidad del viento de esta ciudad es muy baja para que se pueda despejar la ICU (Rapoport *et al.*, 1983).

Esta información confirma que la selección y ubicación en proporciones adecuadas de los elementos arquitectónicos en la Ciudad de México se logra una agradable percepción térmica.



De acuerdo a la escala de Matzarakis y Amelung (2008) en la ecuación de la figura 7 se muestra que las percepciones observadas están una categoría por debajo de las percepciones calculadas, entonces se puede recorrer una categoría los intervalos de Matzarakis y Amelung o ampliar el intervalo de confort térmico hacia el lado cálido.

Integrando los resultados de la *PTO* y la *PTC*: 18 a 22.9 °C (40.59 %, porcentaje de percepción de confort y más alto observado) y de 23 a 28.99 °C (26.45 %, porcentaje más alto calculado), respectivamente. Se podría ampliar el intervalo de confort propuesto por Matzarakis y Amelung en 2008, para los usuarios de los parques urbanos de los 18 a los 26.1 °C, ya que de los usuarios cuya *PTO* fue ligeramente calurosa, la moda de la *PTC* fue de 26.1°C. Y porque la T_A en el PGSM se encuentra entre los 15.7 y 26 °C y en el parque Hundido 17.48 y 28.53 °C. Los máximos de temperatura se dan entre las 14 y las 15 horas. Éste nuevo intervalo coincide con la *PTO* del PGSM₂ confortable (41.6 %), y la *PTC*: confortable (24.67 %) y ligeramente caluroso (28.57 %). Lo que indica que se puede ampliar la *PET* de 18 a 26.1 °C para espacios exteriores que tengan las características de arquitectura similares al PGSM₂: SVF= 11 %; AB= 3.52 m/o.0001 ha; IAF= 1.71 m²/m²; el 90 % de uso de suelo constituido de elementos con propiedades de humidificar el aire y que disminuyan la absorción de radiación solar, como cuerpos de agua, áreas ajardinadas, suelos de mantillo, adoquín y tezontle.

Sin embargo, la percepción térmica que los usuarios ubicaron en la categoría 1, el promedio de la *PET* es de 18,8 °C; en la categoría 2, 21 °C; en la categoría 3, 25.57 °C, en la categoría 4, 27.62 °C; categoría 5, 31.33 °C; 6,32.56; 7, 33.64 °C. Según esto la *PET* subestima las percepciones de los usuarios de la categoría 1 a la 5; la categoría 6 si esta dentro del intervalo; la 7 está por debajo; las categorías 0 y 8 no aplicaron en la percepción de los usuarios de acuerdo a los intervalos propuestos por Matzarakis y Amelung en 2008. La desviación estándar de las *PTC* esta de 5.8 a 8 °C, con media de 7 °C, pero la media de la *PTC* varia de 1 a 4 °C. Los intervalos de la *PET* propuesta por Matzarakis y Amelung varían de 4 a 6 °C. Por ello el intervalo de confort térmico de espacios exteriores para los habitantes de la Ciudad de México quedaría como se muestra en el **cuadro 11**.

Se muestran las percepciones medias del PGSM y PLGU comparadas con otros países y con los intervalos propuestos por Matzarakis y Amelung (2008) en el **cuadro 12**.



La categoría 3 (ligeramente fresco 13-17.99 °C) de Roma (21 °C) se acerca más a la de éste estudio (25.5 °C); también en la categoría 4 (confortable 18-22.9 °C) Roma 29 °C y Curitiba 25 °C, PGSM y PLGU 27.62 °C; categoría 5 (ligeramente caluroso 23-28.99 °C) China 30 °C, Glasgow 27 °C y PGSM y PLGU 31.33 °C; categoría 6 (caluroso 29-34.99) PGSM y PLGU 32.56 °C, siendo la única temperatura dentro de los intervalos de Matzarakis y Amelung (2008) y más baja que China 40 °C, Roma 45 °C y Río 49 °C. Éste último intervalo indica que los usuarios del parque no soportan una alta temperatura fisiológicas equivalente.

Cuadro 12. Percepciones térmicas en exteriores de diferentes países (Krüger *et al.*, 2017) y las percepciones medias del PGSM y PLGU, comparadas con los intervalos propuestos por Matzarakis y Amelung en 2008.

Categoría	PET °C	Promedios de PET° PGSM y PLGU	PET (redondeada)	Tianjin, China	Roma, Italia	Curitiba, Paraná, Brasil	Glasgow, Escocia, Reino Unido	Río, Brasil	Percepción térmica	Grado de estrés fisiológico
0	<3.99								Frío extremo	Estrés extremo por frío
1	4-7.99	18,8	19		5				Muy frío	Estrés fuerte por frío
2	8-12.99	21	21		13		1		Fresco	Estrés moderado por frío
3	13-17.99	25,57	25,5	11	21	13	10		Ligeramente fresco	Estrés ligero por frío
4	18-22.9	27,62	28	21	29	25	18	22	Confortable	Ningún estrés térmico
5	23-28.99	31,33	31	30	37	37	27	36	Ligeramente caluroso	Estrés ligero por calor
6	29-34.99	32,56	32,5	40	45			49	Caluroso	Estrés moderado por calor
7	35-40.99	33,64	34						Muy caluroso	Estrés fuerte por calor
8	>41								Caluroso extremo	Estrés extremo por calor

Este estudio es una guía para crear microclimas confortables en espacios exteriores de la Ciudad de México.

Analizar cómo está relacionada la PET del los parques PGSM y PLGU con su clima local, según Krüger no es directa. Eso puede ser debido a la influencia de la misma traza urbana, por lo tanto las percepciones de los parques no son las mismas que en espacios cercanos por la arquitectura diferente.



X. CONCLUSIONES

- Se determinaron las variables micrometeorológicas de cada micrositio, obteniendo grupos diferentes y homogéneos. En general el PLGU fue el más seco y cálido, específicamente el PGSM₃, PLGU₂ y PLGU₃ ya que presentan valores medios más altos de T_A , R_G , dpv , además una e más baja.
- Se encontraron grupos homogéneos y diferentes en cada parque. Según los intervalos de temperatura equivalente fisiológica, PET propuestos por Matzarakis y Amelung en 2008 el PGSM₁ (20.6 °C) y el PGSM₂ (21.2 °C) están dentro del intervalo donde se percibe confort térmico y en el PGSM₃ (27.9 °C) ligeramente cálido; los micrositios PLGU₁ (26.5 °C), PLGU₂ (28.4 °C) son ligeramente cálidos y el micrositio PLGU₃ (30.2 °C) es caliente, en éste los usuarios pueden tener un fuerte estrés fisiológico por calor.
- En el caso de la temperatura media radiante, T_{mrt} los usuarios de los micrositios PGSM₁ (32.6 °C) y PGSM₂ (33.4 °C) alcanzan el balance a una temperatura menor que el PLGU₁ (39.6 °C), PLGU₂ (40.0 °C), PGSM₃ (40.3 °C) y PLGU₃ (44.7 °C). Lo que coincide en que estos últimos son los micrositios con los registros más altos en R_G , T_A , dpv y PET . Estos índices de confort térmico muestran que el PGSM₁ y PGSM₂ son los más confortables.
- Según el SVF el micrositio con la vista al cielo más abierta esta dado por el siguiente orden: PGSM₃ (41.2 %) seguido por el PLGU₃ (37.9 %), PLGU₂ (27 %), PLGU₁ (20 %), PGSM₁ (12.1 %), PGSM₂ (11 %). Así que el PGSM₃ es más abierto y el PGSM₂ es el más cerrado.
- El IAF tiene una relación inversamente proporcional con los valores del SVF : PGSM₃ (0.15), PLGU₃ (0.61), PLGU₂ (0.72), PLGU₁ (1.11), PGSM₁ (1.58), PGSM₂ (1.95). Lo que indica que la obstrucción en el cielo está dada principalmente por árboles.
- El micrositio PLGU₁ posee mayor área basal, AB (3.792 m²/m²), seguido por PGSM₁ (3.67571 m²/m²), PGSM₂ (3.517 71 m²/m²), PLGU₃ (2.87071 m²/m²), PLGU₂ (2.32971 m²/m²) y PGSM₃ (1.64771 m²/m²). Así mismo el PGSM₃ presenta la menor área basal, es el sitio más abierto y con menor IAF . A pesar de ello es más fresco según las variables microclimáticas y los índices de confort térmico, en comparación con los micrositios PLGU₂ y PLGU₃, lo que indica que el micrositio



PGSM₃ es influenciado por del comportamiento energético del parque al que pertenece.

- El suelo del PGSM presenta como componentes de mayores proporciones: tezontle, adoquín, suelo desnudo, áreas verdes, cuerpo de agua ornamental que crean un ambiente de alto flujo evaporativo; y en menor medida mosaico y hormigón. El suelo del PLGU tiene área verde, asfalto y hormigón como componentes principales; en menor porcentaje roca, piso de cantera de resaque y construcción 3D.
- Existe una relación lineal entre el SVF y el IAF con la percepción térmica calculada. La PET tiende a ser más baja a mayor índice de área foliar. Y mientras el cielo está más obstruido, la PET disminuye.
- La percepción térmica que los usuarios ubicaron en la categoría 1, la media de *PET* es de 18,8 °C; en la categoría 2, 21 °C; en la categoría 3, 25.57 °C, en la categoría 4, 27.62 °C; categoría 5, 31.33 °C; 6,32.56; 7, 33.64 °C. Según esto la *PET* subestima las percepciones de los usuarios de la categoría 1 a la 5; la categoría 6 está dentro del intervalo; la 7 está por debajo; las categorías 0 y 8 no aplicaron en la percepción de los usuarios de acuerdo a los intervalos propuestos por Matzarakis y Amelung en 2008.
- De acuerdo al análisis del microclima, del confort térmico y del diseño arquitectónico, la ICU no influye sobre el parque más cercano al centro cálido, que es el PGSM, debido a que posee altas proporciones de elementos arquitectónicos con propiedades evapo-transpirativas, además que está rodeado por un camellon de alta densidad de arboles, es así como los microclimas al pertenecer al clima local con topografía, tejido y elementos urbanos siguen un patrón similar.
- Para garantizar confort térmico a los habitantes de la Ciudad de México en espacios exteriores con una superficie circular de 700 a 900 m² se deben tomar en cuenta patrones similares a los siguientes: *SVF* 12 %, *IAF* 1.1 - 1.93 m²/m², *AB* 3.51 - 3.67 m²/0.0001 ha, cubierta vegetal 50 %, hormigón y asfalto menor a 7 % y 40 % de cobertura de piso con propiedades evaporativas y de bajo albedo.
- En general un micrositio con altos porcentajes de asfalto o concreto (50 %) y un *SVF* cercano a 50 % invalida el efecto evapo-transpirativo que produce en conjunto la vegetación y el uso de suelo con propiedades de flujo evaporativo.



XI. Lineamientos climáticos y bioclimáticos para la planeación urbana en México

1. En general, la vegetación al aportar vapor de agua a través de la transpiración (arbóreas, arbustivas, herbáceas, pastos y enredaderas) y sombra por medio del follaje y ramas (principalmente árboles), al conservar la humedad del suelo (todas especialmente arbustivas y herbáceas) es entonces la que amortigua el microclima, ya que los micrositos PGSM₁ y PGSM₂ tienen un comportamiento de T_A gradual de 15.7, 15.8 mínimos – 21.55, 21.7 °C máximos, solo varía 6 °C durante el día. En cambio el PLGU₃ además de ser el más cálido, es el más extremoso en T_A variando 10.67 °C (17.86 – 28.53 °C). Los árboles proveen sombra, pero para que generen un enfriamiento significativo dentro del parque, depende del uso de suelo, el cual deberá poseer propiedades de flujo evaporativo
2. Para garantizar confort térmico en espacios exteriores, se debe crear tomando en cuenta patrones similares a los siguientes SVF 12 %, IAF 1.1 - 1.93 m²/m², AB 3.51 = 3.67 m²/0.0001 ha, cubierta vegetal 50 %, hormigón y asfalto menor a 7 % y 40 % de cobertura de piso con propiedad evaporativa y de bajo albedo.
3. Es mejor propiciar una baja temperatura para la ciudad, ya que también beneficia la salud de la vegetación, dado que una temperatura fresca disminuye las reacciones fotoquímicas de los contaminantes, lo que provocaría un ambiente más frío pero más saludable.
4. Pavimentar con materiales que filtren el agua y dar mantenimiento a las áreas verdes ya existentes, ampliar su superficie y su seguimiento forestal, identificar los espacios urbanos idóneos para el aprovechamiento de áreas verdes y elegir estructuras arquitectónicas intercaladas con vegetación. El lineamiento principal es el mantenimiento y aprovechamiento de la vegetación.
5. El crecimiento desmedido de los automotores en urbes como la CDMX donde el índice de ocupación vehicular es de 1.7 pasajeros por automóvil, significa que en términos de la funcionalidad urbana, transportar a una persona por automóvil consume 50 veces más espacio que el transporte público (FIMEVIC, 2016), lo que agota más espacio natural por pavimento para cubrir las “necesidades” de movilidad. Además sumando las necesidades de edificación y pavimentación de las calles, se invaden las áreas verdes. Por lo que es necesario tomar en cuenta los



- beneficios de la vegetación y su superficie para la planeación de construcciones o vías, evitando invadirla.
6. En la planificación de un proyecto urbano enfocado a áreas verdes o a la construcción de un sitio exterior o interior confortable, se debe hacer una introspección previa de parámetros meteorológicos del sitio, una selección de las estructuras arquitectónicas en todas sus formas, dimensiones y colores, así como tomar en cuenta la disposición, forma y biología de especies vegetales que se van a usar. Sin dejar de tomar importancia al contexto urbano (construcciones o viviendas, áreas verdes de los alrededores), social (intereses, inquietudes y costumbres de los vecinos o simplemente humanitarias) en el que se encuentra el proyecto.
 7. En cuanto a la ICU ya Ballinas y Barradas (2015) identifican tres acciones clave para mitigarla que se fundamentan en la manipulación del balance energético urbano: enfocarse en el cambio del albedo para reducir la radiación neta; que como se explicó páginas atrás, es elegir colores claros para recubrir las superficies urbanas y materiales con baja absorción, que según Izard y Guyot (1980) son los materiales selectivos fríos y materiales reflectores; improvisar ventilación que afecte las cargas de calor humano, lo que consiste en utilizar la vegetación o estructuras urbanas para re direccionar el viento; aumentar áreas con potencial evaporativo, es evitar los recubrimientos con asfalto y hormigón y por supuesto gestionar y dar seguimiento a las áreas verdes, y como lo propone Ochoa (2009) que es utilizarlas según su especie, estructura, forma, disposición y biología de los estratos vegetales.
 8. En espacios interiores ya Morillon y colaboradores (2002), establecen que no es necesario un sistema de aire acondicionado si se logra un buen diseño bioclimático, que consiste en construir tomando en cuenta la orientación de la construcción, el tamaño, forma y ubicación de las ventanas, sombras exteriores e interiores, materiales de construcción con aislamiento adecuado al lugar geográfico específico de lo que dependerá la ventilación natural. Esto significa que el ambiente interior depende del ambiente exterior, es decir del microclima donde se ubica climatiza de forma pasiva. Por ello es relevante tomar en cuenta el patrón del microclima de cada lugar.



XII. SUGERENCIAS Y PERSPECTIVAS

Determinar el balance de energía y el porcentaje de los elementos arquitectónicos de ambos parques, para confirmar que se comportan diferencialmente y la energía de cada uno influye en los micrositos.

Hacer llegar esta tesis a los tomadores de decisiones y a los arquitectos e ingenieros civiles, para que lo tomen en cuenta en nuevas construcciones.

Retroalimentar los resultados con arquitectos del paisaje.



XIII. REFERENCIAS

- Ahmed A, 2011. Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. *Building and Environment*, 46: 2641-2656.
- Ahmid S, 2011. The impact of soft landscaping on the microclimate of a typical bungalow in Akure. Federal University of Technology Akure. Paper: 1-18.
- Aguirre C, Valdez J, Ángeles G, De los Santos H y Aguirre I, 2011. Mapeo del índice de área foliar y cobertura arbórea mediante fotografía hemisférica y datos Spot 5 HRG: regresión y K-NN. *Agrociencia* 45: 105- 119.
- Allen R, Pereira L, Raes D y Smith M, 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO, Roma, 298 pp.
- American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 1997. ASHRAE Handbook Fundamentals. Atlanta M. Boston. 29 pp.
- Aparicio P, Guadix J y Onieva L, 2011. Estudio de satisfacción del confort para la toma de decisiones. ResearchGate. 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management XV Congreso de Ingeniería de Organización Cartagena, 7 a 9 de Septiembre de 2011, 781-790.
- Ballinas M, 2011. Mitigación de la isla de calor urbana: estudio de caso de la zona metropolitana de la ciudad de México. Tesis (Maestro en Ciencias de la Tierra). Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. Distrito Federal, México. 84 p.
- Ballinas M, Barradas V, 2016. The urban Tree as a Tool to Mitigate the Urban Heat Island in México City: A Simple Phenomenological Model. *Journal of Environmental Quality* 45:157-166
- Bansal K, Hauser G y Minke G, 1994. *Passive Building Design: A Handbook of Natural Climatic Control*. Elsevier Science, Amsterdam, 340pp. <https://www.amazon.es/Passive-Building-Design-Handbook-Climatic/dp/044481745X>
- Barradas V, 1987. Evidencia del efecto de la “Isla Térmica” en Jalapa, Veracruz, México. *Revista Geofísica*, 26: 125-135.
- 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, Tejeda A y Jáuregui E, 1999. Energy balance in a suburban vegetated area in México City. *Atmospheric Environment* 33: 4109-4113.
- Burbano S, Burbano E y Gracia C, 2003. *Física general*. 32ª ed., Tébar, Madrid, 794 pp.
- Cancino M, 1998. Efectos de la radiación solar y filtros solares sobre la piel. Tesis (Químico Farmacéutico Biólogo), facultad, ciudad y paginas. Efectos de la radiación solar y filtros solares sobre la piel / tesis que para obtener el título de



Químico Farmacéutico Biólogo, presenta Mónica Cancino Rubi; asesor Juan Bosco Boue Peña.

- Çengel Y, 2007. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico. Trad. Pérez J y Brito J, 3ª ed., McGraw-Hill Interamericana, México, 901 pp.
- Çengel Y, Boles M, 2012. Termodinámica. trad. González V y Sarmiento S, McGraw-Hill Interamericana, México, 906 pp.
- Cervantes J y Barradas V, 2010. Ajuste de escalas de sensaciones térmicas para Xalapa Veracruz, México. *Investigación y Ciencia*, 18: 30-37.
- Chicas J, 2012. Morfología urbana y clima urbano estudio de microclimas urbanos en Santiago de Chile, mediante la aplicación del concepto de cañón urbano e índices de confort térmico. Tesis (para obtener el grado de magister en Desarrollo Urbano). Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 131 p.
- Correa N, Flores S y Lesino G., 2003. Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. Informe de avance. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7: 11.25-11.30.
- Cuito A, 2002. Del Minimalismo al Maximalismo/Do Minimalismo Ao Maximalismo, Kliczkowski-Onlybook, S.L, España 221 pp.
- Curtis H, Barnes N, Schnek A y Massarini A, 2006. *Biología*. 7ª ed., Médica Panamericana, México, 1160 pp.
- Díaz G, Lencinas J y Valle H, 2014. Introducción a la fotografía hemisférica en ciencias forestales. *Madera y bosques*, 20: 109-117.
- Díaz M, 2008. Cálculo del cambio de temperatura atmosférica debido al cambio de albedo. Aplicación para la ciudad de México mediante la implementación de “techos verdes”. Tesis (para obtener el grado en Física). Facultad de Ciencias, UNAM. Distrito Federal, México. 59 pp.
- Fahmy M, Sharples S y Yahiya M, 2010. LAI based trees selection for mid latitude urban developments: A microclimatic study in Cairo Egypt, *Building and Environment* 2: 345-357 pp. http://eprints.whiterose.ac.uk/10253/1/Sharples_10253.pdf
- Fanger O, 1970. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. McGraw- Hill, New York. 244 pp.
- Frazer G, Canham C, and Lertzman K, 1999. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York, 36 pp.
- García R, Santillán N, Haro Z y Jeda S, 2013. El balance de radiación para diferentes superficies de suelo: estudio experimental en la Ciudad de Mexicali, Baja California, México. Organización meteorológica de meteorólogos, A.C. en el



- CONGRESO OMMAC 2013, EXTENSO. Consultado el 6 de abril de 2016
<http://ommac.org/Congreso2013/Extenso/E201308012.pdf>
- Geiger R, 1965. The climate near the ground. 2da ed., Harvard University Printing Off, Cambridge, Massachusetts, USA, 482 pp.
<https://archive.org/stream/climatenearthegr032657mbp#page/n21/mode/2up>
- Gideon S Golany y Toshio O, 1996. Geo- Space Urban Design, John Wiley & Sons INC, New York, USA, 385 pp.
- Gómez G, Bojórquez y G, Ruiz P, 2007. El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. Revista de investigación científica en arquitectura, 2: 45-57.
- González P, 2011. Evaluación microclimática por cambio de uso de suelo en la Ciudad de México utilizando el modelo ENVI-met. Tesis (Licenciatura en Ciencias Atmosféricas). Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas, UV. Veracruz, México. 43 p.
- Granados D y Mendoza O, 1992. Los árboles y el ecosistema urbano. Dirección de difusión cultural, departamento de publicaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, México, 96 pp.
- Gutiérrez C, 2009. Física general. McGraw-Hill Interamericana, México, 526 pp.
- Hämmerle M, Gál T, Unger J y Matzarakis A, 2014. Different aspects in the quantification of the Ski View Factor in complex environments. Acta Universitatis Szegediensis Tomo 47-48:53-62. Disponible en: <http://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/akta14/2014-Acta-Clim-chor-47-48-Hammerle-et-al.pdf>
- Hershel R y Michael L, 2011. Fisiología médica. Un enfoque por aparatos y sistemas. Trad., Bernardo Rivera Muñoz y Germán Arias Rebatet. Mc Graw Hill LANGE, México, 761 pp.
- Honjo T, 2009. Thermal Comfort in Outdoor Environment. Global Environment Research, 13: 43-47.
- Humphreys M y Fergus N, 2002. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. Energy and Buildings, 34: 667-684.
- ISO 7730, 1994. Moderate thermal environments—determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.
- Izard J y Guyot A, 1980. Arquitectura bioclimática. Gustavo Gili, S. A. Barcelona, 191 pp.
- Jáuregui E, 1997. Heat island development in Mexico City. Atmospheric Environment 31: 3821-3831.
- Jáuregui E, 2000. El clima de la Ciudad de México. Plaza y Valdes. México, D.F., 131 pp.
- Jáuregui E, 2005. Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in Mexico. Atmósfera 18: 249-252.



- Jáuregui E y Heres E, 2008. El clima/bioclima de un parque periurbano de la Ciudad de México. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 67: 101-112.
- Jin-Ho K, Yoon-Ki M y Boseong K, 2013. Is the PMV Index an Indicator of Human Thermal Comfort Sensation? *International Journal of Smart Home*, 7: 27-34.
- Krüger E, Rossi F y Drach P, 2017. Calibration of the physiological equivalent temperature index for three different climatic regions. *International Journal of Biometeorology*, 61:1323-1336.
- Lai D, Guo D, Hou Y, Lin C y Chen Q, 2014. Studies of Outdoor Thermal Comfort in Northern China. *Building and Environment*, 77: 110-118.
- Larcher W, 2003. *Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. 4ta ed, Springer, 513 pp.
- Lin T, 2009. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment* 44: 2017-2026.
- Lin T, Matzarakis A, Hwang R, 2010. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 45: 213-221.
- Marques A y Marcial D, 1991. Principios de secado de granos psicrometría higroscopia, serie Tecnología Poscosecha 8, Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe, Santiago, Chile, 72 pp.
<http://www.fao.org/docrep/x5057s/x5057s00.HTM>
- Martínez B, Camacho F y García F, 2006. Estimación de parámetros biofísicos de vegetación utilizando el método de la cámara hemisférica. *Revista de Teledetección*, 26: 5-7.
- Matzarakis A, Rutz F y Helmut M, 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments-application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 51: 323-334.
- Matzarakis A y Amelung B, 2008. Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans. En Thomson C, García R. eds, Beniston M, *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health*. Springer, 30 p, Berlin 161-172.
- Matzarakis A y Matuschek O, 2011. Sky view factor as a parameter in applied climatology – rapid estimation by the SkyHelios model. *Meteorologische Zeitschrift*, 20: 039-045.
- Matzarakis A y Endler C, 2010. Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *International Journal of Biometeorology*. 54: 479-483.
- Matzarakis A, 2009. Additional features of RayMan model. Séptima conferencia internacional de clima urbano. Yokohama, Japón.



- Mayer H, Holst J, Dostal P, Imbery F y Schindler D, 2008. Human thermal comfort in summer within an urban Street canyon in Central Europe. *Meteorologische Zeitschrift*, 17: 241-250.
- Mayorga J, 2012. *Arquitectura y confort térmico. Teoría, cálculo y ejercicios*. Plaza y Valdés, Madrid, España, 186 pp.
- Mazliak P, 1976. *Fisiología vegetal, Nutrición y metabolismo*. Trad. Cañadell J, Ed. Omega, Barcelona, España, 350 pp.
- Cervantes J, 2001. *El uso de suelo en la ciudad de México y su impacto en el bioclima humano*. Tesis (Doctor en Geografía). Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Distrito Federal, México. 196 p.
- Miranda U, 1993. *Un índice de confort a partir del balance energético humano*. Tesis (Licenciatura en física). Facultad de Física, UV. Jalapa, Veracruz. 106 p.
- Mondelo P, Gregori E, Comas S, Castejón E y Bartolomé E, 2001. *Ergonomía 2: Confort y estrés térmico*. Mutua Universal, 208 pp.
- Monroy M, 2006. *Manual del calor*. Ayuntamiento de las palmas de Gran Canaria, volumen II, Canarias, España, 238 pp.
- Moreno M, 2010. *Climatología urbana*. 2da ed., Publicacions i Edicions Universitat de Barcelona, España 71 pp.
https://books.google.com.mx/books?id=kWi_BAAAQBAJ&pg=PA25&lpg=PA25&dq=albedo+en+la+ciudad&source=bl&ots=ILg9mG4ysg&sig=TUNU7_JJJJgFQaOBxoyt nGZkrPw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjp6eDlpnMAhUhtYMKHAdKDZkQ6AEINjAE#v=onepage&q=albedo%20en%20la%20ciudad&f=true
- Morillon D, Saldaña R, Castañeda I, Miranda U, 2002. Atlas bioclimático de la Republica mexicana. *Energías Renovables y Medio Ambiente*. 10: 57-62.
- Morillón D, 2004. Atlas del bioclima de México. Series arbitrarias del Instituto de Ingenieria (II-UNAM), ISBN 970 32 1904 7, México, DF. 30 pp.
- Mostacedo B y Fredericksen T, 2000. *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Bolfor, Bolivia, 87 pp.
- Ng E, 2009. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and Environment* 44: 1478- 1488.
- Ochoa J, 2009. *Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos*. Erasmus ediciones, Barcelona, 181 pp.
- Oke R, 1990. *Bounary layer climates*, 2ª ed, Routledge, London 435 pp.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, 2010. *Presente y Futuro de las Áreas Verdes de la Ciudad de México*. Ekilibria. 261 p.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, 2003. *Geo Ciudad de México. Perspectivas el medio ambiente*. Timbo, Ciudad de México, 152 pp.



- Rapoport E, Díaz M y López I, 1983. Aspectos de la Ecología Urbana en la Ciudad de México. Flora de las calles y baldíos. Limusa, México, 197 pp.
- Rodríguez J, 2016. Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería. Instituto de energías renovables, UNAM. Consultada el 12 de abril, 2016.
<http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Curso%20Mabe%20Termino/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Termodinamica.pdf>
- Rodríguez Z, Dietrich U, Velasco G y Dickhaut, 2014. Mexico City adaptation: water- and energy-creating microclimates. The Sustainable City IX: Urban Regeneration and Sustainability, 2: 1213-1221.
- Sánchez V, 2016. Centro ecologico con unidad de manejo ambiental en beneficio de la población de Ixmiquilpan, Hidalgo, México. Tesis (Arquitecto) Facultad de arquitectura, UNAM. Ciudad de México 256 p.
- Santamouris M, Synnefa A y Karlessi T, 2011. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. 85: 3085-3102.
- Schönwiese C, 1994. Klimatologie. Stuttgart Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 350 p.
- Sen S y Roesler J, 2016. Aging albedo model for asphalt pavement surfaces. Journal of Cleaner Production, 117:169-175.
- Taha H, 1997. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat. Energy and Buildings 25: 99- 103.
- Tagüeña J y Martínez M, 2000. Energía. Revista digital universitaria 1. <http://www.revista.unam.mx/vol.1/num2/art2/>
- Tejeda A y Jáuregui E, 2005. Surface energy balance measurements in the México City region: a review. *Atmósfera*: 1-23.
- The association of German Engineers (VDI), 1994. VDI-Gidelines 3789, Part II: Environmental Meteorology, Interactions between Atmosphere and Surfaces; Calculation of the short- and long wave radiation.
- The association of German Engineers (VDI), 2008. VDI- Gidelines 3787: Environmental Meteorology, Methods for the human-biometeorological evaluation of climate an air quality for the urban and regional planning at regional level. Part I: Climate.
- Tornero J, Pérez A, Gómez F, 2006. Ciudad y confort ambiental: estado de la cuestión y aportaciones recientes. Cuadernos de Geografía, 80: 147-182.
- Touchaei A, Akbari H, Tessum C, 2016. Effect of increasing urban albedo on meteorology and air quality of Montreal (Canada) - Episodic simulation of heat wave in 2005. *Atmospheric Environment* 132: 188-206.
- Van der Linden W, Loomans M y Jan H, 2008. Adaptive thermal comfort explained by PMV. En Strøm- Tejsen P., Olesen BW, Wargocki P., Zukowska D. y Toftum J. eds.



Indoor Air 2008: Proceedings of the 11th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 8p. Copenhagen: International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark.

Páginas web consultadas

- Canedo M, 2015. Conservación y recuperación de barrancas del poniente de la Ciudad de México. (Consultado el 9 de diciembre, 2015). Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/pon_barranca_poniente_cd_mex.pdf
- CentroGeo, 2002. El área de la ZMCM para el año 2000 fue elaborado en base a imagen de satélite LAND-. SAT © ® 1999-2006 Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo" A.C. (Consultado el 9 de diciembre, 2015). Disponible en: <http://mapas.centrogeo.org.mx/website/geocm/geocmmapoteca/geocm/metadato.asp?idshape=2000utm>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2015. Herbario virtual. (Consultado el 6 de junio, 2015). Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/otros/cgi-bin/herbario.cgi>
- Delgado A y Lawrence K, 2015. Árboles de la UNAM. (Consultado el 6 de junio, 2015, 2015). Disponible en: <http://www.arboles.org/>
- DOF, Diario Oficial de la Federación, 2015. (Consultado el 6 de junio, 2015, 2015). Disponible en: <http://www.dof.gob.mx/Consultado>
- EPA, United States Environmental Protection Agency, 2015. Measuring Heat Islands. (Consultado el 3 de marzo, 2015, 2015). Disponible en: <https://www.epa.gov/heat-islands/measuring-heat-islands>
- Fideicomiso para el Mejoramiento de las Vías de Comunicación del Distrito Federal. Diagnostico de la movilidad de las personas en la Ciudad del Distrito Federal. (Consultado el 13 de junio, 2016). Disponible en: <http://www.fimevic.df.gob.mx/problemas/1diagnostico.htm>
- Fuentes V, 2015. Arquitectura bioclimática. UAM AZCAPOZALCO, División de Ciencias y Artes para el Diseño, Departamento del Medio Ambiente. (Consultada el 11 de junio del 2015). Disponible en: <http://arq-bioclimatica.com/>
- Herbario Nacional de México (MEXU), 2015. Instituto de Biología, UNAM. (Consultado el 6 de junio, 2015). Disponible en: <http://www.ib.unam.mx/botanica/herbario/> y en <http://unibio.unam.mx/generosmexu/index.jsp>
- Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM (IIJ-UNAM), 2011. El crecimiento urbano del Distrito Federal (Ciudad de México) y su legislación urbanística.



- Derechos Reservados, (C). (Consultado el 7 de diciembre, 2015). Disponible en:
<http://www.juridicas.unam.mx/publica/rev/boletin/cont/85/art/art13.htm>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2015. Panorama Sociodemográfico de México 2015. Encuesta intercensal 2015. (Consultado el 22 de enero, 2016). Disponible en:
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/Panorama2015/Web/Contenido.aspx#DistritoFederal09000>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2000. Perfil sociodemográfico Distrito Federal XII Censo General de Población y Vivienda 2000. (Consultado el 7 de diciembre, 2015). Disponible en:
http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2000/perfiles/perfil_df_2.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Cuéntame.INEGI), 2015. Información por entidad, Territorio, Distrito Federal. (Consultado el 7 de diciembre, 2015). Disponible en:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/DF/Territorio/default.aspx?tema=ME&e=09>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Cuéntame.INEGI), 2015. Información por entidad, Población, Distrito Federal. (Consultado el 7 de diciembre, 2015). Disponible en:
<http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/poblacion/dinamica.aspx?tema=me&e=09>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Cuéntame.INEGI), 2016. Población. Consultado el 22 de enero, 2016). Disponible en:
<http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>
- Jáuregui E, 2015. Temperatura Fisiológica Equivalente (PET), temperaturas altas en México. CCA, UNAM, Ciencia ¿para qué?, [http://www.cic-ctic.unam.mx/cic/coordinación de la Investigación Científica](http://www.cic-ctic.unam.mx/cic/coordinación%20de%20la%20Investigación%20Científica) (Consultado el 6 de noviembre, 2015). Disponible en:
http://www.unamiradaalaciencia.unam.mx/download/pdf_prensa/unamirada_1.pdf
- Mapa digital de México, 2015. (Consultado el 6 de junio, 2015). Disponible en:
<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), 2010. Estudio sobre el ordenamiento, control y tratamiento integral de los Asentamientos Humanos Irregulares, ubicados en suelo de conservación del Distrito Federal. (Consultado el 7 de diciembre, 2015). Disponible en:
<http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/EOT-08-2010.pdf>



- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (PAOT), 2012. Áreas Verdes (en suelo Urbano), Inventario de A.V. (Consultado el 7 de diciembre, 2015). Disponible en: <http://centro.paot.org.mx/index.php/tematico/areas-verdes>
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (PAOT), 2014. Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal. Elementos básicos. (Consultado el 7 de diciembre, 2015). Disponible en: <http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/>
- Sánchez A, 2012. La evolución de la ciudad de México factores para el desarrollo social. Informe del estado de desarrollo social en el Distrito Federal. México D. F. (Consultado el 7 de diciembre, 2015). Disponible en: http://www.evalua.df.gob.mx/files/pdfs_sueltos/evo_cmexico.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente (SEMA), 2013. (Consultado el 12 de noviembre, 2014). Disponible en: <http://www.sema.gob.mx/SRN-CON-REDPARQUES-INDEX.html>
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI), 2010. Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2010. Ley de desarrollo urbano del Distrito Federal. (Consultado el 7 de diciembre, 2015). Disponible en: http://www.seduvi.df.gob.mx/portal/docs/Ley_DesarrolloUrbano_DF_15jul2010.pd
- Secretaría de Energía (SENER), 2011. Indicadores de eficiencia energética. Taller de eficiencia energética en México. Presentación. (Consultado el 23 de febrero 2015). Disponible en: http://www.energia.gob.mx/taller/res/1859/2_Ximena%20Fernandez%28SENER%29_Indicadores_Sector_Residencial.pdf
- Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), 2016. La regulación de la temperatura. (Consultado el 6 de abril 2016). Disponible en: https://www.uam.es/personal_pdi/medicina/algvilla/fundamentos/nervioso/termorregulacion.htm



XIV. ANEXOS

ANEXO 1. Causas principales que generan la ICU

Moreno (2010) enlista las causas principales que generan la ICU:

Causa	Efecto
La sustitución de superficies naturales por pavimentos y la sustitución de cuerpos de agua por alcantarillado.	Se reducen los niveles de evaporación, favorecen la escorrentía del agua, eliminando con ello la posibilidad de una buena circulación del vapor de agua, así como la infiltración a los mantos acuíferos, lo que además, provoca una contaminación más rápida del agua.
Las propiedades térmicas y caloríficas de los materiales de construcción urbanos	Provocan un almacenamiento de calor muy alto en la ciudad durante el día y un reparto de energía en la noche.
Las actividades y procesos de combustión de las áreas urbanas, principalmente las áreas industriales.	Aportan energía calorífica
La presencia de edificaciones reduce la velocidad del viento	La reducción de la velocidad del viento provoca una menor pérdida de calor sensible, mayor turbulencia atmosférica, lo que contribuye al aumento de temperatura.
Albedo bajo	Aumento en la absorción de la radiación solar
Geometría de calles y edificios	La radiación solar incidente queda atrapada entre las calles sufriendo múltiples reflexiones en todas las superficies verticales y horizontales. Esta geometría también provoca que la pérdida de calor por irradiación en la noche sea menor, debido al factor de cielo visible (SVF) más bajo, que de cierto grado impide que sea devuelto el calor al cielo.
La retención de contaminantes atmosféricos en la ciudad	Provoca que la radiación de onda larga sea absorbida y reemitida hacia el suelo, lo que contribuye a un almacenamiento gradual de esta radiación.



ANEXO 2. Encuesta



Folio: _____

Lineamiento climático y bioclimático para la planeación urbana en México, UNAM-IGPA-PAPIIT, IT2014

Encuesta para evaluación de confort térmico de la vivienda del Parque Luis G. Urbina

I. Preguntas filtro

¿Usas más de 30 minutos más en el Parque? ____
¿Tienes más de 5 años viviendo en la Cd. De México o cercanías? ____
Si respondió sí a ambas continuar con la encuesta

II. Datos del sitio y del encuestador
Nombre del encuestador: _____
Dir: _____ Msc: _____ Año 2016 Hora: _____

III. Tipo del parque: ()

Table with 2 columns: Type of park (e.g., Juegos, Calle abierto, Jardines)

IV. Datos personales del encuestado
III.1. Llenar todas las celdas.

Table with 2 columns: Personal data (e.g., Género, Edad, País, Ocupación, Tono de piel)

III.2. ¿Cuál es su grado de estudio? ()

Table with 2 columns: Education level (e.g., Preescolar, Primaria, Secundaria)

III. Datos de ubicación y actividad
III.1. Para definir el nivel de actividad me podría decir áreas de que lo involucra con esta encuesta, ¿en general, que áreas realizando dentro del parque? ()

Table with 2 columns: Activities (e.g., Paseo, Jugar, Leer, Caminando por el parque)

IV. Datos de su percepción con el tiempo libre
III.1. ¿La combinación ambiente observado, voy a marcar en la encuesta cuáles son las partes que conforman su vivienda, para determinar la sensación térmica del viento o Nivel de... ()

Seleccionar una celda de cada grupo y escribir el tipo de gusto y de tela

Large table for clothing selection with columns for category (e.g., Camiseta, Pantalón) and options (e.g., Sin mangas, Manga corta)

III.2. Escala verbal. El confort térmico humano es la satisfacción/comodidad o insatisfacción/incomodidad por el ambiente térmico, o bien, lo que conocemos como tiempo o clima. ¿En esos momentos usted se siente acalorado, caliente, muy acalorado, acalorado, ligeramente acalorado, neutral o confortable, frío, ligeramente fresco, fresco, muy frío o frío extremo? ()

Table with 2 columns: Thermal sensation scale (e.g., Acalorado extremo, Muy acalorado)

III.3. ¿Cómo calificara su estado de confort térmico en estos momentos? ()

Table with 2 columns: Comfort level (e.g., Incomodo, Agradable, Comodo/Confortable)

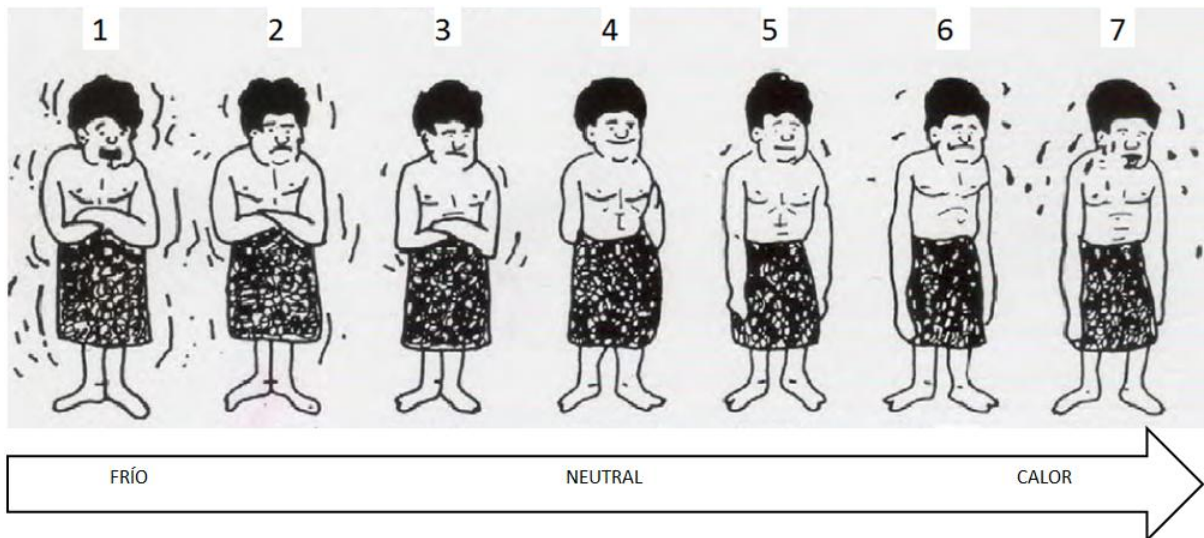
III.4. ¿Usas más que su confort térmico mejorata al la temperatura fuera más baja, algo baja, la misma, algo alta o más alta? (Preguntar por cada pedimento y llenar esta fila)

Table for temperature perception with columns for 'Más baja', 'Algo baja', 'Igual a', 'Algo alta', 'Más alta'

III.5. Escala gráfica. Mostrar ficha 1. De la ficha que le voy a entregar cada imagen tiene un número arriba, ¿me podría decir el número de la imagen del muñequito con el que más se identifica en estos momentos? ()

Table with 2 columns: Identification scale (1-7)

Escala gráfica



(Andris Auliciems y Steven V. Szokolay, 2007)



ANEXO 3. Formato de campo (Espinoza y Raya, 2006)

EROSIÓN								
Nula	Ligera	Moderada	Fuerte	Poco severa	Severa	Muy severa		
0%	0-25% Pérdida de HA por escurrimiento o viento	25-75% Pérdida de HA; canalitos de 10-12 cm de prof.: MO color claro	75-100% Pérdida de HA; canalitos profundos; MO color claro	pérdida de 30% de HB; s/n MO	Pérdida de 30-60% de HB; carvacas continuas y raíces desnudas	Cauces > 100 cm de raíces desnudas		
Actividades antropogénicas		Colonias	Cultivos		Act. Recreativas	Aprovechamiento forestal		
VEGETACIÓN								
Estratos	Cobertura %	Daño en la vegetación						
Arbóreo		Nulo	Quemado	Derramado	Corteza	Derribado	Podrido	Plagado
Arbustivo		Ocotedo	Cinchado	Lacrado	Resinado	Despuntado	Raíces exp.	Tocones
Herbáceo		Regeneración natural	si	no	(%) Área desnuda			
GEOFORMAS								
Lomerío	Depresión	Planicie	Pie de Monte	Cañada	Ladera	Meseta	Cima	Cresta
MICRORELIEVE								
Ondulado	Irregular	Accidentado	Cóncavo	Convexo	Surcado	Pedregoso	Plano	Otro



ANEXO 4. Descripción cualitativa y cuantitativa de los micrositos

PGSM₁

El SVF es de 12%, IAF 1.71 m²/m², AB 3.68 m²/o.0001 ha. La superficie es de 834.7 m² y tiene tres componentes en el piso, área verde (704.11 m², 84.35 %), adoquín (123.88 m², 14.84 %) y hormigón (6.71 m², 0.80 %).

Área verde

El área verde de este sitio está separada por el paso de peatones, por lo que se consideraron dos áreas verdes o dos jardineras (AV₁ y AV₂). El AV₂ (293.47 m²) ubicada en la parte oeste (O) la cobertura es de 25% arbóreo, 65% arbustivo y 10% herbáceo, lo que corresponde al 35 % de la jardinera cubierta de vegetación, ya que el 65% restante es suelo desnudo. El AV₁ (410.64m²) está en la parte E, posee un estrato arbóreo de 35%, un estrato arbustivo de 50% y estrato herbáceo de 15%, que suman un 50 % de vegetación y el 50% restante pertenece a suelo desnudo.

Ambas AV presentan un suelo totalmente desnudo con erosión severa. El daño a la vegetación arbórea es la presencia de plagas, clorosis, raíces expuestas y daños a la corteza.

Hormigón

Sobre la superficie de hormigón se encuentra una estructura llamada palapa.

Adoquín

La superficie que divide las dos AV está cubierta por adoquín, por lo que conforma el sendero de paso de peatones.

PGSM₂

SVF 11%, IAF 1.93 m²/m², AB 3.52 m²/o.0001 ha. Tiene una superficie de 804 m² el piso está constituido por un cuerpo de agua (179 m²; 22.26%), área verde (436.09 m²; 54.24%), suelo desnudo (122.06 m²; 15.18%), tezontle (13.84 m²; 1.72%), hormigón (53.01 m²; 6.59%).

Área verde

El área verde en este sitio tiene 4 jardineras. El AV₁ (266.56 m²; 61.125%) se localiza en la parte S-E tiene una cobertura arbórea de 20%, arbustiva de 70% y herbáceo de 10%, lo que corresponde al 40% de cobertura vegetal y el 60% restante es suelo desnudo.

El AV₂ (94.45 m²; 21.65%) tiene forma de un camellón, y se encuentra en la parte S-O del microsítio, tiene 45% de cobertura arbórea y 55% de arbustiva, representando el 90% de cobertura vegetal y el 10 % restante es suelo desnudo.

El AV₃ (48.6 m²; 11.14%) localizada en el N-E del microsítio tiene una cobertura arbórea de 5%, arbustivo de 95%, que representa una cobertura vegetal total de 25%, el 75 % restante es suelo.

El AV₄ (26.48 m²; 6.072%) tiene una cobertura arbórea de 5 %, arbustiva de 95%, que representan el 100% de cobertura vegetal de la jardinera.

El AV de éste microsítio presenta erosión de grado severo, no hay regeneración natural, el daño a la vegetación arbórea es la presencia de plagas, raíces expuestas, daño a la corteza y tocones.

Agua

Es un canal que se encuentra a lo largo del microsítio de norte a sur, la profundidad del agua es de 25 cm en promedio, ya que la cobertura donde fluye presenta diferentes desniveles.

Tezontle

Es un área destinada a aparatos mecánicos deportivos.

Suelo desnudo

Los senderos para paso de peatones son de suelo totalmente desnudo.

Hormigón

El hormigón conforma un puente sobre el canal de agua para el paso de peatones.

PGSM₃

En este sitio el SVF es de 41%, IAF 0.15 m²/m², AB 1.65 m²/o.0001 ha. Cuenta con una superficie de 754.770 m² y presenta 3 componentes estructurales bien diferenciados en el piso, área verde (159.27 m², 21.10%) mosaico (207.92 m², 27.54%) y hormigón (387.58 m², 51.35 %).

Área verde

Tiene una sola jardinera (AV₁= 159.27 m²) en la parte N-O del microsítio. Presenta 35% de cobertura arbórea, 45 % de estrato arbustivo y 20% de herbáceo, que ocupan 30% de la superficie del área verde, ya que ésta presenta un 70% de suelo desnudo; erosión de grado severo, la vegetación arbórea presenta daños en la corteza, plagas, ocotes y tocones; la regeneración natural es nula.

Los tres micrositos presentan geofoma planicie y microrelieve plano.

Mosaico

El mosaico a su vez presenta una cubierta arquitectónica llamada pérgola realizada de cemento pintada en rojo y blanco.

Hormigón

Sobre esta estructura no hay ninguna otra, solo es el cemento a cielo abierto.

PLGU₁



SVF 20%, IAF 1.1 m²/m², AB 3.79 m²/o.0001 ha. Este micrositio posee una superficie total de 907.9 m². Los componentes del piso son área verde (360.57 m²; 39.71%), adoquín (69.805 m²; 7.68%), roca (85.405 m²; 9.40%), asfalto (216.44 m²; 23.83%), hormigón (46.05 m²; 5.07%), construcción (129.63 m²; 14.27%).

Área verde

El área verde se encuentra repartida en 3 jardineras, donde el AV₁ (269.17m²; 74.65%), N, tiene 40% de vegetación arbórea, 50% arbustiva y 10% herbácea, que corresponden al 100% de la superficie de la jardinera, ya que no hay suelo desnudo; el AV₂ (22.88 m²; 6.34%), S-E, 23% arbórea, 68% arbustiva, 3% herbáceo y 6% pasto, que corresponde al 75% de superficie vegetada, el resto 15% es suelo con hojarasca, es decir, que no es suelo totalmente desnudo por la capa de materia orgánica (MO); AV₃ (68.52 m²; 19%), S-O, tiene 20% de cobertura arbórea, 60% de cobertura arbustiva y 10% de herbácea, esto corresponde al 95% de suelo cubierto con vegetación y el 5% restante corresponde a suelo con hojarasca, en este caso tampoco es suelo totalmente desnudo.

Como se mencionó el suelo no presenta erosión en ninguna jardinera, ya que tiene una cubierta de MO. El daño a la vegetación es que presenta daño a la corteza (letras) y tumores. El AV₁ tiene geoforma ladera y microrelieve plano N-O; geoforma planicie y microrelieve plano (N-E). El AV₂ es geoforma planicie y microrelieve plano. El AV₃ presenta geoforma ladera y microrelieve plano.

Adoquín y roca

Están presentes en la recubierta del piso cercano a la AV₁, sobre éstos hay unos asientos de concreto.

Asfalto

Es la cubierta del piso que parte en porción N y S al micrositio, y sirve como sendero para los peatones.

Hormigón

Recubre la superficie del suelo que se encuentra en la entrada de la C₁ en la porción S.

Construcción

La C₁ (92.83 m²) está en la porción S y es un consorcio de baño.

La C₂ (15 m²) está en la porción N y es un almacén para trabajadores del parque.

La C₃ (17 m²) está en la porción N y es la oficina del audiorama.

La C₄ (4.8 m²) está en la porción S y es una capilla.

Ambas construcciones son de un nivel.

PLGU₂

SVF 27%, IAF 0.75 m²/m², AB 2.33 m²/o.0001 ha. Tiene una superficie total de 706.89, éste micrositio solamente posee dos componentes en el piso, constituido por área verde (260.03 m²; 36.78%) y asfalto (446.86 m²; 63.21%).

Área verde

El AV₁ (207.03 m²; 79.61%) porción N, compuesta por 28% de árboles, 55% de arbustos, 1% de hierbas y 16% de pasto, lo cuales corresponden al 70% de superficie vegetada, el resto (30%) es suelo acompañado de materia orgánica.

El AV₂ (53 m²; 20.38%) porción S, está repartida entre el área de asfalto, por lo que es la suma de jardineras aisladas con 40 % arbóreas y 60% arbustivas, que representan el 10% de cobertura vegetal, lo demás es el asfalto que corresponde a este sitio.

Asfalto

Es el sendero para peatones de E-O, y también está presente en la porción S del micrositio.

PLGU₃

SVF 38%, IAF 0.54 m²/m², AB 2.87 m²/o.0001 ha. Tiene una superficie de 706.86 m², consta de tres componentes en el piso bien marcados, área verde (483.25 m², 68.36%), asfalto (155.72 m², 22.02%) y piso de cantera de resaque (67 m², 9.60 %).

Área verde

Tiene dos áreas verdes separadas por el corredor de asfalto, el AV₁ (451.95 m², 93.52) porción E, posee nula erosión, una cobertura arbórea de 10%, cobertura arbustiva de 31% y herbáceo de 3%, tiene cobertura de pasto del 56%, que complementan el 88.1 % de cubierta vegetal, como en los dos micrositios de este parque, no hay presencia de erosión ya que el resto es suelo con MO (11.9%).

EL AV₂ (31.3 m², 6.47%) porción O, posee una cobertura arbórea de 13%, cobertura arbustiva de 35% y herbáceo de 1%, tiene cobertura de pasto del 51%, que constituyen el 85% de área vegetada, por lo que solo tiene 15 % de área sin vegetación pero con presencia de MO.

Tanto el PLGU₂ y el PLGU₃ no hay erosión ya que tiene presencia de MO. El daño a la vegetación es que presenta daño a la corteza (letras). Ambas AV son geoforma planicie y microrelieve plano.

Asfalto

Presente en la cubierta del piso que marca el sendero para peatones N-S y divide a las dos AV de éste micrositio.

Piso de cantera de resaque

Está en la porción E del micrositio, justo en la base del asta bandera.